



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

PROPUESTA: LM-PI-UI-003-11

ÌNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI): IMPLEMENTACIÓN Y MEDICIÓN EN CARRETERAS DE COSTA RICA

Preparado por:
Unidad de Investigación

San José, Costa Rica
Febrero, 2011

1. Propuesta LM-PI-UI-003-11		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI): IMPLEMENTACIÓN Y MEDICIÓN EN CARRETERAS DE COSTA RICA		4. Fecha de la Propuesta Febrero, 2011
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. Agradecimientos A la cooperación, colaboración y mediciones realizadas por parte del Sustainable Transportation Infrastructure del VirginiaTech Transportation Institute (VTI), de Estados Unidos.		
9. Resumen <i>Las propiedades antideslizantes del pavimento desempeñan un papel importante en la seguridad de la carretera. El pavimento debe presentar un grado de fricción suficiente para que los vehículos circulen sin riesgo. Sin embargo, los métodos y equipos utilizados en la medición de la textura y la resistencia al deslizamiento varían considerablemente en los diferentes países. Por esta razón, el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR) decidió llevar a cabo un experimento internacional para comparar y armonizar los diferentes métodos de medida de textura y de resistencia al deslizamiento. Como resultado de este experimento se definió el Índice de Fricción Internacional (IFI) como un indicador que define el estado de una carretera en términos de la fricción y de la textura.</i> <i>En Costa Rica para determinar el coeficiente de fricción se ha utilizado inicialmente el GripTester, el cual tiene la ventaja de realizar un registro continuo de la fricción. Sin embargo, para su uso en carreteras, la bibliografía recomienda acompañar estas mediciones con una medida de macrotextura. Debido a esto, recientemente el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) ha adquirido un láser que permite medir la macrotextura en forma continua y con un alto rendimiento. Con el presente trabajo se presentan los resultados de las mediciones del GripTester y del láser de macrotextura para determinar la fricción y la textura de un pavimento e implementar el uso del Índice de Fricción Internacional (IFI) como parámetro de evaluación de la red vial nacional y como criterio de aceptación de proyectos viales.</i>		
10. Palabras clave IFI; Modelo AIPCR; microtextura; macrotextura	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 21
13. Preparado por: Ing. Gustavo Badilla Vargas Investigador	Ing. Melissa Rojas Marín Jefe Laboratorio de Campo	
Fecha: / /	Fecha: / /	Fecha: / /
14. Revisado por: Ing. Fabián Elizondo Arrieta Coordinador Unidad de Investigación		15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, MSc Coordinador General PITRA
Fecha: / /	Fecha: / /	Fecha: / /



TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
RESUMEN EJECUTIVO	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.3 ANTECEDENTES	7
1.4 JUSTIFICACIÓN	8
1.5 MARCO TEÓRICO	9
2. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	13
2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.2 SELECCIÓN DE TRAMOS DE PRUEBA PARA LA EVALUACIÓN DE LA MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA	13
2.3 MEDICIÓN DE MACROTEXTURA Y MICROTEXTURA EN LOS TRAMOS SELECCIONADOS.....	14
2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS, HALLAZGOS Y OBSERVACIONES.....	16
2.5 ELABORACIÓN DE INFORMES, PUBLICACIONES, MANUALES Y PRODUCTOS	16
3. RESULTADOS / PRODUCTOS ESPERADOS	17
4. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN	18
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	19
6. RECURSOS NECESARIOS	20
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

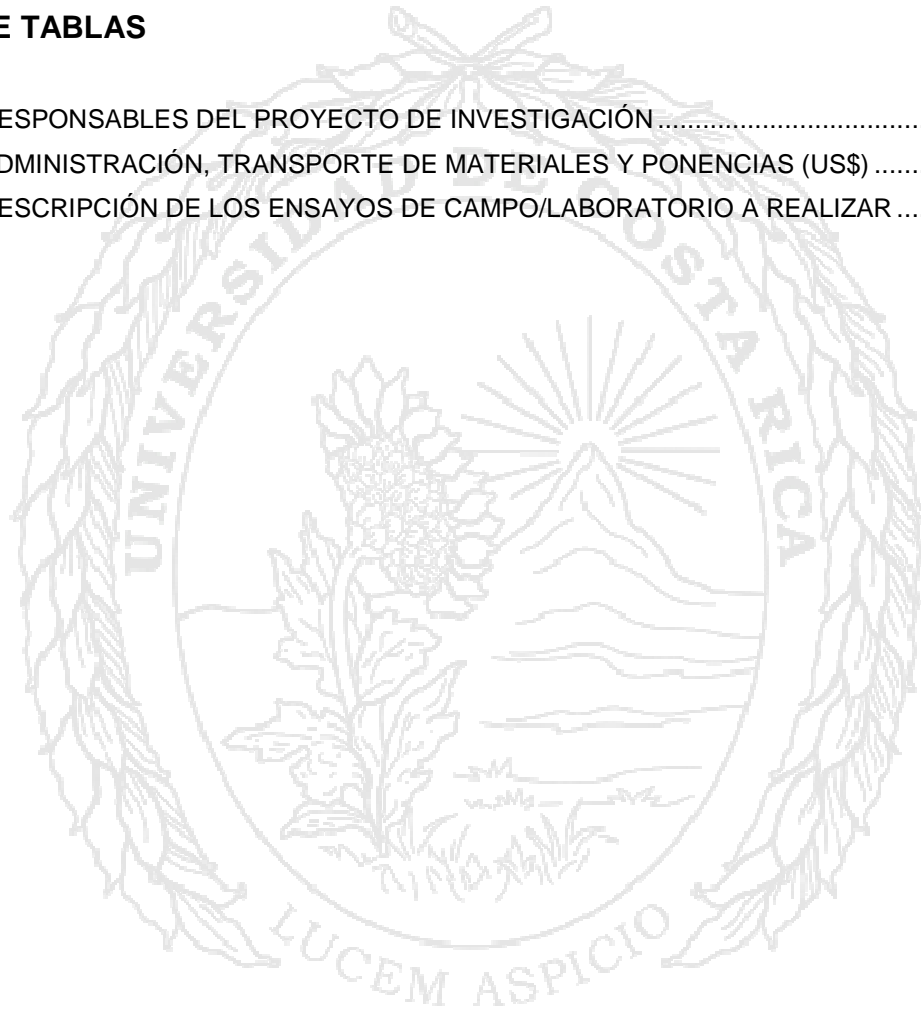


ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FRICCIÓN DE LA LLANTA DE UN VEHÍCULO (ADHESIÓN E HISTÉRESIS)	9
FIGURA 2. ILUSTRACIÓN DE LA MICROTEXTURA Y LA MACROTEXTURA	10
FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO AIPCR	12
FIGURA 4. ESQUEMA DE LAS EVALUACIONES PARA CADA UNO DE LOS TRAMOS	15

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESPONSABLES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	18
TABLA 2. ADMINISTRACIÓN, TRANSPORTE DE MATERIALES Y PONENCIAS (US\$)	20
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE CAMPO/LABORATORIO A REALIZAR	20





RESUMEN EJECUTIVO

Las propiedades antideslizantes del pavimento desempeñan un papel importante en la seguridad de la carretera. El pavimento debe presentar un grado de fricción suficiente para que los vehículos circulen sin riesgo.

Sin embargo, los métodos y equipos utilizados en la medición de la textura y la resistencia al deslizamiento varían considerablemente en los diferentes países. En Costa Rica, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) y según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributaria, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...” debe efectuar una evaluación bienal del estado de la red vial nacional pavimentada.

Así pues, el LanammeUCR ha realizado evaluaciones de la red vial nacional pavimentada desde el año 2002, obteniéndose durante los años 2002, 2004 y 2006 principalmente resultados de la regularidad superficial (a través del Índice de Regularidad Internacional, IRI) y capacidad estructural del pavimento con el deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD). Recientemente, durante las evaluaciones del 2008 y 2010, además de los parámetros anteriores se incorporó la evaluación del coeficiente de rozamiento mediante el uso del GripTester, el cual tiene la ventaja de realizar un registro continuo de la fricción. Sin embargo, para su uso en carreteras, la bibliografía recomienda acompañar estas mediciones con una medida de macrotextura. Debido a esto, el LanammeUCR ha adquirido un láser que permite medir la macrotextura en forma continua y con un alto rendimiento.

Con el presente trabajo se presentan los resultados de las mediciones del GripTester y del láser de macrotextura, propiedad del LanammeUCR; en colaboración con las mediciones realizadas con el CTMeter y el Dynamic Friction Tester (DFT), propiedad del Virginia Tech, USA para determinar la fricción y la textura de un pavimento e implementar el uso del Índice de Fricción Internacional (IFI) propuesto por el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR) para comparar y armonizar las mediciones que se realizan en Costa Rica con los diferentes métodos de medida que se usan alrededor del mundo. De esta manera será

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 5 de 21
---------------------------	---	----------------



posible establecer parámetros de evaluación de la red vial nacional y criterios de aceptación de fricción de proyectos viales.

1. INTRODUCCIÓN

Las características de la superficie son importantes tanto para el confort como para la seguridad de los usuarios. La superficie de un pavimento debe proveer una fricción adecuada y mantener un nivel adecuado de calidad de ruedo para asegurar la satisfacción de los conductores. En particular, la fricción que se desarrolla entre las llantas del vehículo y la superficie del pavimento es un factor crítico para controlar y reducir los accidentes de tránsito.

Debido a las diferencias en las mediciones de fricción obtenidas con diferentes métodos y equipos el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR) decidió llevar a cabo un experimento internacional para comparar y armonizar los diferentes métodos de medición de la fricción. Como resultado de este experimento se definió el Índice de Fricción Internacional (IFI) como un indicador que define el estado de una carretera en términos de las propiedades de textura del pavimento y la fricción del pavimento.

La fricción llanta-pavimento y la textura en la superficie del pavimento son características que influyen de manera considerable en la seguridad del conductor, sobre todo cuando el pavimento está mojado, por lo que deben ser parámetros que debe considerarse en el diseño de la superficie del pavimento y monitoreado a lo largo de la vida útil del pavimento. Las propiedades friccionantes que se desarrollan en la interface llanta-pavimento dependen de la microtextura y la macrotextura de la superficie, junto a las propiedades y el desgaste de la llanta, así como también condiciones ambientales y las características del vehículo. Recientes investigaciones han demostrado que niveles bajos de fricción puede asociarse con un incremento en el riesgo de accidentes, especialmente bajo condiciones húmedas, enfatizando la necesidad de controlar y restaurar las propiedades de fricción de la superficie.



Así pues, una buena adherencia permite, entre otros: disminuir la distancia de frenado y mantener la trayectoria del vehículo.

1.1 Objetivo general

Implementar y establecer la metodología de ensayo que se aplicará para la determinación del Índice de Fricción Internacional (IFI), como parámetro para armonizar la textura y la resistencia al deslizamiento para la medición de pavimentos en Costa Rica.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica para determinar el concepto de Índice de Fricción Internacional (IFI) y su normativa internacional.
- Determinar los cuidados, detalles y características que deben considerarse para la medición y cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI).
- Realizar la medición de textura y fricción en diferentes secciones de pavimentos con un amplio rango de texturas y diferentes velocidades para establecer la relación entre la velocidad y fricción para las diferentes secciones.
- Aplicar y verificar el cumplimiento del modelo del Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR) para armonizar los diferentes métodos de medida de textura y de resistencia al deslizamiento.
- Establecer criterios para la medición y evaluación de la fricción a nivel de red para la gestión vial, así como criterios de aceptación de proyectos nuevos.

1.3 Antecedentes

Como antecedente a este proyecto el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) y según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributaria, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...” debe efectuar una evaluación bienal del estado de la red vial nacional pavimentada.

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 7 de 21
---------------------------	---	----------------



Así pues, desde el año 2002 se llevó a cabo la primera campaña de evaluación de la red vial con equipos de alta tecnología. Durante las evaluaciones de los años 2002, 2004 y 2006 se midió principalmente: la regularidad superficial (a través del Índice de Regularidad Internacional, IRI) del pavimento con el perfilómetro láser y, por otro lado, se determinó la capacidad estructural del pavimento con los resultados de deflexión obtenidos con el deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD). Recientemente, durante las evaluaciones del 2008 y 2010, además de los parámetros anteriores se incorporó la evaluación del coeficiente de rozamiento mediante con el uso del GripTester, el cual por recomendación de su fabricante, fue empleado en aquellas rutas con Índice de Regularidad Internacional, IRI menor a 4 m/km.

1.4 Justificación

Un aspecto muy importante en la seguridad vial, es el nivel de agarre o rozamiento que experimenta la llanta del vehículo con la carretera. A mayor nivel de rozamiento, mayor es la fuerza que trata de oponerse al deslizamiento del vehículo, lo cual es necesario cuando el conductor debe tomar una curva a una velocidad moderada en carreteras principales o rotondas, o cuando debe frenar de emergencia.

Por otro lado, pavimentos con nivel de rozamiento bajo brindan condiciones inseguras para los usuarios, siendo el derrape o pérdida del control del vehículo la causa común de accidentes en rutas que presentan esta condición. Como se deriva de lo anterior, mantener un valor mínimo de rozamiento de la superficie es vital para conservar las condiciones de servicio y seguridad normales de una vía.

Varios países cuentan con estudios que relacionan los bajos niveles de rozamiento de un tramo vial con índices más elevados de ocurrencia de accidentes; lo cual indica que se deben mejorar los niveles de rozamiento para reducir la cantidad de accidentes y los gastos asociados con estos.

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 8 de 21
---------------------------	---	----------------

1.5 Marco teórico

La superficie del pavimento debe brindar una fricción adecuada y mantener un nivel adecuado de rodadura para asegurar la satisfacción de los usuarios. En el diseño de la superficie del pavimento es importante considerar que la combinación de una adecuada fricción, altos niveles de regularidad y bajos niveles de ruido se combinen de manera adecuada.

Entre los componentes de la fricción se reconoce:

- *Adhesión*: La adhesión es el resultado de la resistencia al corte provisto por la interacción molecular de la goma del neumático y de los áridos. Su magnitud es determinada por la naturaleza de los dos materiales en contacto.
- *Histéresis o deformación*: La deformación o histéresis de origen viscoelástico es causada por pérdida de amortiguamiento en la goma, cuando ésta es desgastada sobre y alrededor de las partículas minerales.

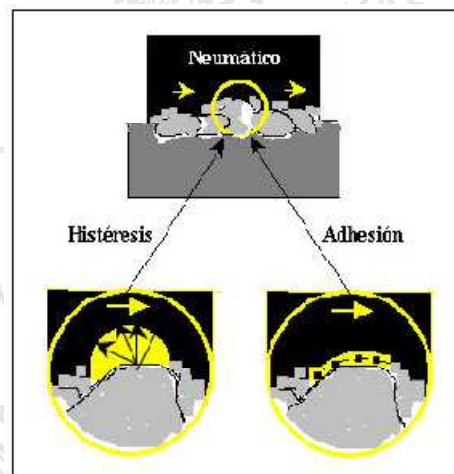


Figura 1. Fricción de la llanta de un vehículo (adhesión e histéresis)

En los pavimentos mojados, la película de agua que se interpone entre las dos superficies de contacto impide el contacto molecular, anulándose la componente de adherencia si la película de agua no es evacuada con rapidez. Esta pérdida de roce por adherencia en

pavimentos mojados se traduce en un incremento del porcentaje de accidentes por deslizamiento.

Sobre superficies secas, el roce del neumático/superficie producido por adherencia predomina sobre el roce producido por deformación, siendo proporcional al área de contacto llanta/pavimento, disminuyendo al aumentar la temperatura y variando con la velocidad.

La resistencia al derrape sobre la superficie de una carretera se ve fuertemente afectada por la microtextura y la macrotextura. En la **Figura 2** se ilustra el concepto de la microtextura y la macrotextura. La microtextura se relaciona principalmente con la textura superficial de los agregados; en el caso de la macrotextura, se relaciona con la textura superficial del pavimento proveniente del tipo de mezcla. La macrotextura provee el componente de histéresis de la fricción y permite un rápido drenaje del agua en el contacto entre la llanta y pavimento lo ayuda a disminuir la probabilidad de hidroplaneo. Por su parte, la microtextura provee el contacto directo entre la llanta-pavimento y contribuye a la componente de la adhesión de la fricción. En general, se puede decir que la microtextura tiene influencia directa en la fricción a bajas velocidades de circulación, mientras que la macrotextura tiene mayor importancia a velocidades altas de circulación.

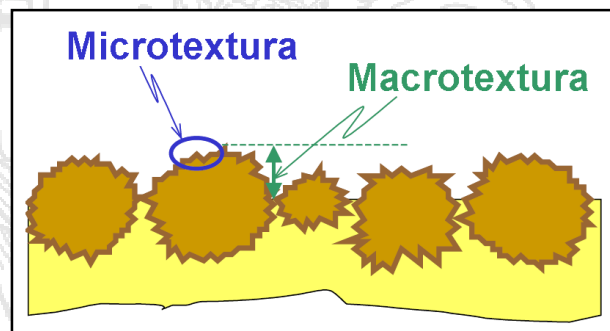


Figura 2. Ilustración de la Microtextura y la Macrotextura

La medición de la macrotextura puede ser dividida en dos clases principales: mediciones estáticas y mediciones dinámicas. Entre los métodos estáticos de macrotextura se puede mencionar el método de la mancha de arena y CTMeter (Circular Texture Meter, CTM). En el caso del método de la mancha de arena los resultados dependen en gran medida del operador, lo cual puede influir significativamente la repetibilidad del ensayo. Sin embargo,



este método ha sido considerado como el ensayo de referencia en las primeras investigaciones debido a su disponibilidad alrededor del mundo. Por su parte, en el caso de las mediciones dinámicas, actualmente se ha dado un mayor uso de los sistemas perfilométricos láser para la captura y levantamiento de información.

En el caso de la microtextura en general se emplean mediciones utilizando bajas velocidades tales como el Péndulo Inglés (British Portable Tester, BPT), el Dynamic Friction Tester (DFT) y los equipos de rueda bloqueadas.

Se han desarrollado diversos equipos para la medición de la fricción, cada uno con principios y procedimientos diferentes para la medición, procesamiento y reporte de los resultados. Con la finalidad de armonizar los resultados obtenidos por cada uno de los equipos se definió el Índice de Fricción Internacional (IFI) como un indicador que define el estado de una carretera, este índice incorpora mediciones de macrotextura y mediciones de fricción que reconocen la dependencia de la fricción a la velocidad y la textura. El IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por una coma, el primero representa la fricción y el segundo la macrotextura. El primero es un número adimensional y el segundo un número positivo sin límites determinados y unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno adherencia.

El IFI (ASTM E1960) es un método para evaluar en escala común para las diferentes mediciones obtenidas por diferentes equipos. El índice consiste de dos parámetros: el **Sp**, la constante de velocidad mediante las mediciones de la macrotextura, y el **F60**, es una estimación de la fricción armonizada a 60 km/h. El cálculo del IFI reconoce los tres pasos que se detallan a continuación y la **Figura 3** muestra el diagrama de flujo del modelo AIPCR para el cálculo del IFI:

1. Estimar el coeficiente del gradiente de velocidad Sp , usando la medición de macrotextura:

$$Sp = a + b * TX$$

Donde,

TX= medición de la macrotextura (mm)

a, b = constantes para diferentes métodos/dispositivos

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 11 de 21
---------------------------	---	-----------------

- Obtener la medida de fricción a una velocidad estándar de 60 km/h a partir de la velocidad de medición **S** del instrumento de medición utilizado:

$$FR(60) = FR(S) * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Donde,

FR(60) = Valor de fricción ajustado

FR(S) = valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento S

S = velocidad de deslizamiento seleccionada para el dispositivo, km/h

Sp = gradiente de velocidad calculado en el paso anterior, km/h

- Calcular el número de fricción IFI **F(60)** empleando los coeficientes desarrollados por la AIPCR para el instrumento de medición utilizado:

$$F(60) = A + B * FR(60)$$

Donde,

A, B = constantes de calibración para el dispositivo seleccionado para la medición de la fricción (ASTM E1960)

TX= medición de la macrotextura (mm)

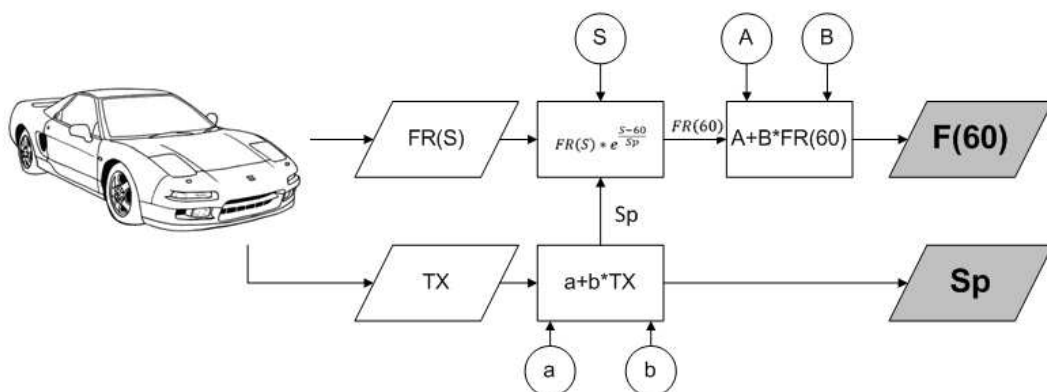


Figura 3. Diagrama de flujo del Modelo AIPCR



2. METODOLOGÍA PROPUESTA

Esta investigación tiene como objetivo implementar y establecer la metodología de ensayo que se aplicará para la determinación del Índice de Fricción Internacional (IFI), como parámetro para armonizar la textura y la resistencia al deslizamiento para la medición de pavimentos en Costa Rica. El proyecto se divide en 5 fases bien definidas, con alcances específicos para el cumplimiento del objetivo final.

2.1 Investigación bibliográfica

Esta fase comprende la revisión bibliográfica para registrar los estudios que se hayan realizado con anterioridad sobre el tema de armonización del IFI, así como también la búsqueda de especificaciones internacionales relacionada con valores de IFI aceptados.

2.2 Selección de tramos de prueba para la evaluación de la microtextura y macrotextura

Debido a que en Costa Rica no se cuenta con una pista de ensayo a escala natural con diferentes tipos de estructuras y mezclas asfálticas, es necesario analizar los resultados de las carreteras existentes, en busca de seleccionar tramos con diversos niveles de coeficientes de rozamiento, con tránsitos promedios diarios y geometría adecuada para la realización de los ensayos necesarios para la adecuada implementación del IFI.

La selección de estos tramos debe responder a tramos que brinden condiciones seguras y controladas para las mediciones correspondientes, así como la idoneidad de las superficies respectivas. Así pues, en esta etapa se analizarán los resultados de las evaluaciones a nivel de red durante el año 2010, por parte de la Unidad de Evaluación de la Red Vial (UERV) del LanammeUCR la cual constituye el principal insumo para la búsqueda de tramos con diferentes niveles de resistencia al deslizamiento, debe tenerse en cuenta que esta medición a nivel de red contempla únicamente aquellos pavimentos con un Índice de Regularidad Internacional (IRI) menor a 4 m/km. Adicionalmente, se analizará la base de datos de una serie de proyectos que están siendo monitoreados desde el año 2009 por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 13 de 21
---------------------------	---	-----------------



2.3 Medición de macrotextura y microtextura en los tramos seleccionados

En esta etapa se ejecutarán los ensayos para determinar la microtextura y macrotextura en los tramos seleccionados, el esquema de evaluación para cada uno de los tramos será como el que se propone en la **Figura 4**. En el caso de las mediciones con el DFT y CTMeter, éstas se realizarán gracias a la cooperación del Sustainable Transportation Infrastructure del VirginiaTech Transportation Institute (VTTI), de Estados Unidos. Entre los ensayos que se utilizarán se tienen:

- **ASTM E1911 Método de ensayo estándar para la medición de las propiedades friccionantes de la superficie pavimentada utilizan un Dynamic Friction Tester, DFT:** Tiene por objeto determinar la fricción de una superficie de pavimento como una función de las velocidades de deslizamiento. Consiste de un disco giratorio con tres almohadillas de hule que se deslizan sobre la superficie del pavimento, las cuales reducen la velocidad de giro del disco debido a la fricción generada entre las almohadillas del disco y el contacto con la superficie del pavimento. Típicamente la fricción entre el pavimento y las almohadillas se reporta para velocidades de 20, 40, 60 y 80 km/h.
- **ASTM E2157 Método de ensayo estándar para la medición de las propiedades de macrotextura de un pavimento usando el Circular Track Meter, CTMeter:** Este equipo es utilizado comúnmente en combinación con el DFT, tiene por objeto determinar la macrotextura del pavimento. Es un equipo que cuenta con un sistema basado en mediciones láser sobre el pavimento a lo largo de una circunferencia para determinar la Profundidad Media del Perfil (*Mean Profile Depth, MPD*). La norma ASTM también provee una fórmula para calcular un estimado de la Profundidad Media de la Textura (*Mean Texture Depth, MTD*) con base en los resultados del MPD.
- **IT-LC-05 Método de ensayo para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie haciendo uso de un dispositivo GripTester:** Tiene por objeto determinar la resistencia al deslizamiento de una superficie. El equipo tiene un dispositivo que mide la fricción de una llanta bloqueada con derrape fijo bajo condiciones húmedas. La llanta de ensayo, es un neumático de rodadura liso normalizado que mide la resistencia al deslizamiento, con rueda bloqueada al 15%, y se encuentra montada sobre un eje instrumentado que mide tanto la fuerza de arrastre horizontal como la

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 14 de 21
---------------------------	---	-----------------

fuerza vertical. Los datos recopilados por los diferentes transductores que miden la fuerza vertical y la fuerza horizontal en la llanta de ensayo, el flujo de agua, la velocidad y la distancia longitudinal son combinadas por una computadora para determinar la resistencia al deslizamiento de la superficie recorrida, definida por el GripNumber.

- **ASTM E1845 Método estándar para el cálculo de la Profundidad Media del Perfil (Mean Profile Depth, MPD):** Este procedimiento tiene por objeto determinar la Profundidad Media del Perfil, MPD, a partir del perfil de la macrotextura de un pavimento. Este perfil puede ser medido por cualquier método láser u óptico. Los resultados obtenidos son útiles para predecir la constante de velocidad (gradiente) de la fricción de un pavimento húmedo.
- **ASTM E965 Método de ensayo estándar para medir la profundidad de la macrotextura de un pavimento utilizando técnicas volumétricas:** Este procedimiento tiene por objeto determinar la profundidad de la macrotextura de un pavimento, a partir de la aplicación cuidadosa de un volumen conocido de material sobre una superficie y la subsecuente medición del área total cubierta.

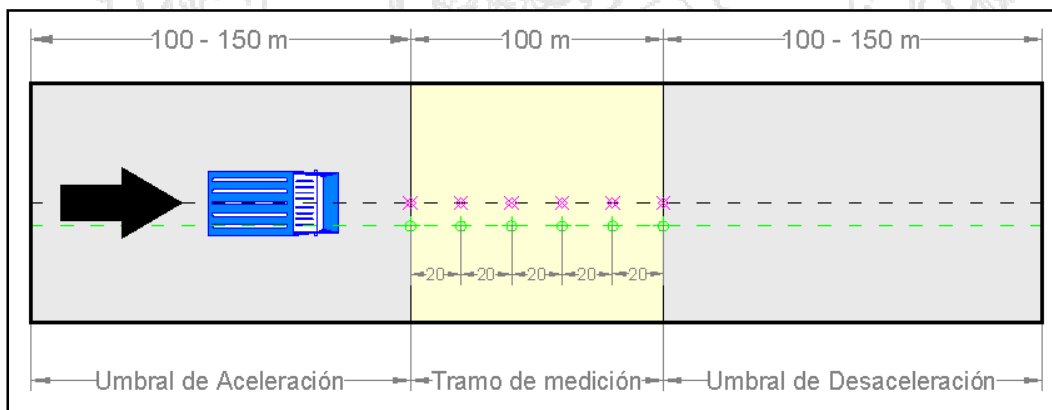


Figura 4. Esquema de las evaluaciones para cada uno de los tramos

Para las mediciones se emplearán al menos 5 tramos de una longitud mínima de 100 metros. En el caso de la medición con GripTester y la medición de la Profundidad Media del Perfil se realizará en la huella derecha y central de la vía, se realizarán 3 repeticiones para cada una de las pasadas a tres diferentes velocidades (30, 60 y 80 km/h). Una vez realizado



el ensayo con estos equipos de alto desempeño, se hará uso de los equipos estáticos a lo largo de las huellas medidas anteriormente, para la medición de microtextura (DFT) y la macrotextura (CTMeter y Mancha de Arena) en puntos separados cada 20 metros. En el caso del DFT, se realizarán 2 repeticiones de cada en la huella derecha y central de la vía. Por su parte, con el CTMeter se realizarán 2 repeticiones de cada medición en los mismos puntos evaluados con el DFT. Finalmente, en 6 de los 12 puntos donde se realicen los ensayos de DFT y CTMeter se realizarán mediciones de mancha de arena (ASTM E965).

2.4 Análisis de resultados, hallazgos y observaciones

En esta etapa se analizarán y discutirán los hallazgos y observaciones significativas, en términos de las especificaciones, estándares, políticas y procedimientos utilizados que permitan mejorar la implementación y establecer la metodología de ensayo que se aplicará para la determinación del Índice de Fricción Internacional (IFI). Se analizará la influencia que tiene la velocidad, textura, microtextura y macrotextura sobre la resistencia a la fricción que puede ofrecer la superficie del pavimento. Para esto, se emplearán los lineamientos de la norma ASTM E1960-07 *Método estándar para el cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI) de la superficie de un pavimento*. Este método considera el uso de las mediciones de macrotextura realizadas en la superficie de un pavimento, así como la medición FR(S) (valor de fricción medido por un dispositivo a la velocidad de deslizamiento, S) sobre una superficie húmeda.

Las mediciones de la macrotextura son utilizadas para calcular el coeficiente del gradiente de velocidad Sp . Y las mediciones del FR(S) son usadas en conjunto con el valor Sp para calcular la fricción a la velocidad de 60 km/h, FR(60) del equipo utilizado, luego se utiliza una regresión lineal para obtener el valor de fricción calibrado o ajustado a 60 km/h (F60). Finalmente, el valor del IFI es reportado como IFI (F60, Sp).

2.5 Elaboración de informes, publicaciones, manuales y productos

En esta fase se elaborarán los informes parciales y/o finales del desarrollo del proyecto y se publicarán los resultados, manuales y demás productos que se puedan obtener de la investigación.

Propuesta LM-PI-UI-002-11	Fecha de emisión: 25 de febrero de 2011	Página 16 de 21
---------------------------	---	-----------------



Se plantea organizar al menos un curso de medio día relacionado en abordar temas relativos a la fricción en carreteras, variables involucradas en el cálculo y la medición de la fricción y del IFI, así como establecer la relación que existe entre la fricción y la incidencia o probabilidad de accidentes asociados a superficies poco friccionantes.

3. RESULTADOS / PRODUCTOS ESPERADOS

X	Artículo científico en revista indexada		Libro
	Artículo científico revista no indexada		Capítulo de libro
X	Artículo de divulgación	X	Especificaciones técnicas
X	Ponencias en congresos		Hardware
	Conferencias o seminarios		Software
	Patentes		Trabajos o proyectos de graduación
X	Diseño de cursos	X	Nuevas metodologías
	Formación de la comunidad científica		

Generación de nuevo conocimiento: Científico y/o Académico

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Implementación y medición del Índice de Fricción Internacional (IFI) en Costa Rica	Publicaciones	Grupos de investigación que abordan el proyecto
Metodología para la medición y cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI)	Metodología	Consultores, constructores, administradores, laboratorios e ingenieros relacionados con sector vial del país.

Impacto a nivel nacional en la comunidad científica

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Formación de jóvenes investigadores	Participación de asistentes de investigación	Grupo de investigación que abordan el proyecto
Especificaciones técnicas	Redacción de los resultados en especificaciones	Grupo de investigación que abordan el proyecto, consultores, constructores, administradores, laboratorios e ingenieros relacionados con sector vial del país.



Beneficios sociales y/o culturales

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Convenios de cooperación en investigaciones conjuntas con la Administración y otros entes de investigación para establecer estudios relacionados con causas de accidentes atribuidas a problemas de fricción para establecer medidas concretas para conservar las condiciones de servicio y seguridad normales de una vía.	Trabajo conjunto	Administradores, usuarios de las carreteras, consultores, constructores, administradores, laboratorios e ingenieros relacionados con sector vial del país.

Fortalecimiento de vínculos de apoyo y reconocimiento de la Universidad de Costa Rica con el sector externo

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Artículo científico en revista indexada	Publicaciones	Grupo de investigación que abordan el proyecto
Ponencias en congresos, seminarios y/o simposios	Ponencias	
Fortalecimiento de vínculos de apoyo y reconocimiento	Cooperación científica	
Convenio de cooperación con Sustainable Transportation Infrastructure del VirginiaTech Transportation Institute (VTI), de Estados Unidos	Trabajo Conjunto	

4. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

El equipo de investigación que será responsable de la ejecución del proyecto de investigación, así como el tiempo que le dedicará a la misma.

Tabla 1. Responsables del proyecto de investigación

Investigador / Colaborador	Grado académico	Estado en régimen	Función en el proyecto	Dedicación semanal (horas)	Meses
Gustavo Badilla Vargas	Licenciatura	Interino	Investigador principal	5	8
Melissa Rojas Marín	Licenciatura	Interino	Investigador asociado	5	2
Asistente de investigación	Estudiante	Interino	Asistente de investigación	3	8



5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Una vez reconocidas las etapas que formarán parte de la investigación se define un cronograma genérico con permita una adecuada utilización de los recurso, una optimización del tiempo y el logro de los objetivos planteados.

Etapa o fase de la investigación	14 Feb - 20 Feb	21 Feb - 27 Feb	28 Feb - 6 Mar	7 Mar - 13 Mar	14 Mar - 20 Mar	21 Mar - 27 Mar	28 Mar - 3 Abr	4 Abr - 10 Abr	11 Abr - 17 Abr	18 Abr - 24 Abr	25 Abr - 1 May	2 May - 8 May	9 May - 15 May	16 May - 22 May	23 May - 29 May	30 May - 5 Jun	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	█	█																			
SELECCIÓN DE TRAMOS DE PRUEBA PARA LA EVALUACIÓN DE LA MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA			█	█	█	█	█	█													
MEDICIÓN DE MACROTEXTURA Y MICROTEXTURA EN LOS TRAMOS SELECCIONADOS											█	█		█	█						
ANÁLISIS DE RESULTADOS, HALLAZGOS Y OBSERVACIONES																█	█	█			
ELABORACIÓN DE INFORMES, PUBLICACIONES, MANUALES Y PRODUCTOS												█	█	█	█	█	█	█	█	█	█



6. RECURSOS NECESARIOS

Tabla 2. Administración, transporte de materiales y ponencias (US\$)

Descripción	Justificación	Valor
Publicaciones	Recopilación de información, libros y publicaciones en revistas nacionales e internacionales requeridas para la ejecución del proyecto de investigación	400
Papelería, fotocopias, transportes y viáticos	Informes, publicaciones, documentación, transporte de muestras de ensayo, viáticos para elaboración o mediciones, etc.	600
Equipos de calibración y verificación	Necesidad de contratar los servicios de una consultoría internacional con el VirginiaTech Transportation Institute (VTTI) para traer al país equipos especializados para calibrar, verificar y dar trazabilidad de las mediciones realizadas por los equipos que cuenta el LanammeUCR	10,000
Participación en congresos	Presentación de los resultados en eventos nacionales y/o internacionales de relevancia	2000
Total (US\$)		13,000

Con base al esquema experimental planteado, a continuación se presentan las cantidades de ensayo que se realizarán **por cada uno de los tramos de prueba.**

Tabla 3. Descripción de los ensayos de campo/laboratorio a realizar

Ensayo	Justificación	Cantidad
ASTME E1911 Método de ensayo estándar para la medición de las propiedades friccionantes de la superficie pavimentada utilizan un Dynamic Friction Tester, DFT	Medición de macrotextura y microtextura en los tramos seleccionados	24
ASTM E2157 Método de ensayo estándar para la medición de las propiedades de macrotextura de un pavimento usando el Circular Track Meter, CTMeter		24
IT-LC-05 Método de ensayo para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie haciendo uso de un dispositivo GripTester		18
ASTM E1845 Método estándar para el cálculo de la Profundidad Media del Perfil (Mean Profile Depth, MPD)		18
ASTM E965 Método de ensayo estándar para medir la profundidad de la macrotextura de un pavimento utilizando técnicas volumétricas		6



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Wang, H.; Flintsch, G. "Investigation of short and long-term variations of pavement surface characteristics at the Virginia Smart Road". 86th Annual Meeting del Transportation Research Board. National Academies. Washington, D.C. USA. 2007
- Flintsch, G.; Trifirò, F.; Guerrero, G.; Izzepi, E.; McGhee, K. "Comparison of friction measuring devices and preliminary evaluation of the International Friction Index Coefficients". 87th Annual Meeting del Transportation Research Board. National Academies. Washington, D.C. USA. 2008
- Flintsch, G.; Izzepi, E.; McGhee, K.; Roa, J. "Evaluation of the International Friction Index coefficients for various devices". 88th Annual Meeting del Transportation Research Board. National Academies. Washington, D.C. USA. 2009
- Wambold, J.; Antle, C.; Henry, J.; Rado, Z. "Experimento internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento". 01-04-T. Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR). 1995

