

Fecha de recepción: Octubre del 2010

Fecha de aprobación: Mayo del 2011

Resumen

Con el fin de responder a la necesidad expresa de establecer metodologías que sirvieran de apoyo a la eventual creación de un sistema de gestión de la inversión en carreteras en Costa Rica, la Unidad de Evaluación de la Red Vial del LanammeUCR desarrolló una serie de procedimientos que permiten evaluar la Red Vial Nacional con equipos de alto desempeño. Con estas metodologías fue posible realizar evaluaciones sistemáticas y respaldadas por criterios técnicos objetivos, con el fin de evaluar tanto la capacidad funcional y estructural de la Red Vial Nacional así como aquellos parámetros asociados a la resistencia al deslizamiento y el grado de deterioro superficial. Una vez implementadas estas metodologías fue posible generar y mantener una base de datos con información detallada de la condición general de la red vial, que pudiera servir de fundamento técnico para la generación de planes de inversión y estrategias de intervención.

Palabras clave: Evaluación, Carreteras, Estrategias, Gestión

Abstract

In order to answer to the express need to establish procedures capable of offering support to the eventual creation of a Pavement Management System in Costa Rica, the Evaluation of the National Road Network Unit (LanammeUCR) developed a series of methodologies with the use of high performance equipments. With these methodologies it was possible to establish a systematic evaluation process and technical objective criteria to realize an evaluation of the functional and the structural capacity, skid resistance and the level of superficial deterioration for the whole National Road Network. Once implemented these methodologies it was possible to generate and maintained a database with detailed information of the general condition of the road network, which could be use as a technical base for the generation of investment plans and intervention strategies.

Key words: Evaluation, Roads, Strategy, Management

INTRODUCCIÓN

La recopilación de datos sobre el estado de una red vial como la de Costa Rica no es, ni será nunca, un fin en sí mismo. Los datos deben procesarse y transformarse en información que resulte útil para la toma de decisiones. Estas decisiones no siempre son responsabilidad directa de personal con los conocimientos técnicos

suficientes para interpretar los datos de condición de un pavimento, de esta forma, la información es vital para que los tomadores de decisión mejoren su criterio y se consiga un impacto directo en la calidad de las redes viales.

El proceso lógico de gestión en una red vial de carreteras evoluciona a través del desarrollo de los siguientes conceptos básicos, “conocer” – “controlar” – “mejorar”. Siendo así, es de vital importancia conocer, con el mayor nivel de detalle y rigurosidad, la condición real y actualizada de la red vial y es aquí donde el uso de equipos de alto desempeño y precisión toman un papel protagonista.

Los parámetros técnicos con los que se realizan las evaluaciones en Costa Rica están relacionados directamente con mediciones de la capacidad estructural del pavimento, capacidad que está asociada con la vida útil o nivel de servicio de los pavimentos construidos, capacidad funcional o IRI, asociado con el costo de operación de la flota vehicular, confort y velocidades de operación, por último, de la seguridad vial, evaluada a través de la fricción de la superficie para facilitar el frenado de los vehículos. Para tales efectos se utiliza el deflectómetro de impacto (FWD), por medio del cual se miden las deflexiones superficiales obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, lo que permite inferir la capacidad soportante de dicho pavimento, y con ello, la vida útil remanente en dicha estructura. Además, se utiliza el perfilómetro láser, que mide las irregularidades superficiales (IRI) de las vías, parámetro que se asocia tanto con el confort que siente el usuario que circula por dicho tramo, como principalmente con los costos de operación de los vehículos que usan las carreteras y las velocidades de operación. En el tema de seguridad vial, el equipo de fricción o agarre (GRIP) permite medir el coeficiente de rozamiento existente entre el pavimento y las llantas, lo que determina su adherencia a la calzada de ahí que se le relaciona directamente con el índice de peligrosidad de una ruta.

Figura 1 Efecto de la regularidad superficial en el confort sentido por los usuarios de la ruta



DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, CRITERIOS DE CALIFICACIÓN Y PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

Capacidad funcional del proyecto (IRI). Descripción del equipo.

El perfilómetro láser es un equipo de última generación que permite evaluar la condición de regularidad superficial de las carreteras, mediante un índice de estado estandarizado internacionalmente, denominado IRI (Internacional Roughness Index). La regularidad o rugosidad de una carretera se define como la suma de las irregularidades de la superficie por unidad una longitud, lo que es percibido por el usuario como el confort de marcha. Sin embargo, el aspecto más importante de la regularidad superficial es que se relaciona directamente con los costos e uso del vehículo que circula por dicha carretera, dado que afecta su consumo de combustible y sus costos de mantenimiento (Figura 1).

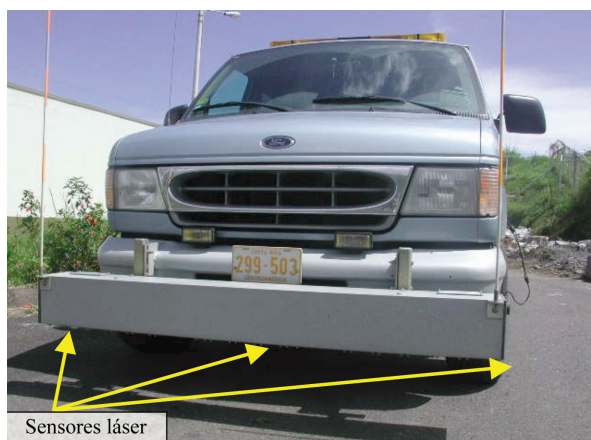
La Figura 2 muestra el equipo empleado por el LanammeUCR en la evaluación de proyectos, y que es conocido como perfilómetro láser. Dicho equipo consta de 3 sensores láser ubicados en la defensa delantera del vehículo, uno sobre cada huella de rodamiento y el tercero central. Estos sensores están conectados a un computador con GPS, el cual calcula en tiempo real el valor de IRI para segmentos de 100 metros de longitud, y los guarda en archivos de texto¹. Cada uno de estos archivos debe ser procesado individualmente, para convertirlos en tablas de datos que necesita el SIG para crear los mapas y reportes finales de las mediciones para cada tramo de carretera evaluado.

Criterios de Clasificación

Para definir rangos que pudieran reflejar la condición funcional de una ruta de forma objetiva, se analizó la fundamentación técnica que dio origen al concepto de IRI, y se aplicaron las correlaciones existentes con otros índices, aceptados internacionalmente, que describen la condición funcional de las rutas (serviciabilidad) considerando tanto la rugosidad de los pavimentos, como los deterioros existentes.

Uno de los principios fundamentales considerados por la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO) en el desarrollo de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos (AASHTO, Washington D.C., 1993), es la relación existente entre los conceptos de serviciabilidad y desempeño. De acuerdo con estos conceptos el pavimento existe para brindar confort y seguridad a los usuarios; por consiguiente, el desempeño de un pavimento debería ser cuantificado en términos de su serviciabilidad.

Figura 2 Perfilómetro Láser



¹ El proceso de cálculo del Índice de Regularidad Internacional se basa en las Normas de ASTM-E 950 “Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference”, la cual abarca la medición y almacenamiento de datos de perfil medidos con base en una referencia inercial establecida por acelerómetros; y la Norma ASTM-E 1170 “Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces”, la cual abarca el cálculo de la respuesta vehicular a las regularidades superficiales de la carretera, utilizando un programa de simulación vehicular.

La AASHTO desarrolló en 1962, por medio de experimentación en el “tramo de prueba de escala natural” una definición de serviciabilidad de un pavimento, denominada como “Present Serviciability Rating” (PSR). El cálculo de este índice se realizó por medio de una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, realizado por un grupo de personas que formaron parte de un panel evaluador. De esta evaluación subjetiva surgió una escala de clasificación que calificó la calidad de ruedo con valores entre 0 (intransitable) y 5 (excelente).

Uno de los objetivos principales de este estudio era desarrollar una relación entre el índice PSR subjetivo y un índice objetivo como lo es el índice PSI.

Producto de desarrollo de modelos de regresión lineal se logró calcular los valores de PSI, considerando para ello, datos provenientes de las distintas secciones de la “Pista de Prueba” construida por la AASHTO. De esta forma, fue posible estimar el PSR como una función derivada de variables como el “Slope Variante”, (SV) y considerando el aporte de deterioros como agrietamientos y bacheo, la cual logró estimar un nuevo índice de serviciabilidad objetivo conocido como PSI y representado por las siguientes ecuaciones:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1 + SV) - 1.38 * D^2 - 0.01 * (C + P)^{0.5}$$

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09 * (C + P)^{0.5}$$

Donde:

- SV: Varianza de a pendiente longitudinal (Slope Variance) medida con un perfilómetro CHLOE, rod x 10-6 (in/ft²).
- RD: Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in.
- C (en asfalto): Superficie agrietada, ft²/1000ft².
- C (en hormigón): Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertos, ft²/1000ft².
- P: Superficie bacheada, ft²/1000ft².

Considerando el alto grado de correlación existente entre las calificaciones de serviciabilidad por parte del usuario y ciertas variables que miden cuantitativamente el deterioro físico de pavimento, el concepto inicial de serviciabilidad (en términos de la opinión de un usuario, PSR) fue reemplazado por el de un índice de

serviciabilidad (PSI) calculado según las relaciones anteriores, a partir se ciertos parámetros medidos con absoluta objetividad.

Una vez establecido el PSI como un indicador objetivo de la serviciabilidad de un pavimento, se desarrollaron investigaciones que permitieron establecer distintos modelos de correlación matemáticos para la estimación del PSI en función del IRI, entre ellos tenemos:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5 - 0.2937X^4 + 1.1771X^3 - 1.4045X^2 - 1.5803X$$

R² = 95%

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5 + 0.6046X^3 - 2.2217X^2 - 0.0434X$$

R² = 96.5%

Donde **x = log (1+SV)** para ambos casos

Adicionalmente se establece una ecuación de regresión del análisis de pares ordenados IRI – SV, obteniendo la siguiente ecuación:

$$SV = 2.2704 * IRI^2$$

R² = 98.8%

Combinando las ecuaciones (3) y (5) para pavimentos flexibles y (4) y (5) para pavimentos rígidos es posible obtener modelos que correlacionen PSI e IRI con un alto grado de confianza.

Otros modelos propuestos por Al –Omari y Darter (6) son:

Al –Omari y Darter (6) para pavimentos flexibles

$$PSR = 5 * e^{(-0.24*IRI)}$$

R² = 73%

Al –Omari y Darter (6) para pavimentos rígidos

$$PSR = 5 * e^{(-0.272*IRI)}$$

R² = 73%

De los modelos antes descritos, se eligen, para la determinación de los rangos de IRI, los representados por las ecuaciones (3) y (4) (por sus coeficientes de variación R² más altos), combinados con la ecuación (5).

De esta forma, mediante el uso de los modelos mostrados, se pueden establecer rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), los cuales ya fueron definidos por la AASHO en 1962.

Los rangos propuestos se muestran en la Tabla 1 y permiten clasificar las rutas por su condición funcional considerando valores de rugosidad (IRI) y de serviciabilidad (PSI).

Capacidad estructural del proyecto (FWD). Descripción del equipo.

Un indicador muy importante del comportamiento de los pavimentos, son las deformaciones que éste experimenta al ser sometido al peso de los vehículos. Dichas deformaciones o deflexiones se asocian directamente con la ocurrencia de agrietamientos por fatiga y deformaciones permanentes en la capa de rodamiento, tales como roderas; lo cual reduce la vida útil del pavimento.

Existen actualmente diversas técnicas para obtener dichas deflexiones, las cuales se basan en la teoría

del pavimento como una estructura multicapa, cuyo comportamiento sigue la teoría de elasticidad. Los métodos de medición bajo impacto son los que mejor simulan el efecto de las cargas dinámicas como las producidas por los vehículos al transitar (Aquino, Zárate: “Comentarios sobre la aplicación de los parámetros relacionados con la forma de la cuenca de deflexiones, utilizando el deflectómetro de impacto”, 2006). El equipo utilizado en el LanammeUCR para la evaluación de deflexiones en pavimentos, conocido como FWD por sus siglas en inglés (Falling Weight Deflectometer) o simplemente deflectómetro de impacto (Figura 3), utiliza esta metodología. El deflectómetro de impacto es un equipo de alta tecnología que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto dado, debido al golpe de un peso lanzado por un mecanismo diseñado específicamente con este propósito, de tal manera que produzca una fuerza de reacción en el pavimento de 40 KN (566 Mpa). Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente en el plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima de 180 centímetros (Figura 4)². Con esta disposición es posible obtener además la

Tabla 1 Rangos y Valores característicos de IRI en función del PSI

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHO)			Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHO)			Clasificación	Descripción AASHO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI		
5.0	0.0	0 - 1.0	5.0	0	0 - 1.4	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
4.2	0.8		4.5	0.97			
4.0	1.0		4.0	1.4			
3.0	1.9	1.0 - 1.9	3.0	2.3	1.4 - 2.3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2.5	2.6	1.9 - 3.6	2.5	2.9	2.3 - 3.6	Regular	En esta categoría la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2.0	3.6		2.0	3.6			
1.5	4.9	3.6 - 6.4	1.5	4.6	3.6 - 6.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0	6.4		1.0	6.0			
0.0	9.5	> 6.4	0.0	11.2	> 6.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

forma y tamaño del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada. Es posible, con un procedimiento de cálculo inverso, determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento, así como su vida útil remanente.

Es importante notar que las deflexiones obtenidas, si bien sirven para inferir la capacidad estructural de un pavimento, no son suficientes por sí solas, dado que se necesita además conocer la estructura interna del pavimento (capas componentes, materiales, espesores) y del tránsito (número de vehículos, composición de la flota), para poder estimar correctamente la capacidad estructural y vida útil remanente de la carretera; estos elementos serán considerados al momento de definir los rangos con los que se va a clasificar el pavimento de acuerdo con los valores de deflexiones medidos.

•Criterios de clasificación

La evaluación del proyecto con el deflectómetro de impacto brindará datos de deflexiones medidas en $\text{mm} \times 10^{-2}$, para lograr definir si esas deflexiones corresponden a pavimentos con buena, regular o mala capacidad estructural es necesario definir los rangos de deflexiones aplicables.

Para la definición de estos rangos es necesario contar con el detalle de los paquetes estructurales efectivamente construidos en las distintas secciones del pavimento, es decir, espesores, tipos de material, módulos de los materiales, datos de tránsito, longitud del tramo, etc.

La capacidad estructural del pavimento disminuye con el tiempo y el tráfico. En el caso de los pavimentos flexibles, la capacidad estructural efectiva puede determinarse mediante tres metodologías alternativas:

- Capacidad estructural con base en ensayos a los materiales y evaluación visual.
- Capacidad estructural con base en ensayos no destructivos de deflexión.

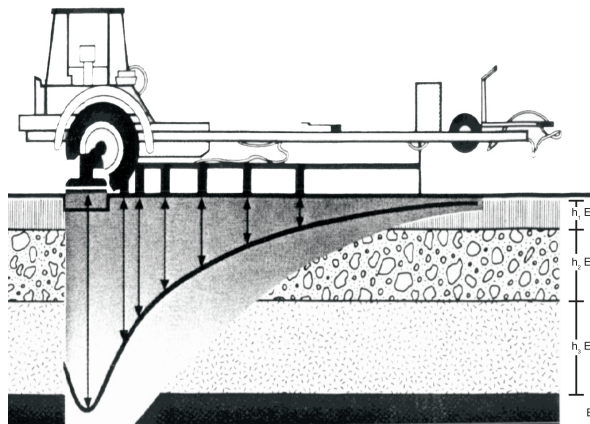
Deflectómetro de Impacto

Figura 3



Cuenco de deflexiones producido por el equipo FWD

Figura 4



- Capacidad estructural con base en daño por fatiga debido al tráfico.

En la definición de los rangos el LanammeUCR utiliza el método de “Vida Remanente”, el cual sigue el concepto de daño por fatiga. Esto es, que las cargas repetidas dañan gradualmente el pavimento y reducen el número de cargas adicionales que puede soportar y que lo llevan a la falla. En este caso, se supone que la reducción en la capacidad estructural del pavimento, no presentará daños observables pero si una reducción en términos de la cantidad de cargas futuras que puede soportar.

Para determinar la “Vida Remanente”, se debe determinar la cantidad de tráfico que el pavimento ha soportado hasta ese momento y la cantidad total de tráfico que se espera, pueda soportar hasta la “falla” (para ser consistentes con la ecuación de diseño de

2 El procedimiento de medición se realiza con base en la Norma ASTM D 4695 “Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements”, y consiste en transportar el equipo al lugar del ensayo y colocar el plato de carga sobre el punto deseado, descender el plato de carga y los sensores a la superficie del pavimento y subir el peso a la altura deseada para luego dejarlo caer, grabando los resultados de deflexión y carga.

la metodología de la AASHTO 1993, se considera la falla cuando el índice de serviciabilidad, PSI, es igual a 1.5). Ambas cantidades de tráfico deben expresarse en términos de Ejes Equivalentes de Diseño de 9000 Kg (18000 lbs). La diferencia entre estos valores, expresado como un porcentaje del tráfico total para la “falla” se define como “Vida Remanente”, y se denota por la Ecuación :

$$RL = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right]$$

donde:

RL: Vida Remanente, %

N_p: cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño en un momento determinado, ESAL`s 18000 lbs

N_{1.5}: cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño para la falla del pavimento (PSI=1.5), ESAL`s 1800 lbs

Una vez determinada la “Vida Remanente”, el diseñador puede obtener el Factor de Condición, CF, a partir de la 5. El Factor de Condición, CF, se define como:

$$CF = \frac{SC_n}{SC_0}$$

donde:

SC_n: capacidad estructural del pavimento después de N_p ESAL`s

SC₀: capacidad estructural original del pavimento

La capacidad estructural existente puede ser estimada multiplicando la capacidad estructural original del pavimento por el Factor de Condición, CF, como se muestra a continuación:

$$SN_{eff} = CF \times SN_0$$

La aproximación de la vida remanente para determinar el S_Neff tiene algunas limitaciones asociadas con el método. Las principales son las siguientes:

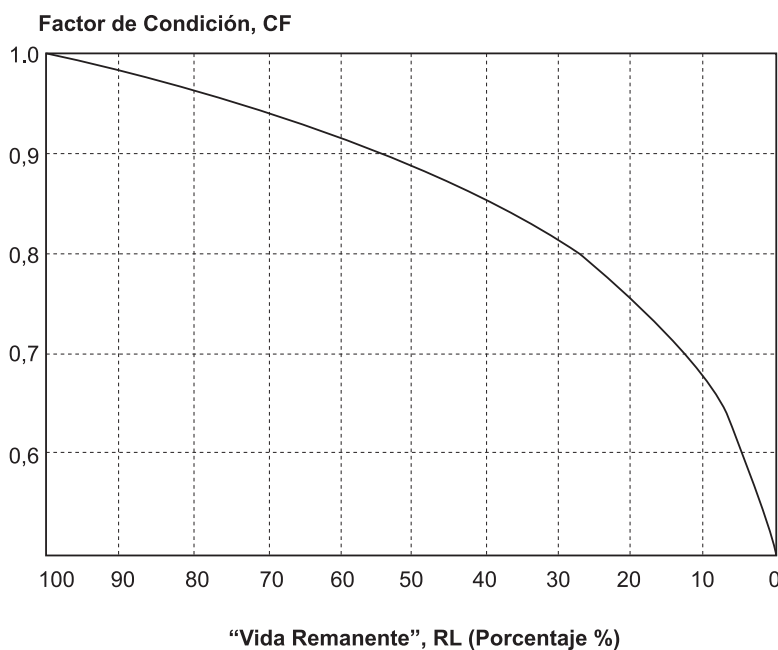
- La capacidad de predicción de las ecuaciones de diseño obtenidas de la pista de ensayo de la AASHTO.
- Las grandes variaciones en el desempeño típico observado en pavimentos con diseños aparentemente idénticos.
- La estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño de 18000 lbs que han pasado en un determinado momento.

El criterio utilizado por la Unidad de Evaluación de la Red Vial para la evaluación de proyectos, fue el de evaluar las variaciones en el número estructural al 60% y al 20% de Vida Remanente.

Numerosos estudios demuestran para el comportamiento de la curva del Índice de Serviabilidad Presente (PSI), que la mayoría de los pavimentos tiene un comportamiento donde la variación del índice es muy baja en los primeros años y desciende de forma acelerada al final del período de diseño, por lo tanto, las deflexiones esperadas antes de un 60% de Vida Remanente, serán representativas de un pavimento en buen estado estructural, mientras que aquellas obtenidas para un pavimento con un 20% de Vida Remanente, corresponderían a un pavimento con un mal estado estructural.

Una vez obtenidos los nuevos valores de los SN al 60% y 20% de vida remanente, es posible mediante un proceso de retrocálculo, establecer los valores de deflexión asociados con esta pérdida de capacidad estructural y luego definir “juegos de rangos”, tantos como paquetes estructurales se hayan construido, aplicables a cada tramo y que permitan calificar los valores de las deflexiones obtenidas en los ensayos de deflectometría en el proyecto dado.

Figura 5 Relación entre Factor de Condición y “Vida Remanente”



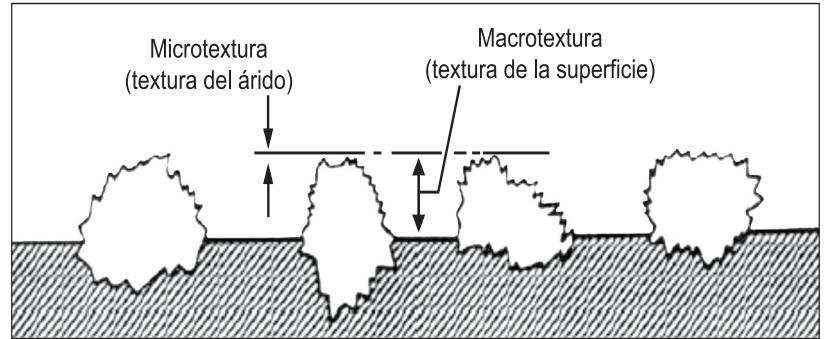
**Resistencia al deslizamiento (Grip Number).
Descripción del equipo.**

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 por ejemplo cuando el conductor debe tomar una curva a una velocidad moderada en carreteras principales o rotondas, o cuando debe realizar una frenada 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.

El nivel de rozamiento de la superficie depende de varios factores, siendo los principales la macro textura y la micro textura de la mezcla asfáltica o concreto utilizado en la vía. La macro textura se relaciona directamente con el tipo de agregado expuesto en la mezcla obtenida; y afecta directamente la capacidad de drenaje del agua en la superficie de la vía. A mayor macro textura, mejor esta capacidad, pero en detrimento del desgaste de las llantas de los vehículos que por dicha ruta circulan. A menor macro textura, menor la capacidad de drenaje de la carretera, que ante ciertas condiciones de cantidad de agua superficial y velocidad de los vehículos produce el fenómeno llamado hidropilano: la llanta no se encuentra en contacto directo con la superficie, sino que entre ambos se forma una pequeña película de agua, lo que conlleva a la pérdida del control del vehículo al maniobrar. Por otra parte, la micro textura depende directamente de la superficie del agregado expuesto en la mezcla, y es la que brinda la adhesión entre este agregado y la llanta. La piedra con poca resistencia o que se pule fácilmente con el paso del tránsito (como por ejemplo el agregado calizo) es por tanto poco apta para utilizarla en superficies de ruedo. La Figura 6 ilustra lo expuesto anteriormente.

Diferencias entre micro y macro textura del agregado en una superficie de ruedo

Figura 6



El equipo utilizado por el LanammeUCR para medir el coeficiente de rozamiento es del tipo que utiliza una rueda parcialmente bloqueada en dirección de la trayectoria seguida, y es conocido a nivel internacional como Griptester. Dado que la condición húmeda de una carretera es la condición que ofrece el menor rozamiento, el equipo posee una bomba y una reserva capaz de generar una película de agua constante al frente de la rueda; mediante sensores, el equipo calcula directamente la fuerza de arrastre ejercida sobre ésta y obtiene el gripnumber o medición de rozamiento. Este valor puede relacionarse con el coeficiente internacional

Griptester utilizado

Figura 7



de fricción IFI, si se conoce la textura de la superficie de ruedo. La ventaja de este aparato es su facilidad de operación, su reducido tamaño que no necesita de un vehículo dedicado, y que permite tomar mediciones continuas en las carreteras (ver Figura 7).

Crterios de clasificaci3n

El lanammeUCR defini3 se utilizaron dos rangos de clasificaci3n para medir la condici3n de rozamiento en la red vial. El primer rango es el que recomienda el fabricante del equipo, el cual varía un poco segun el tipo

Tabla 2 Valores de GN m3nimos recomendados por el fabricante del Griptester para carreteras

Zona	Definici3n de v3a donde aplica	GN*
A	Autopista	0.48
B	V3as de doble carril	0.48
C	V3as de carril sencillo	0.54
D	V3as de doble carril, 50 m o menos de distancia e intersecciones con rutas secundarias	0.54
E	V3as de carril sencillo, 50 m o menos de distancia e intersecciones con rutas secundarias	0.60
F	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia e intersecciones con rutas secundarias	0.60
G1	Rutas con pendientes entre 5% y 10% (no importa la cercan3a a intersecciones)	0.60
G2	Rutas con pendientes mayores del 10% (no importa la cercan3a a intersecciones)	0.66
H1	Lazos de uni3n entre autopistas, radios menores a 250 m	0.60
H2*	Lazos de uni3n entre autopistas, radios menores a 100 m	0.78
J	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a rotondas	0.66
K	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a sem3foros y/o pasos de peatones / ferrocarril	0.66
L*	Rotondas	0.72

* Todas las mediciones hechas a 50 km/h, excepto H2 y L, las cuales se realizan a 20 km/h.

Tabla 3 Clasificaci3n internacional del pavimento segun el GN

GN	Condici3n	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 0.50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo
0.50 - 0.60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudaci3n y p3rdida de textura
0.60 - 0.76	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento r3gido y flexible con buena textura
> 0.78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 16	Pavimento nuevo o sobrecapas

de v3a por el que se circula; los valores recomendables aparecen en la Tabla 2. El segundo rango de clasificaci3n es utilizado a nivel internacional, el cual relaciona los valores del coeficiente de fricci3n transversal (CFT) con el valor Griptester (GN) que arroja la prueba; 3ste es ilustrado en la Tabla 3.

PRODUCTOS GENERADOS DE LA EVALUACIÓN DE REDES CON EQUIPOS DE ALTO DESEMPEÑO.

Como resultado de la evaluación de redes con equipos de alto desempeño se generan una serie de productos fundamentados en el análisis de los datos obtenidos y en su transformación a información procesada, útil para la toma de decisiones y diagnóstico de las capacidades funcionales, estructurales y de seguridad vial del proyecto.

Es necesario tener presente la diferencia conceptual entre “datos” producto de una evaluación con equipos de alto desempeño y la generación de “información”. Por medio de información es posible tomar decisiones ya que el criterio técnico se sustenta en conocimiento veraz y oportuno.

Dentro de los procesos de generación de información, se utiliza actualmente la combinación de índices de condición del pavimento, de esta forma los tramos de carretera pueden ser calificados de forma más integral, considerando tanto su capacidad funcional como su capacidad estructural y finalmente establecer niveles de condición general que permiten catalogar un tramo de vía como candidato a algún tipo de intervención a nivel estratégico, es decir, tramos candidatos a mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

De esta forma, los equipos de evaluación de redes de alto desempeño se constituyen como las herramientas más útiles en la evaluación de redes.

Referencias bibliográficas

1. **American Association of State Highway and Transportation Officials.** Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C, United States: AASHTO, 1993.
2. **American Society for Testing and Materials. D 6433.** Prácticas Estandarizadas para Evaluar el Índice de Condición de Pavimentos en Carreteras y Parques. West Conshohocken PA 19428-2959, United States: ASTM, 2003.
3. **Barrantes, Roy;** Autores secundarios: Loría, Luis Guillermo; Sibaja, Denia; Porras, Juan Diego. Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR, 2008.
4. **Barrantes, Roy; Badilla, Gustavo; Sibaja, Denia.** Propuesta de Rangos para la Clasificación de la Red Vial Nacional. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR, 2008.
5. **Ulloa, Álvaro; Badilla, Gustavo; Allen, Jaime; Sibaja, Denia.** Proyecto de Encuesta de Carga. Unidad de Investigación. Proyecto #PI-01-PIIVI-2007. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR, 2007.