

Pavimentos - T 062

SISTEMA DE MEDICIÓN CONTINUA DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Dr. Ing. Tomas ECHAVEGUREN *
Ph.D. Hernán DE SOLMINIHAC **
Dr. (c) Ing. Alondra CHAMORRO **
Dr. Ing. Sergio VARGAS - TEJEDA ***
Dr. Marcelo BUSTOS ****

(*) Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería. Concepción, CHILE.

(**) Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
Santiago, CHILE.

(***) Universidad del Bio Bio, Facultad de Ingeniería. Concepción, CHILE.

(****) Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Universidad Nacional
de San Juan. Pcia. de San Juan, ARGENTINA.

ARGENTINA / CHILE

RESUMEN

La resistencia al deslizamiento (RD) es una característica superficial del pavimento relacionada con la seguridad. Por tal motivo, los sistemas de gestión de pavimentos la incorporan como una variable adicional al resto de variables funcionales de estado de los pavimentos. Para una adecuada toma de decisiones de mantenimiento por insuficiencia de fricción, es menester contar con un adecuado sistema de medición, el cual permita, medir y procesar los datos de resistencia al deslizamiento y transformarlos así en información útil.

Particularmente, la resistencia al deslizamiento es una variable cuya medición puede verse afectada por múltiples factores, relacionados con el equipo utilizado, las condiciones de medición, y el estado superficial del pavimento. Esto hace que los datos habitualmente presenten una alta variabilidad, lo cual dificulta su interpretación.

Por tal motivo, se desarrolló en Chile un Sistema de Medición de Resistencia al Deslizamiento, el cual permite medir, procesar y segmentar en forma estandarizada los datos de RD dentro de un tramo pavimentado.

Para ello se desarrolló una serie de mediciones de prueba destinadas a determinar el tipo de correcciones a aplicar sobre los valores medidos de RD en función de la temperatura y velocidad de medición, y así llevarlos a un valor estandarizado de comparación. De esta manera se obtuvieron ecuaciones de corrección, las cuales fueron calibradas mediante análisis de conglomerados (clusters). Estos análisis se desarrollaron por separado para superficies asfálticas y de hormigón, y para los equipos SCRIM y Grip Tester. Asimismo, se desarrolló un procedimiento matemático que permite segmentar en forma automática los datos de RD ya corregidos y luego determinar valores representativos en cada segmento.

Se obtuvo así una metodología de medición y procesamiento de datos de resistencia al deslizamiento que permite ordenar y sistematizar los procedimientos actualmente utilizados en Chile, con lo cual se pretende mejorar sustancialmente el estado de la práctica en esta materia.

Palabras Clave: Resistencia al Deslizamiento, Medición, Segmentación, Velocidad, Temperatura, SCRIM, Grip Tester.

INTRODUCCION

Las mediciones de resistencia al deslizamiento poseen una alta variabilidad producto de la temperatura, oscilaciones climáticas, velocidad de medición, condición superficial del pavimento, operación del equipo de medición y tipo de equipo de medición. Para lograr un control eficiente de la resistencia al deslizamiento es necesario contar con mecanismos que permitan procesar de manera ordenada y eficiente los datos de resistencia al deslizamiento medidos en terreno que, a ojo desnudo, aparecen como caóticos y sin un patrón definido de comportamiento.

Recientemente finalizó un proyecto de investigación liderado por la Pontificia Universidad Católica de Chile en comunión con el Laboratorio Nacional de Vialidad de Chile y el apoyo de un grupo de sociedades concesionarias y agencias de auscultación nacionales. A partir de dicho proyecto, se desarrollaron una serie de procedimientos destinados a actualizar la normativa de gestión de fricción de Chile. Dentro de esta normativa se contempló un fuerte trabajo en materia de medición y armonización de equipos de medición de resistencia al deslizamiento. El fin último fue estructurar en un cuerpo ordenado los procedimientos que permitan obtener datos de resistencia al deslizamiento adecuados para compararlos con los umbrales resistencia al deslizamiento.

Este trabajo, muestra el resultado de dicha tarea, un sistema de medición de resistencia al deslizamiento, aplicado a los equipos de medición continua existentes hoy en Chile.

Objetivos y Metodología de Investigación Utilizada

El objetivo principal de este trabajo es presentar en forma concisa un procedimiento de medición y análisis de datos de resistencia al deslizamiento. Este procedimiento fue desarrollado con el objeto de actualizar la norma chilena para medición de resistencia al deslizamiento con los equipos de medición continua Grip Tester y SCRIM. No obstante, puede ser extendido en forma sencilla a cualquier tipo de equipo de medición continua de resistencia al deslizamiento.

Para efectuar la investigación, se desarrolló una metodología modular que permitió desarrollar cada uno de los sub-procesos de los que está compuesto el sistema. De este modo, la metodología quedó sustentada en cinco experimentos que dieron por resultado la

propuesta de sistema de medición que se presenta en este trabajo. Los experimentos fueron orientados para obtener: (a) un método de análisis de repetibilidad y reproducibilidad de equipos, (b) un factor de ajuste de temperatura sobre mediciones, (c) un factor ajuste por velocidad sobre mediciones, (d) un método de armonización de equipos y (e) un método para la segmentación de datos. En la siguiente sección se presentan los experimentos realizados.

EXPERIMENTOS DESARROLLADOS

Repetibilidad y Reproducibilidad de Equipos

Este experimento se realizó para verificar el funcionamiento individual de cada equipo y de la flota disponible de equipos. Para ello se diseñó previamente una metodología basada en análisis de varianza de medidas repetidas, la cual se describe en detalle en De Solminihaç et al. (2007 a y b). Con esto se aseguró que los equipos operaban sobre un estándar de calidad mínimo para el desarrollo de los experimentos siguientes.

Efecto de la Temperatura

Para estimar el efecto de la temperatura se realizaron mediciones sistemáticas con los equipos disponibles. Las mediciones se realizaron en tres superficies: asfalto, concreto y tratamientos superficiales. Abarcaron un período de tiempo de 10 horas con mediciones cada 30 minutos por cada ciclo de medición, considerando así los periodos normales de variación térmica. De este modo, se abarcaron temperaturas ambientales entre 15°C y 40°C. Con estos datos se construyeron modelos de variación de temperatura del pavimento y ambiental, y su correlación con las mediciones de resistencia al deslizamiento.

Efecto de la Velocidad

Para estudiar este efecto se realizaron mediciones en 3 tipos de superficies, con 4 réplicas cada una. Las mediciones se realizaron a 30 km/h, 50 km/h and 70 km/h. A partir de ella se realizó un análisis de conglomerados para interactivamente identificar el rango de oscilación alrededor de la velocidad estandarizada de ensayo que no alteraba significativamente las medidas de resistencia al deslizamiento. Dicho rango resultó ser de ± 4 Km/h. Fuera de ese rango, se desarrollaron expresiones lineales de ajuste para estandarizar las mediciones.

Experimento de Armonización

La armonización se define como la acción de poner en relación de igualdad dos equipos que miden resistencia al deslizamiento mediante principios de funcionamiento distinto, minimizando las diferencias entre mediciones.

Existen diversos estudios de armonización, entre los cuales se cuentan los estudios del *International Friction Index* (IFI), *European Friction Index* (EFI), *International Runway Friction Index* (IRFI), método ESDU además de correlaciones directas entre equipos (referencias). El experimento desarrollado considera conceptos de las primeras tres metodologías.

Para armonizar los equipos Grip Tester y SCRIM, ambos disponibles en Chile, se realizaron mediciones en superficies normalizadas con diferentes valores de resistencia al deslizamiento y macro textura. Las mediciones de resistencia al deslizamiento se realizaron a velocidades de 30, 50 y 70 Km/h. Las mediciones de macro textura se realizaron con Perfilómetro Laser. A partir de estas mediciones, se desarrolló el método de armonización.

Experimento de Segmentación

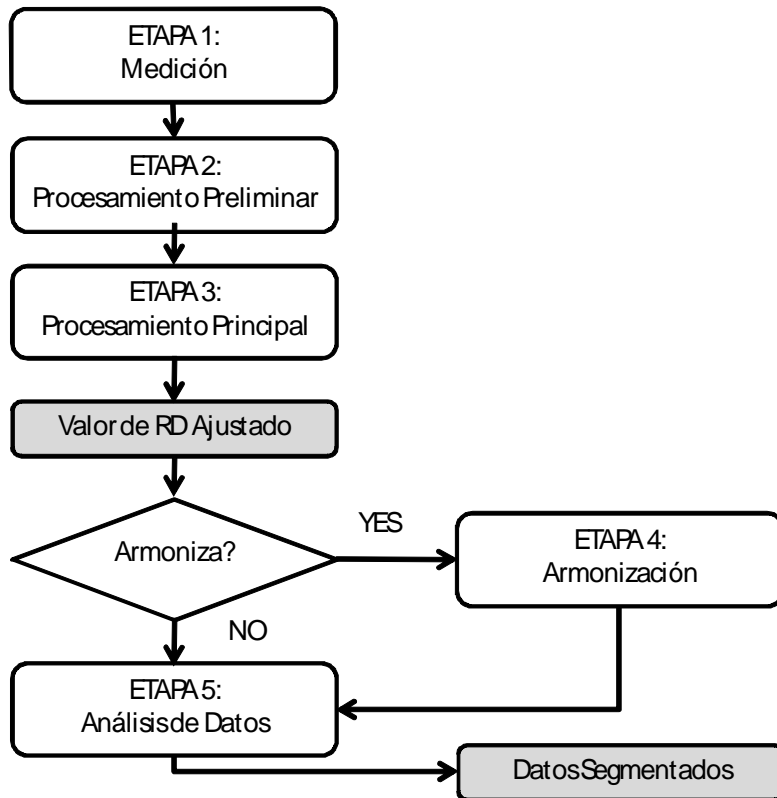
Este experimento se realizó en forma numérica, mediante datos obtenidos de los experimentos anteriores. El objetivo fundamental fue el desarrollar un procedimiento coherente que permitiera definir segmentos de datos homogéneos, teniendo en cuenta que los datos de resistencia al deslizamiento sufren cambios estructurales en la media y en la desviación estándar. Un análisis detallado del método puede verse en De Solminihac et al (2008).

EL SISTEMA DE MEDICION PROPUESTO

Esquema General

El sistema de medición está compuesto por cinco pasos: registro de datos, procesamiento preliminar, procesamiento principal, armonización y análisis de datos. La forma en que estos pasos se integran se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Esquema General del Sistema de Medición



- Etapa 1: Registro de Datos. Los datos de resistencia al deslizamiento se miden cada 5 m de acuerdo a un procedimiento estandarizado.
- Etapa 2: Los datos de Resistencia al deslizamiento son procesados, eliminándose los datos no válidos.
- Etapa 3: Se aplica el factor de ajuste por temperatura y velocidad, para estandarizar las mediciones de Resistencia al deslizamiento a 20°C.
- Etapa 4: Si el valor de Resistencia al deslizamiento ajustado se realizó con un equipo distinto del equipo de referencia (Por ejemplo SCRIM), se aplica la armonización. El resultado es un valor de resistencia al deslizamiento equivalente a la medición del equipo de referencia.
- Etapa 5: Se aplica la metodología de identificación de datos anómalos y de segmentación de datos. El resultado son valores característicos de Resistencia al deslizamiento por cada segmento obtenido.

Medición de Datos

La medición de datos se realiza de acuerdo a los procedimientos estandarizados por de Solminihac et al (2007 a y b). Los equipos se configuran para registrar datos de resistencia al deslizamiento cada 5 m, datos que constituyen los datos de entrada para la aplicación del resto del método.

Procesamiento Preliminar de Datos

El objetivo de esta etapa es detectar datos no válidos. Estos datos corresponden a muy altos o muy bajos de resistencia al deslizamiento, registrados directamente por el equipo de medición en sectores muy puntuales y de longitud reducida. Generalmente son inducidos por defectos superficiales tales como baches o exudación; por contaminación manifiesta de la superficie con polvo, aceite o caucho de neumático adherido al pavimento; o por elementos físicos, tales como cantoneras metálicas, lomos de burro o bandas alertadoras. En estos casos, en esta etapa se identifican, registran y extraen del registro de mediciones que pasará a la etapa de procesamiento principal. A continuación se informan por separado para aplicar inmediatamente acciones correctivas. Esta etapa es independiente del equipo de medición que se esté utilizando.

Procesamiento Principal de Datos

Factor de Ajuste por Temperatura

El factor de ajuste por temperatura se aplica cuando un grupo de mediciones se realiza a diferentes horas del día, puesto que las diferencias de temperatura de la superficie del pavimento afectan la medición. El objetivo de este factor es llevar las mediciones realizadas a cualquier temperatura a una temperatura ambiental de referencia de 20°C. La ecuación 1 muestra la expresión de factores de ajuste por temperatura para el equipo Grip Tester, y la ecuación 2 para SCRIM. En ambas ecuaciones T_a corresponde a la temperatura ambiental (Echaveguren, 2008).

$$F_{T,GRIPTESTER}(20) = \begin{cases} 0.10 - 0.005(T_a) & ; \quad 10^{\circ}\text{C} < T_a < 20^{\circ}\text{C} \\ 0.06 - 0.003(T_a) & ; \quad 20^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 30^{\circ}\text{C} \\ 0.04 - 0.002(T_a) & ; \quad 30^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 35^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (1)$$

$$F_{T,SCRIM}(20) = \begin{cases} +0.01 & ; 10^{\circ}\text{C} < T_a < 20^{\circ}\text{C} \\ 0.08 - 0.004(T_a) & ; 20^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 30^{\circ}\text{C} \\ 0.02 - 0.002(T_a) & ; 30^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 35^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

Este factor de ajuste se aplica principalmente en época de verano, debido a que en el resto del año la oscilación térmica no afecta en términos estadísticamente significativos las mediciones de resistencia al deslizamiento. Sobre 35 °C no es recomendable realizar mediciones. Bajo 10 °C no es necesario aplicar correcciones por temperatura.

Factor de Ajuste por Velocidad

El propósito de este factor de ajuste es tener en cuenta las condiciones de medición en terreno. Si bien la mayoría de los ensayos recomiendan a medir resistencia al deslizamiento a 50 km/h, en ciertos casos las condiciones de tráfico o geométricas obligan a utilizar velocidades de medición distintas para no generar problemas de seguridad. Este factor permite normalizar las mediciones de resistencia al deslizamiento, para llevarla a un valor estandarizado a 50 km/h. Para ello, considera una función de velocidad como la que se muestra en las ecuaciones 3 y 4 para el caso de Grip Tester (De Solminihac, 2007a) y 5 para el Equipo SCRIM (Echaveguren, 2008). El criterio de aplicación asume que cuando se realizan mediciones fuera del intervalo de 50 ± 4 Km./h es necesario aplicar dichas ecuaciones de normalización.

$$F_S(50) = 0.08 - 0.0015(S_e) \quad ; \quad \text{Macro Textura} > 1 \text{ mm} \quad (3)$$

$$F_S(50) = 0.30 - 0.0060(S_e) \quad ; \quad \text{Macro Textura} < 1 \text{ mm} \quad (4)$$

$$F_S(50) = 0.0075(S_e) - 0.375 \quad (5)$$

Cálculo de Valor de Resistencia al Deslizamiento Ajustado

El valor de resistencia al deslizamiento ajustado (RDA) se calcula, para cualquier equipo mediante la ecuación 6.

$$\text{RDA}(50,20) = \text{RD} + F_S(50) + F_T(20) \quad (6)$$

Armonización de Equipos

La armonización se realiza únicamente cuando se toman y procesan datos con equipos diferentes del equipo de referencia. Al aplicar la armonización, se obtiene un valor

equivalente al del equipo de referencia. Si éste es SCRIM se obtiene el valor SFC equivalente (SFC_e).

Las ecuaciones de armonización 7 y 8 están basadas en los estudios de cálculo de IFI y EFI, adaptadas para el cálculo de valores armonizados. Ejemplos de aplicación con otros equipos pueden verse en Bustos et al (2006).

$$SFC_e = C(S_{e_2}, Sp_2, V) \{ A_1 + B_1 [(GNP) D(S_{e_1}, Sp_1, V)] \} \quad (7)$$

$$C(S_{e_2}, Sp_2, V) = e^{\frac{V-S_{e_2}}{Sp_2}} ; D(S_{e_1}, Sp_1, V) = e^{\frac{S_{e_1}-V}{Sp_1}} \quad (8)$$

Donde, Sp_1 y Sp_2 son las constantes de velocidad; V es la velocidad de referencia; Se_1 y Se_2 son las velocidades de medición con Grip Tester y SCRIM respectivamente; A_1 y B_1 son constantes de calibración.

Las ecuaciones consideran el efecto de la macro textura a través de las constantes Sp_1 and Sp_2 . V es la velocidad de referencia utilizada para calibrar. El experimento del IFI utilizó un valor de 60 km/h y el experimento del EFI un valor de 30 km/h. En cualquier caso, para calibrar las ecuaciones es recomendable utilizar el valor de V que minimice el error de calibración.

Análisis de Datos

El objetivo del análisis de datos es contar con un perfil de Resistencia al deslizamiento que pueda ser fácilmente comparado con valores umbrales. El método desarrollado consta de 4 pasos: a) detección de datos anómalos (outliers), b) segmentación preliminar, c) detección de puntos de cambio y d), cálculo de valores característicos por segmento.

Detección de datos anómalos

Los datos anómalos (outliers) se definen como valores de resistencia al deslizamiento que se alejan sustantivamente de los valores tendenciales. Existen diversos métodos para detectarlos. En este trabajo, se propone usar el Test de Apalancamiento (Leverage Test). El método mide la distancia entre los valores observados comparados con la media. La

distancia se calcula a partir de la diagonal de la matriz “hat” de una regresión lineal simple multivariada, mediante la ecuación 9.

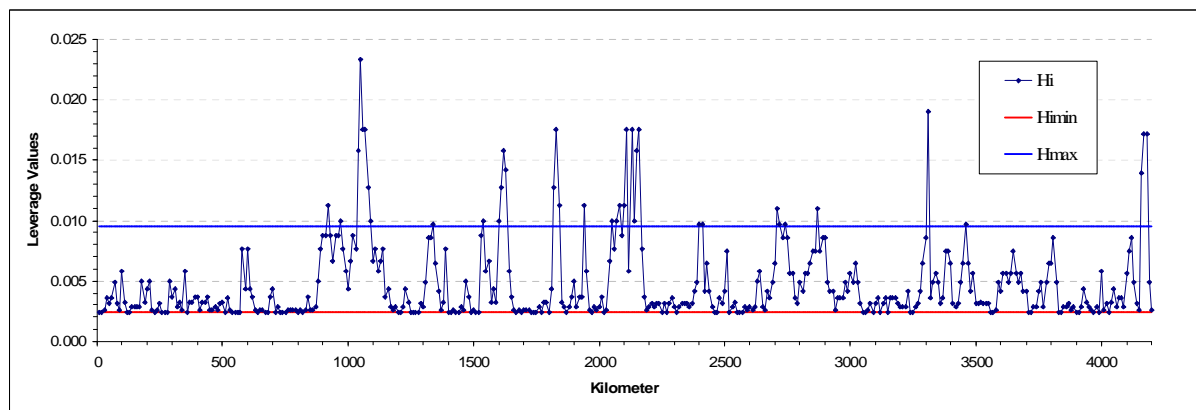
$$h_i = \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)S_x^2} \quad (9)$$

En donde n es el número total de datos contenidos en el i-esimo conjunto de datos, \bar{x} es la media de la muestra y S_x^2 es la desviación estándar. El valor límite de h_i se calcula con la ecuación 10.

$$h_i \leq \frac{6}{n} \quad (10)$$

Un ejemplo de la aplicación de este método se muestra en la Figura 2. En ella se grafican los valores normalizados de los datos y el valor límite de h_i descrito por la ecuación 10. Los valores que están por sobre dicha línea se consideran datos anómalos.

Figura 2: Ejemplo de Método de Apalancamiento para detección de datos anómalos.



Un aspecto importante de tener en cuenta es que cuando existe un grupo de datos contiguos superior a 5 o 10 datos, dichos datos ya no se consideran como datos anómalos sino que más bien como un cambio estructural en la media o en la varianza.

Segmentación Preliminar

Los umbrales de resistencia al deslizamiento habitualmente se asocian a categorías de sitios con maniobras de conducción típica (rectas, curvas, áreas de detención obligada tales como peajes, cruces peatonales, intersecciones semaforizadas entre otros). Cada sitio

posee una longitud específica sobre se asumen maniobras homogéneas. Entonces para lograr consistencia en la comparación de umbrales con datos procesados, la primera segmentación corresponde a la longitud característica de cada sitio. Luego, dentro de cada sitio se, realiza una segunda segmentación mediante los métodos que se describen en las secciones siguientes.

Detección de Puntos de Cambio

La detección de puntos de cambio permite identificar el kilometraje en que se producen cambios estructurales en la media o en la varianza. El método se basa en la familia de métodos de suma acumulada. Estos métodos buscan los puntos en los que la función de decisión $g(i)$ es máxima, de acuerdo a la ecuación 11.

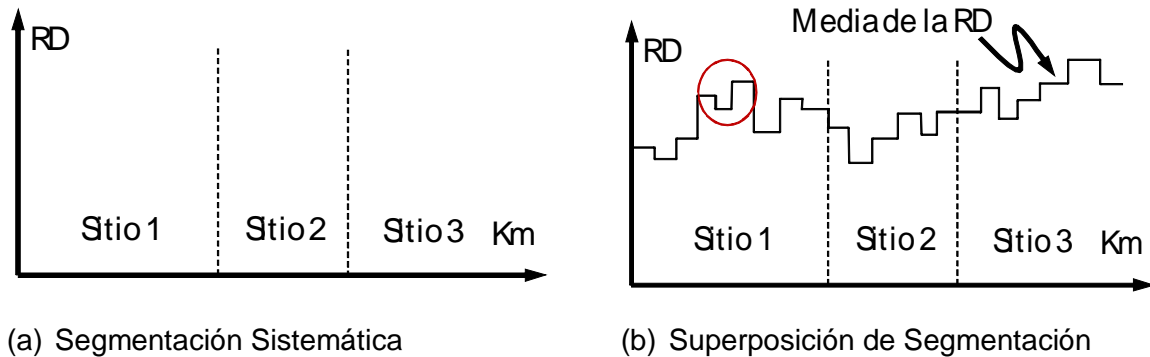
$$g(i) = \frac{n}{i(n-i)} \left[\sum_{j=1}^i (x_j - \bar{x}) \right]^2 \quad ; \quad g_k = \max_{1 \leq i \leq k} S(i) \quad (10)$$

En dicha ecuación, n es el total de datos contenidos en la sección de estudio x_j es el valor individual de la resistencia al deslizamiento en el punto j , y \bar{x} es la media de la medición en la sección analizada. El punto en donde la función $g(i)$ es máxima es el punto en donde se produce el cambio estructural en la media. En ese punto el segmento se divide en dos y se repite el proceso para cada segmento individual, hasta que la función $g(i)$ no evidencie máximos. Posteriormente, para agregar segmentos contiguos que posean valores similares se aplica el test t de igualdad de medias, con lo cual es posible obtener un menor número de segmentos.

El resultado de esta etapa es una serie de segmentos con diferentes longitudes, en que segmentos contiguos poseen valores medios de resistencia al deslizamiento estadísticamente distintos.

La figura 3 ilustra el proceso de segmentación preliminar y el de superposición de segmentación sistemática, basada en la detección de puntos de cambio. La figura 3a muestra la segmentación preliminar en donde se utilizan las longitudes de las categorías de sitio. La figura 3b muestra la segmentación realizada mediante la ecuación 10, superpuesta a la segmentación sistemática.

Figura 3: Segmentación Preliminar y Segmentación Sistemática



Estimación de media y desviación estándar por segmento

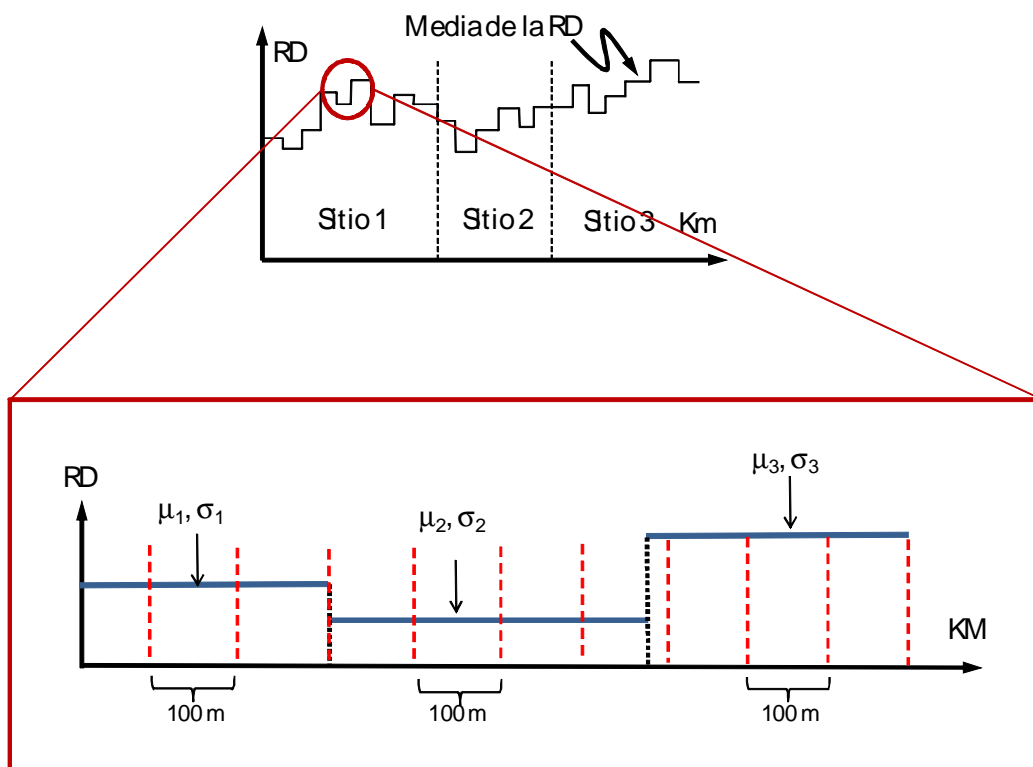
Una vez que se han identificado los datos anómalos y se han definido segmentos con sus valores característicos, se superpone a esta segmentación una segmentación sistemática cada 100 m, para conformar las unidades de comparación de umbrales de resistencia al deslizamiento con valores medidos. En estos segmentos se calcula la media y la desviación estándar considerando los siguientes posibles casos dentro de cada segmento:

1. Caso 1: No existen cambios estructurales al interior del segmento. En este caso la media y desviación estándar se calcula directamente con los datos del segmento de 100 m.
2. Caso 2 Existen cambios estructurales al interior del segmento. En este caso, el cálculo las medias y desviación estándar se calculan por separado según:
 - Si el cambio estructural está en el tercio central, se calcula por separado
 - Si el cambio estructural está en el tercio inicial o final, entonces la media y desviación estándar del tercio central es representativa del segmento.

Con esto, se obtiene un conjunto de datos depurados y segmentados mediante un proceso sistemático que permite realizar un análisis fiable de comparación de estos valores con los umbrales de resistencia al deslizamiento que la normativa de cada país defina.

La figura 4 ilustra el resultado de la aplicación de este paso. En un segmento unitario de la figura 3b, se calculan los valores característicos de la resistencia al deslizamiento: media y desviación estándar en una longitud de 100 m.

Figura 4: cálculo de valores característicos de resistencia al deslizamiento en segmentos estandarizados de 100 m.



CONCLUSIONES

Este trabajo presentó un procedimiento general para medir, procesar, armonizar y analizar datos de resistencia al deslizamiento. Si bien el método se aplicó al caso específico de los equipos Grip Tester y SCRIM, es extensible a cualquier tipo de equipos de medición continua, aplicando las calibraciones locales correspondientes.

El método permite realizar un análisis sistemático, que puede ser fácilmente implementado en una plataforma computacional. Proporciona una sucesión de pasos ordenada que parte con la toma de datos y culmina con los datos procesados y limpios para ser utilizados en controles de calidad de pavimentos.

Los valores de resistencia al deslizamiento medidos se ven fuertemente afectados por la temperatura del pavimento en estaciones del año calurosas, por lo cual es necesario estandarizar las mediciones a una temperatura de referencia. Para ello este sistema de medición propone ecuaciones calibradas en el valle central de Chile, en donde las condiciones térmicas y de humedad son tales que pueden alterar profundamente mediciones realizadas durante la mañana en comparación con mediciones realizadas durante la tarde. En este sentido, los factores de ajuste propuestos logran dicha estandarización.

La resistencia al deslizamiento medida también se ven afectadas por la velocidad de medición del equipo y esta, a su vez, se ve afectada por las condiciones de tráfico en los sitios de medición. En este sentido, el factor de ajuste propuesto, permite independizarse de ensayos realizados a velocidades estandarizadas en sitios donde existe un compromiso de la seguridad.

Cuando los umbrales de resistencia al deslizamiento están referidos a un equipo distinto del usado en las mediciones, es necesario armonizar. Esto ocurre en el caso de Chile, en donde los umbrales están referidos al equipo SCRIM y varias agencias locales utilizan el equipo Grip Tester para realizar mediciones.

En estos casos, es necesario traducir el valor de resistencia al deslizamiento medida con Grip Tester a un valor equivalente al medido con SCRIM. Para ello en este trabajo se propone un método sencillo basado en experimentos probados a nivel mundial que permite ejecutar dicha tarea, método que además es generalizable a cualquier equipo de medición continua.

Las mediciones de Resistencia al deslizamiento poseen una alta variabilidad. Por lo tanto, un paso esencial para su análisis e interpretación es el análisis estadístico. Para ello, en este trabajo se propuso un método que permite identificar datos anómalos y construir segmentos homogéneos de datos sobre los cuales es posible condensar la variabilidad considerando anomalías que magnifican la variabilidad. El método propuesto posee además una fundamentación matemática adecuada que permite programa tarea de cálculo en computadores para facilitar el análisis.

REFERENCIAS

ASTM (1998) Standard Practice for Calculating International Friction Index of Pavement Surface. ASTM E 1960 – 98.

ASTM (2004) Standard Practice for Calculating the International Runway Friction Index, ASTM E2100-04.

Bustos M, Echaveguren, T and De Solminihaç, H (2006). Development of correlation equations between different measurements of skid resistance in pavements. Indian Journal of Engineering & Material Sciences 13: 117 – 122

De Solminihaç, H. Echaveguren, T. Chamorro, A. Vargas, S. y Bustos, M. (2007a) Procedimiento de Medición y Procesamiento de Datos de Resistencia al Deslizamiento Medidos con Equipo Grip Tester. Documento Técnico TM-014-06-1. FONDEF D031 – 1042. Pontificia Universidad Católica de Chile.

De Solminihaç, H. Echaveguren, T. Chamorro, A. Vargas, S. y Bustos, M. (2007b). Procedimiento de Medición y Procesamiento de Datos de Resistencia al Deslizamiento Medidos con Equipo SCRIM. Documento Técnico. TM-014-06-2. FONDEF D031 – 1042. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Echaveguren, T (2008). Modelación de la Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos. Tesis de Doctorado. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Descornet, G. (1998) Proposal for a European Standard in Relation with the Skid Resistance of Road Surfacing. Final Report, Program of scientific support to standardization, part III. Belgian Road Research Centre. Brussels, Belgium.

Gothié, M. (2004) Harmonisation of European Routine and Research Measurement Equipment for Skid Resistance of Roads and Runways. The HERMES Project". SURF 2004. 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics. Toronto, Canada, June 6th - 10th.

Vargas – Tejada, S. De Solminihac, H. and Echaveguren, T (2008). Proposal of a Segmentation procedure for skid resistance data. *Arabian Journal of Science and Engineering* 33(1B): 89 – 104.

Wambold, J. Antle, C. Henry J.J., and Rado, Z. (1995). International PIARC experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements. Technical Committee C1. PIARC.