

# *Ecuaciones de correlación de la medida de resistencia al deslizamiento entre GripTester y Péndulo Británico*

## *Correlation equations to skid resistance measurements between GripTester and British Pendulum*

*Hernán de Solminihaç\*, Marcelo Bustos\*\*, Tomas Echaveguren\*, Andrés Caroca\*\*\**

*\* Pontificia Universidad Católica de Chile, CHILE*

*\*\* Universidad Nacional de San Juan, ARGENTINA*

*\*\*\* APSA Limitada, CHILE*

*tbechave@puc.cl*

*Fecha de recepción: 10/ 06/ 2004*

*Fecha de aceptación: 27/ 07/ 2004*

### *Resumen*

*La resistencia al deslizamiento es una medida de la oferta de fricción de un pavimento. Existe una amplia variedad de equipos que permiten obtener dicha medida, que no son comparables entre sí directamente. La necesidad de obtener una medida única, dio origen a dos métodos de homologación. Uno correspondiente a la correlación directa entre equipos, y otro destinado a construir un índice independiente del equipo de medición. Este último procedimiento ha sido desarrollado por la Asociación Mundial de Carreteras. En Chile se han realizado aplicaciones de los dos métodos. En este artículo se presenta un tercer método de homologación con base en las ecuaciones de estimación del IFI. Se construyeron ecuaciones de correlación entre medidas de resistencia al deslizamiento obtenidas con diferentes equipos. Estas ecuaciones permiten obtener el valor de resistencia al deslizamiento equivalente al que se obtendría con un equipo, a partir de medidas realizadas con otro equipo para diversos valores de textura. El método se aplicó para obtener ecuaciones de armonización entre el Péndulo Británico y GripTester. Los resultados obtenidos muestran una buena correlación entre ambos equipos y una incidencia estadísticamente significativa de la textura en la estimación de la resistencia al deslizamiento.*

*Palabras clave: Resistencia al deslizamiento, textura, Péndulo Británico, GripTester, correlación*

### *Abstract*

*Skid resistance is a measurement of the friction offered by a pavement. There exist many types of equipment (tribometers) to measure skid resistance, but the measures obtained with two different equipment can not be directly compared. To solve that, two methods to harmonize measures are commonly used. One method uses correlation equations between tribometers, and the other method permits to obtain a friction index (IFI, International Friction Index) that is independent of the equipment used. This last method was defined in the widely known experiment developed by the World Road Association (PIARC). In Chile, both methods were used. In this paper a third method has been derived from the IFI relationships. It developed correlation equations between skid resistance registered with different equipment. Using such equations, equivalent skid resistance values that correspond to one type of tribometer can be obtained from skid resistance measures performed with another tribometer to different texture values. This method was applied to obtain harmonization equations between GripTester and British Pendulum. The results show a good correlation between both equipments, and a statistically significant incidence of the texture in the predicted equivalent skid resistance value.*

*Keywords: Skid resistance, texture, British Pendulum, GripTester, correlation*

## *1. Introducción*

*La resistencia al deslizamiento de la superficie de un pavimento, es una propiedad funcional que describe la interacción entre dos cuerpos en movimiento relativo. Esta interacción puede verse afectada por el clima, las características de las superficies de contacto y la eventual presencia de un fluido que actúe como lubricante (Andresen y Wambold, 1999). Para medir el valor de la resistencia al deslizamiento, en diversos países del mundo*

*se han construido equipos que intentan replicar a escala reducida el resultado de la interacción entre el neumático de un vehículo y la superficie de un pavimento. Si bien el principio de medición es básicamente el mismo, la necesidad de replicar dichas interacciones en función de las maniobras que los conductores ejecutan llevó a que diversas agencias viales del mundo construyeran equipos propios, que hoy en día alcanzan 25 clases y*

más del doble de subclases (Gramling, 1994; Wambold et al., 1995).

Con diferentes equipos se obtienen mediciones de resistencia al deslizamiento que no son directamente comparables entre sí. De ese hecho surgió el interés, principalmente en Europa, de desarrollar un mecanismo de armonización de las medidas obtenidas con diferentes equipos. Este fue el principal objetivo del experimento internacional de armonización dirigido por la PIARC, en el cual se desarrolló el Índice de Fricción Internacional (IFI). Este índice, describe la evolución de la fricción a partir de medidas de resistencia al deslizamiento y textura a diferentes velocidades. Su valor es independiente del equipo de medición (Wambold et al., 1995).

En diversos países de Latinoamérica se han realizado experimentos destinados a la armonización de medidas de fricción siguiendo el procedimiento de la PIARC. Cítese por ejemplo Argentina (Giovanon y Pagola, 2003) y México (López y Garnica, 2002). En Chile, Valenzuela (2003) realizó una validación preliminar del IFI. Los equipos involucrados en tales estudios fueron Péndulo Británico (British Pendulum), SCRIM (Sideforce Coefficient Investigation Machine), GripTester y Mu Meter. Su objetivo fue el determinar constantes de calibración de equipos para la determinación del IFI.

En otros países se han propuesto ecuaciones de correlación que permiten obtener medidas equivalentes entre diferentes equipos, por ejemplo entre Péndulo Británico y SCRIM, o entre SCRIM y GripTester. En Nueva Zelanda se han obtenido ecuaciones de correlación entre SCRIM y Griptester (TRANSIT, 2001). En Chile se han obtenido ecuaciones de correlación entre Péndulo Británico y SCRIM (Roco et al., 2000), y entre GripTester y SCRIM (Valenzuela, 2003). En los trabajos antes mencionados, las ecuaciones de correlación no incluyen el efecto de la textura. Por este motivo, se desconoce el intervalo de validez respecto de la textura y por tanto su aplicación puede llevar a valores erróneos. Como lo mostró el experimento de la PIARC, la textura es una variable que determina el valor del IFI y por consiguiente, está presente como variable explicativa en el proceso de homologación.

En este artículo se presenta un procedimiento alternativo para obtener ecuaciones de correlación entre equipos de medición de resistencia al deslizamiento. El método toma como fundamento el procedimiento de obtención del IFI desarrollado por la PIARC, para diseñar una especificación funcional que permite correlacionar cualquier par de equipos (L, K).

La formulación teórica del modelo consta de dos etapas. En una primera etapa, a partir del procedimiento de obtención de IFI de la PIARC, se realizó la deducción de una forma funcional destinada a simular datos. En una segunda etapa, empleando datos simulados, se determina la especificación funcional de mejor significancia estadística.

## 2. El modelo de obtención del IFI

El Índice de Fricción Internacional describe el valor de la fricción que se obtiene en un pavimento que posee una textura determinada, a partir de la medición de resistencia al deslizamiento realizada con un determinado equipo. El valor de fricción que se obtiene mediante tal índice, es independiente del equipo de medición y permite obtener valores de fricción para cualquier valor de velocidad de circulación. Dicho índice se obtuvo a partir de un experimento internacional desarrollado por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC) entre los años 1992 y 1994. (Wambold et al., 1995).

El experimento de la PIARC postuló la existencia de una curva "real" (denominada "Golden Curve") de variación de la resistencia al deslizamiento en función de la velocidad de deslizamiento "S" para cada superficie de pavimento. Esta curva describe la verdadera relación entre resistencia al deslizamiento, textura y velocidad de deslizamiento siguiendo una ley de decaimiento exponencial respecto de la velocidad de circulación (Andresen y Wambold, 1999):

$$F(S) = GF60e^{(60-S)/GS} \quad (1)$$

El objetivo del experimento de la PIARC fue desarrollar para cada equipo, curvas que se aproximasen lo más posible a las "Golden Curves" dadas por las constantes GF60 y GS de cada sección evaluada, mediante procedimientos de calibración desarrollados sobre mediciones realizadas bajo estrictas condiciones de control. La metodología establecida por la PIARC ha sido reseñada en diversos artículos de divulgación (Achútegui et al., 1996; de Solminihac, 2001). La expresión que permite calcular el valor de la constante de referencia de fricción ( $FR60_L$ ) para un equipo "L" cualquiera es la siguiente:

$$FR60_L = FRS_L e^{[(Se - 60)/Sp]} \quad (2)$$



Donde " $FRS_L$ " es el valor de la resistencia al deslizamiento medido con un equipo "L" a una velocidad "Se", en terreno. El valor de la constante de velocidad asociada a la macrotextura ( $Sp$ ), se calcula mediante la Ecuación 3, para un equipo determinado "M":

$$Sp_M = a_M + b_M Tx_M \quad (3)$$

En donde, " $Tx$ " corresponde al valor medido de la macrotextura, en milímetros. Los coeficientes " $a_M$ " y " $b_M$ " son valores que dependen del método utilizado para medir la macrotextura. Posteriormente, el valor de resistencia al deslizamiento a 60 Km./h,  $F60_L$ , se calcula mediante la Ecuación 4.

$$F60_L = A_L + B_L FR60_L \quad (4)$$

Siendo " $A_L$ " y " $B_L$ " los coeficientes de correlación obtenidos en el experimento PIARC. El valor de  $F60_L$  corresponde a la resistencia al deslizamiento homologada a la curva de referencia (Golden Curve). Esta ecuación permite armonizar un equipo cualquiera con el equipo de referencia empleado para construir la "Golden Curve". En la Figura 1 se muestra gráficamente la relación entre las ecuaciones (3) y (4) y la curva de referencia.

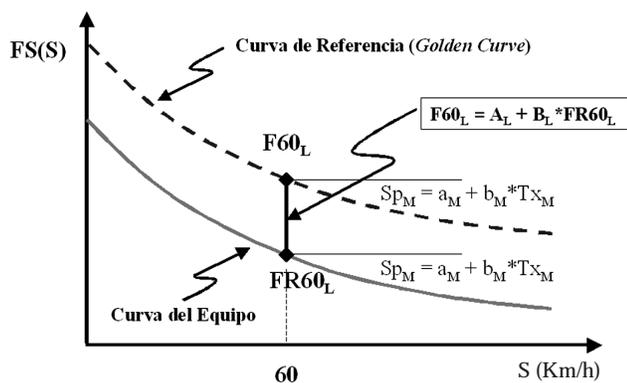


Figura 1. Constantes de calibración para obtención de IFI para una velocidad de referencia de 60 Km/h (Adaptado de Wambold et al., 1995).

La expresión de fricción normalizada en función de la velocidad "S", queda determinada entonces por la expresión:

$$FS(S) = F60_L e^{[(60 - S)/Sp]} \quad (5)$$

La Ecuación 5, permite estimar el valor armonizado de la fricción  $FS(S)$  para cualquier velocidad de deslizamiento

"S", en función de los correspondientes valores de " $F60_L$ " y " $Sp$ ".

### 3. El modelo de homologación

Teóricamente, si para un valor de textura medido con un cierto equipo se calculan curvas de fricción armonizadas a partir de diversos equipos, el resultado debiera ser el mismo: una única curva de fricción  $FS(S)$  como la indicada en Ecuación 5.

Sin embargo, producto del error estadístico presente en la estimación de los coeficientes "A" y "B" de la Ecuación 4, existe un error de arrastre que afecta el valor obtenido a partir de la homologación. Esto se traduce en que las ecuaciones armonizadas mediante la Ecuación 5 con diversos equipos no sean las mismas. La diferencia entre ambas curvas puede establecerse de la siguiente manera:

$$FS(S)_L = FS(S)_K + \varepsilon \quad (6)$$

Donde  $\varepsilon$  es un término de diferencia de armonización, que puede calcularse dentro del marco teórico del procedimiento PIARC para cada valor de velocidad, fricción y textura. Para su estimación, es necesario identificar la forma funcional del error y verificar si existe correlación serial u homoscedasticidad (Kennedy y Neville, 1982).

Considerando que los estimadores GF60 y GS de la curva de referencia son únicos, es posible asumir que las curvas armonizadas coinciden. De este modo el valor de  $\varepsilon$  se iguala a cero y es posible escribir la siguiente igualdad al reemplazar la Ecuación 5 en ambos lados de la Ecuación 6:

$$F60_L e^{[(60 - S)/Sp]} = F60_K e^{[(60 - S)/Sp]} \quad (7)$$

Dividiendo ambos miembros de la Ecuación 7 por el término  $e^{[(60 - S)/Sp]}$  queda la siguiente igualdad:

$$F60_L = F60_K \quad (8)$$

Reemplazando la Ecuación 4 en la Ecuación 8 y considerando los correspondientes valores de la velocidad de medición (Se) para cada equipo, se obtienen las siguientes expresiones:

$$F60_K = A_K + B_K FRS_K e^{[(S_K - 60)/Sp]} \quad (9)$$

$$F60_L = A_L + B_L FRS_L e^{[(Sel - 60)/Sp]} \quad (10)$$

Reemplazando las Ecuaciones 9 y 10 en la Ecuación 8, queda:

$$A_K + B_K FRS_K e^{[(Sek - 60)/Sp]} = A_L + B_L FRS_L e^{[(Sel - 60)/Sp]} \quad (11)$$

Despejando el valor de  $FRS_L$  en la Ecuación 11, se llega finalmente a la Ecuación 12, que permite estimar el valor de resistencia al deslizamiento equivalente a la que se obtendría con el equipo "L", a partir de una medición de fricción realizada con un equipo "K".

$$FRS_L = [A_K + B_K FRS_K e^{[(Sek - 60)/Sp]} - A_L] / [B_L e^{[(Sel - 60)/Sp]}] \quad (12)$$

Mediante el modelo descrito por la Ecuación 12, se generan datos de resistencia al deslizamiento medidos con el equipo "K" y de textura medidos con un equipo "M", con lo cual se obtienen valores de resistencia al deslizamiento "L" equivalentes.

El sentido físico de la Ecuación 12 puede ser explicado de mejor manera si se especifica una forma funcional que describa las interacciones entre variables. Una especificación que admite lo anterior es la Ecuación 13.

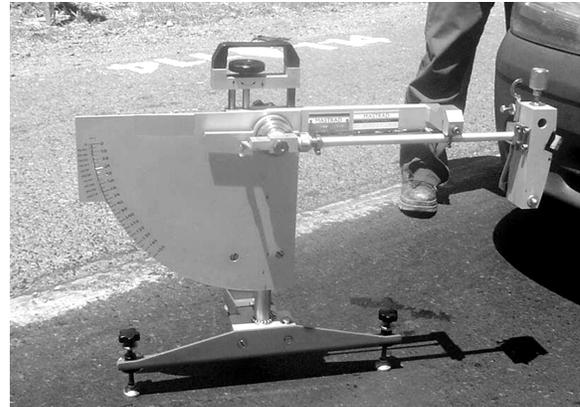
$$FRS_L = \alpha FRS_K + \beta (Tx_M)^{\xi} + \omega FRS_K Tx_M \quad (13)$$

Dicho modelo expresa que el valor equivalente de resistencia al deslizamiento ( $FRS_L$ ) está determinado por el efecto de la medición de resistencia al deslizamiento realizada con el equipo "K" ( $FRS_K$ ) en forma lineal. Asimismo, está determinado en forma no lineal por el valor de textura ( $Tx_M$ ) medida con un equipo "M". Existe un efecto adicional, que es la relación combinada entre los valores de resistencia al deslizamiento y textura medidos ( $FRS_K$  y  $Tx_M$ ) que puede representarse mediante el producto de ambas variables.

#### 4. Aplicación un caso: Correlación entre péndulo británico y griptester

Con el fin de aplicar el método a un caso, se realizó una aplicación destinada a estimar una medida equivalente a la obtenida por el GripTester a partir de

mediciones realizadas con Péndulo Británico. El GripTester es un equipo de alto rendimiento, que permite obtener mediciones de resistencia al deslizamiento a velocidades que varían entre 30 y 90 Km/h. El Péndulo Británico, es un equipo estático, que permite medir resistencia al deslizamiento a una velocidad equivalente de 10 Km/h aplicando el principio de equilibrio energético. En la Figura 2 se muestran ambos equipos.



(a) Péndulo Británico



(b) GripTester

Figura 2. Equipos de medición empleados en la aplicación del método (Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad - Chile; MASTRAD Inc.)

Para realizar la aplicación, se generaron datos de resistencia al deslizamiento medidos con Péndulo Británico (equipo "K") y de textura medida con el equipo de Círculo de Arena y con Perfilómetro. Aplicando las constantes de los equipos descritas en las Tablas 1 y 2, e ingresando los datos en la Ecuación 12 se obtuvieron valores GripTester Equivalentes (GNE, correspondiente al equipo "L") los cuales fueron posteriormente ingresadas en la Ecuación 13.

Tabla 1. Equipos de medición de textura considerados en el análisis y sus parámetros asociados (Wambold et al., 1995).

Equipo	Código PIARC	Constantes de Equipos	
		A	B
Círculo de Arena	A8	- 11.59810	113.63246
Perfilómetro	D5	25.83220	139.6801

Tabla 2. Equipos de medición de resistencia al deslizamiento considerados en el análisis y sus parámetros asociados (Wambold et al., 1995).

Equipo	Código PIARC	Constantes de Equipos	
		A	B
Péndulo Británico	A14	0.05626	0.00756
Grip Tester	D8	0.08209	0.91040

Para estimar los coeficientes estadísticos de la Ecuación 13, se realizó un análisis de regresión no lineal con ayuda del software *S-Plus™*. Las ecuaciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

Para textura medida con *Círculo de Arena*:

$$\text{GNE} = 0.00867 \text{ BPN} - 0.04348 \text{ Tx}^{-1.29452} - 0.00032 \text{ BPN Tx} \quad (14)$$

(197)      (- 22)      (- 36)      (- 13)

Error Estándar = 0.0066 ; Grados de Libertad = 104

Para textura medida con *Perfilómetro*:

$$\text{GNE} = 0.00845 \text{ BPN} - 0.04614 \text{ Tx}^{-0.49324} - 0.00008 \text{ BPN Tx} \quad (15)$$

(1365)      (- 175)      (- 82)      (- 20)

Error Estándar = 0.0009 ; Grados de Libertad = 104.

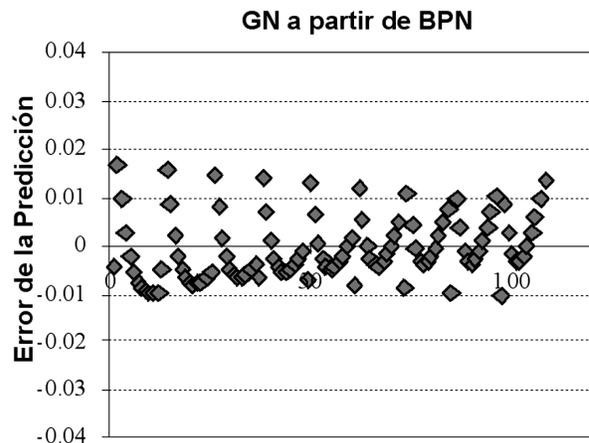
En donde "GNE" es *Grip Number* equivalente; "BPN", es el *Número de Péndulo Británico* y "Tx" corresponde a una medición de profundidad media de textura, en mm. Entre paréntesis y en cursiva, se indica el valor "t" de Student para cada parámetro, que indica la representatividad estadística de cada uno de los coeficientes estimados en la regresión ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\omega$  y  $\xi$ ). Se puede observar que todos los coeficientes poseen un valor "t" elevado, lo que indica que son altamente significativos. Asimismo, el bajo valor del error estándar muestra que globalmente ambas expresiones son

estadísticamente significativas.

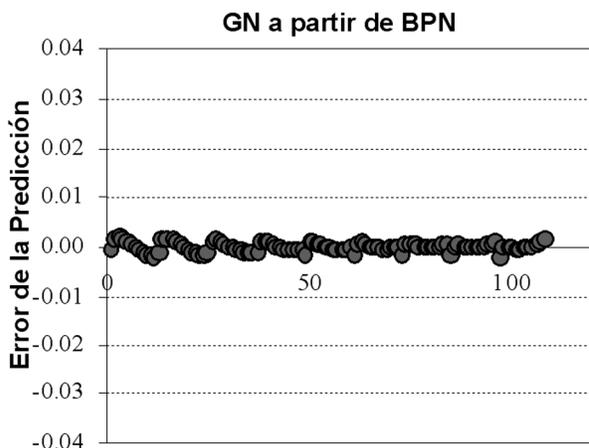
A partir de los resultados obtenidos, es posible realizar una serie de análisis que permiten explicar el comportamiento de las expresiones 14 y 15. Entre estos destaca el efecto que tiene sobre los resultados el equipo empleado para medir textura y la forma en que la textura afecta la medición. Ambos se analizan a continuación.

#### 4.1. Efecto del Equipo de Medición de Textura

Las ecuaciones 14 y 15 son similares entre sí. Sin embargo existe un efecto no despreciable inducido por el método de medición de textura que se utilice. La expresión donde la textura es medida con *Perfilómetro* tiene menor error estándar, lo que implica un mejor ajuste estadístico, como se muestra en *Figura 3*. En ella se aprecia que el error de la predicción es aproximadamente dos veces superior en el caso de emplear las constantes "a" y "b" asociadas al equipo de *Círculo de Arena* respecto de emplear las que corresponden al *Perfilómetro*.



(a) Textura Medida con Círculo de Arena



(b) Textura Medida con Perfilómetro

Figura 3. Error estándar de la predicción GN

Esto se explica por la variabilidad en los valores de textura que se obtiene al emplear el método del Círculo de Arena. Este efecto de variabilidad está recogido en los parámetros "a" y "b" de correlación entre el valor de la constante "Sp" y de Textura "Tx", descrita en la Ecuación 3 y numéricamente descritos en la Tabla 1. En efecto, la correlación que obtuvo la PIARC con las constantes de la Tabla 1 y la Ecuación 3 fue de mejor calidad al medir textura con el Perfilómetro. Esto se traduce en un mejor resultado de regresión en el caso de usar las constantes de Perfilómetro.

#### 4.2. Efecto de la Textura y de BPN en la estimación de GN Equivalente

El valor de la textura y la medida de resistencia al deslizamiento inducen efectos distintos sobre el valor de GN equivalente. Por un lado, la textura incorpora una componente de no linealidad y por otro el valor de BPN aporta un efecto lineal. Esto puede verse claramente en los gráficos 4a y 4b, en donde se muestran las Ecuación

14 y 15 para valores de textura entre 0.35 y 1.7 mm y de BPN entre 30 y 90.

En la Figura 4a y 4b se aprecia que la textura posee un efecto no lineal sobre la medida de GN equivalente. Este efecto se ve acentuado para texturas bajas y especialmente al emplear el método del Círculo de Arena para medir textura.

Si en las Ecuación 14 y 15 se elimina el efecto de la textura, se llega a la expresión simplificada  $BPN = K_1 GN$ , donde  $K_1 = 115.3$  para la Ecuación 14 y  $K_1 = 118.3$  para la Ecuación 15. Esta simplificación constituye una buena aproximación para texturas comprendidas entre 0.6 y 2 mm si ésta se mide con método de Círculo de Arena, llegándose a diferencias inferiores a 0.1 entre el valor que se obtiene aplicando la Ecuación 14 y la simplificación aquí descrita. Análogamente, en el caso de medir textura con Perfilómetro, ésta simplificación puede emplearse para cualquier valor de textura entre 0.35 y 2 mm.

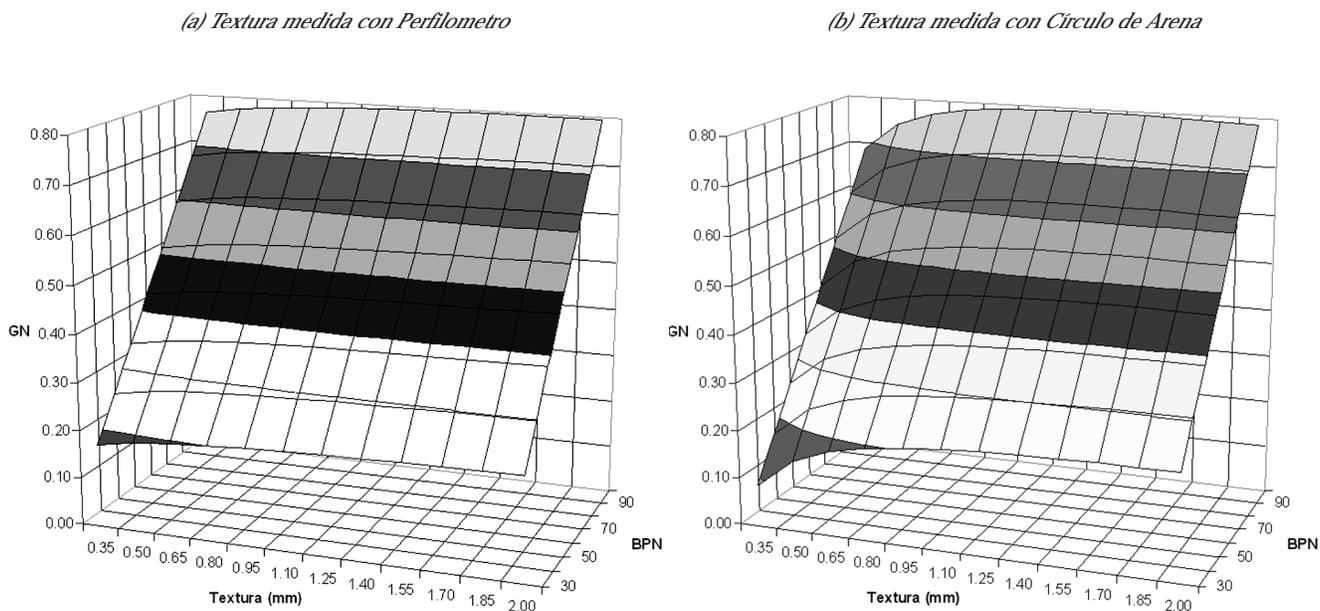


Figura 4. Efecto de la textura en el valor de la resistencia al deslizamiento GN equivalente

## 5. Conclusiones

Se desarrolló un método alternativo a los métodos de homologación basado en ecuaciones de correlación simples y en el Índice de Fricción Internacional. El método permite especificar una expresión de homologación entre dos equipos cualquiera, en donde se incorporan explícitamente medidas de resistencia al deslizamiento y de textura.

El método presentado en este trabajo, tiene su base en el concepto de armonización respecto de una curva de referencia (Golden Curve), desarrollado por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), en el cual se asume la unicidad de la misma.

Si bien el método se aplicó a un par de equipos determinado, éste puede aplicarse a cualquier par de equipos de medición de resistencia al deslizamiento y a cualquier equipo de medición de textura, siempre y cuando se cuente con las constantes de calibración "A" y "B" para equipos de medición de resistencia al deslizamiento; y "a" y "b" para equipos de medición de textura.

Este método se aplica a equipos de medida de fricción que emplean neumático liso. En el caso de considerar equipos que emplean neumático ranurado, es necesario incorporar el efecto de la Textura mediante el término "C Tx" al estimar el valor de F60 en las Ecuaciones 9 y 10.

Como aplicación del método, se desarrollaron expresiones analíticas para obtener valores equivalentes de "Grip Number", a partir de datos simulados relacionados mediciones de resistencia al deslizamiento realizadas con Péndulo Británico. Adicionalmente, se consideró un intervalo de datos de textura para el caso de mediciones con Perfilómetro y con equipo de Círculo de Arena.

La expresión desarrollada en base a la medición de textura con el equipo de Círculo de Arena, arrojó un error estándar superior al obtenido para la expresión asociada a medición de textura con Perfilómetro. Asimismo, se verificó que en el primer caso, existe una importante distorsión del modelo para valores de textura inferiores a 0.7 mm. Esto se puede deber a que el equipo del Círculo de Arena pierde precisión en presencia de texturas bajas respecto del Perfilómetro.

En base al análisis de las expresiones de correlación resultantes, se determinó que para valores de textura sobre 0.6 mm es posible aplicar una simplificación a las ecuaciones obtenidas. Con ello la expresión 14 y 15 se traducen en una ecuación lineal simple, en la cual el valor de GN equivalente es el resultado de dividir el valor de BPN por una constante.

Dicha constante vale 115.3 para el caso de medir textura con el método del Círculo de Arena; y 118.3 para el caso de medir textura con Perfilómetro.

## 6. Agradecimientos

Los autores desea agradecer a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, CONICYT, por el apoyo brindado a través del financiamiento del proyecto FONDECYT 1040335, dentro del cual se enmarca el presente artículo. Asimismo, se desea reconocer el apoyo brindado por el proyecto MECESUP PUC 9903 para la realización de este trabajo.

## 7. Referencias

- Achutegui F., Crespo R., Sánchez B., y Sánchez I. (1996), "El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones". Rutas N° 53. 41 – 46.
- Andresen A. y Wambold J.C. (1999), "Friction Fundamentals, Concepts and Methodology". Transport Canada Communication No TP 13837E. Montreal, Canada.
- de Solminihac H. (2001), "Índice de Fricción Internacional". Revista BIT No 22. 28 – 31.
- Giovanon O. y Pagola M. (2003), "Skid resistance measurements expressed in IFI, application on devices in use in Argentine". 3rd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, 7 – 17 July, Portugal.
- Gramling W. (1994), "Current Practices In Determining Pavement Condition". NCHRP Synthesis 203. Transportation Research Board. Estados Unidos.
- Kennedy J. y Neville A. (1982), "Estadísticas para Ciencias e Ingeniería". 2a Edición en Español. Harla: México, D.F.
- López D. y Garnica P. (2002), "Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México". Publicación Técnica No 170. Instituto Mexicano del Transporte. México.
- Roco V., Fuentes C, y. Valverde, S. (2002), "Evaluación de la Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos Chilenos". 6º Congreso Internacional PROVIAL. 353 – 361. Universidad de Concepción – Dirección de Vialidad 8ava Región. 5 a 8 de Noviembre del 2002, Chillán. Chile.
- TRANSIT N.Z. (2001), "Notes to The Specification for

*Skid Resistance Deficiency Investigation and Treatment Selection". TNZ SP/NT 10. Nueva Zelanda.*

*Valenzuela H. (2003), "Validación del Índice de Fricción Internacional de Pavimentos en Chile". Trabajo de Titulación. Escuela de Ingeniería Civil en Obras Cíviles. Universidad Central de Chile. Chile.*

*Wambold J., Antle C., Henry J. J., y Rado, Z. (1995), "Experimento Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento". Comité Técnico C1.*

