

# **ANTECEDENTES PARA LA INSPECCION Y DISEÑO DE ESPECIFICACIONES DE TEXTURA, RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y FRICCION EN PAVIMENTOS**

**HERNÁN DE SOLMINIHAC T., Msc.Ph.D. U. Ingeniero Civil**  
Pontificia Universidad Católica de Chile. [hsolmini@ing.puc.cl](mailto:hsolmini@ing.puc.cl)

**TOMÁS ECHAVEGUREN N., Mg. Ingeniero Civil**  
Universidad de Concepción. [techaveg@udec.cl](mailto:techaveg@udec.cl)

## **RESUMEN**

El otorgar una cierta resistencia al deslizamiento en el tiempo, trae importantes consecuencias desde el punto de vista de la seguridad, dado que existe una relación exponencial entre la ocurrencia de accidentes y valores bajos de resistencia al deslizamiento. La provisión de seguridad, considera la elección de valores de textura fricción de diseño y su control en la etapa de gestión a fin de lograr coherencia entre ambos.

En este artículo se presentan antecedentes teóricos a considerar en la incorporación de indicadores de fricción en la gestión vial. Se analizan los conceptos de textura, resistencia al deslizamiento y fricción, para luego analizar los elementos a considerar en el mantenimiento de las propiedades friccionales, dando énfasis a los procedimientos de control y las tecnologías que se emplean para modificar la textura de los pavimentos.

## **1. INTRODUCCION**

La condición o estado de un pavimento puede medirse en términos de sus propiedades funcionales y estructurales. En el primer caso, lo que se busca es evaluar el microperfil del pavimento mediante indicadores que describan el grado de seguridad y confort que éste ofrece. En el segundo caso, se busca medir el comportamiento estructural del pavimento en un instante de tiempo dado.

Las propiedades funcionales, en tanto no exista un daño estructural, pueden describirse a través del microperfil de un pavimento a lo largo de un eje. Dependiendo de la longitud de onda, estas pueden clasificarse como textura (la menor longitud) y rugosidad (la de mayor longitud). Un pavimento que posea una irregularidad con una longitud de onda determinada inducirá efectos sobre los usuarios que pueden ser favorables o desfavorables en términos de seguridad y confort durante el proceso de conducción.

Así por ejemplo, la modificación paulatina del microperfil con menores longitudes de onda, afecta principalmente la capacidad de drenaje de la superficie del pavimento y la oferta de adherencia, lo que se traduce finalmente en un efecto sobre la resistencia al deslizamiento. Asimismo, puede inducir cambios en el nivel de ruido y aumentar el “efecto spray”. La condición

del microperfil de menor longitud de onda, no es perceptible a simple vista, por lo cual la capacidad de adaptación del conductor ante cambios bruscos en un sentido espacial, es sustancialmente menor, con lo cual la probabilidad de ocurrencia de accidentes aumenta.

Este hecho es el que determina la necesidad de mantener la irregularidad de menor longitud de onda dentro de valores que aseguren una adecuada resistencia al deslizamiento durante el ciclo de vida de un pavimento: Diseño, Construcción y Mantenimiento. Sin embargo, la resistencia al deslizamiento por si sola resulta inadecuada e insuficiente para lograr este propósito. Esto se debe a la naturaleza física del fenómeno. La resistencia al deslizamiento depende no solo de las características del microperfil del pavimento sino que también de las propiedades físicas del cuerpo que rota o desliza a una cierta velocidad por él y a la presencia de un fluido que garantice la interacción entre ambos cuerpos. El peso del vehículo es variable, la velocidad depende de las expectativas del conductor y únicamente el micro perfil del pavimento puede ser controlado en el diseño. Debido a esto, es necesario extender el concepto de resistencia al deslizamiento, para lo cual resulta adecuado el concepto de fricción.

La fricción se emplea como variable en el diseño geométrico. Por lo tanto, la provisión de seguridad comienza con la selección de coeficiente de fricción en el diseño, para posteriormente replicarlo en la fase de construcción a través de la provisión de un microperfil de pavimento adecuado. Puesto que el efecto de las sollicitaciones modifican en el tiempo y el espacio dicha propiedad, es necesario establecer el cómo mantenerla en el tiempo y definir cuáles son los umbrales de aceptabilidad de modo tal que se logre, en combinación con otras características superficiales, un estado deseado del pavimento.

Desde el punto de vista de la gestión de pavimentos, esto se traduce en una meta de gestión que no sólo abarca el pavimento mismo, sino que además la relación existente entre el trazado, la superficie de rodado y el usuario.

Al integrar a las tareas de gestión la seguridad proporcionada por un pavimento, es necesario tener claro conocimiento de las variables que serán monitoreadas; cuáles son sus características, de que modo obtener una medida adecuada de cada variable, que indicador o índice es el mas adecuado, de que forma se realiza el control y que tipo de intervenciones es posible aplicar.

En este artículo se presentan antecedentes teóricos que determinan los aspectos a considerar en la incorporación de indicadores o índices de textura, resistencia al deslizamiento y/o fricción en la gestión vial. Se analizan los conceptos básicos de textura, resistencia al deslizamiento y fricción, para luego analizar los elementos a considerar en el mantenimiento de la propiedades friccionales, dando énfasis a los procedimientos de control y las tecnologías existentes que se emplean para modificar la textura de los pavimentos.

## **2. VARIABLES ASOCIADAS A LA PROVISION DE SEGURIDAD EN PAVIMENTOS.**

El tratamiento de las variables que se relacionan con la seguridad vial en la gestión de pavimentos es complejo, debido a que no solo intervienen las propiedades superficiales del pavimento, sino que además la resultante de la interacción del pavimento con el neumático de los vehículos. Debido a esto, es necesario considerar en su conjunto las tres variables que determinan la oferta de seguridad de un pavimento: Textura, Resistencia al Deslizamiento y Fricción.

### **2.1. La Textura**

La Textura es una propiedad física del pavimento. Se define como “la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera” (Achútegi *et al*, 1996). Se clasifica según la PIARC (1995) en Megatextura, Macrotextura y Microtextura de acuerdo a su longitud de onda y frecuencia espacial (ver Figura 1).

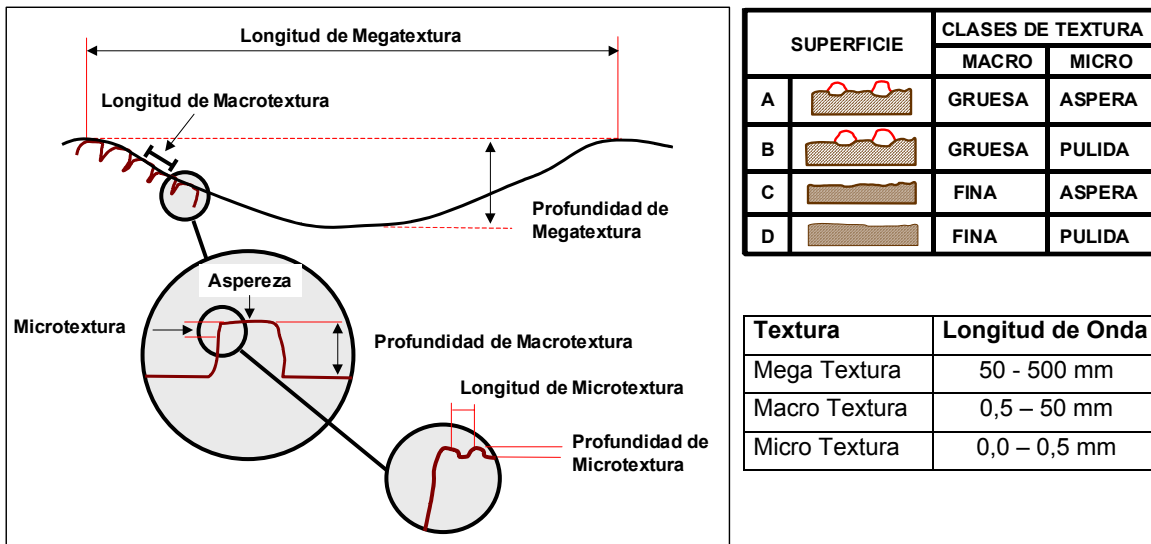
La Megatextura, corresponde a la mayor longitud de onda. En general se encuentra más cercana a la rugosidad. Usualmente no es considerada una variable significativa en la provisión de seguridad (Descornet, 1989).

La Macrotextura, proporciona los intersticios necesarios para el escurrimiento del agua por el pavimento, de modo tal que la película de agua que sirve de fase entre el neumático y el pavimento, mantenga un cierto espesor que permita el contacto entre neumático y pavimento (Highways Agency, 1999a).

La Microtextura proporciona el contacto directo entre el neumático y el pavimento y por tanto está directamente asociada a la resistencia al deslizamiento (Achútegi *et al*, 1996; Tighe *et al* 2000). Depende exclusivamente de las características del agregado y de su susceptibilidad al desgaste producido por el contacto con el neumático.

En la Figura 1, se esquematizan las características geométricas de la textura, las longitudes de onda asociadas a cada tipo y combinaciones de micro y macrotextura que pueden aplicarse aun pavimento.

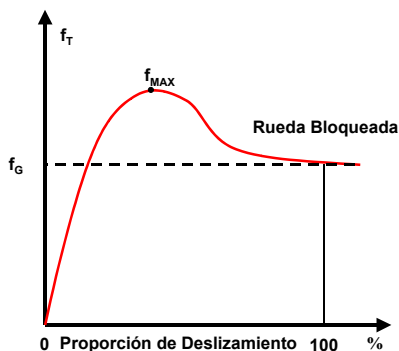
Figura 1: Tipos de Textura de un pavimento (PIARC, 1995; Highways Agency, 1999a).



## 2.2 La Resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento (*Skid Resistance*), puede definirse como la fuerza desarrollada cuando un neumático está impedido de deslizar por una superficie. Como concepto, representa la interacción entre el neumático de un automóvil y el pavimento, sin considerar la demanda de fricción producto de las aceleraciones tangenciales y/o transversales a las que se ve sometido un automóvil. Es un concepto que describe el fenómeno a nivel local. En la Figura 2, se muestra la forma característica de la variación de la resistencia al deslizamiento durante el proceso de frenado.

Figura 2: Fricción en Función de la proporción de traslación sin rotación (Lamm *et al*, 1999).



$f_{MAX}$ : Valor máximo de fricción. Corresponde al valor disponible en condiciones extremas de conducción.

$f_G$ : Es el valor que corresponde a la resistencia al deslizamiento que se produce cuando existe traslación sin rotación (*Wheel slip*).

El fenómeno de la resistencia al desplazamiento y deslizamiento involucra siempre al menos a dos cuerpos insertos dentro de un medio. Físicamente, ésta interacción toma sentido en un estado de movimiento relativo entre ambos cuerpos, surgiendo entonces un cuarto aspecto a considerar en el análisis: la velocidad de circulación. La relación entre estos factores, determinará si los

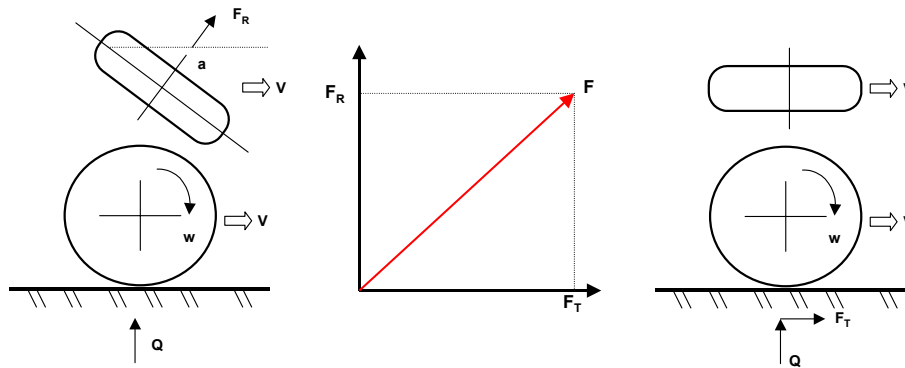
neumáticos del automóvil rotan y se trasladan, rotan, o sólo se trasladan (se deslizan). De estos factores, es más factible que sean controlados aquellos asociados al tipo de neumático y a las características del pavimento. Dado que el tipo de neumático es un aspecto asociado a la tecnología del automóvil, la atención se centra en las características del pavimento que determinan la oferta de fricción.

### 2.3. La Fricción

La fricción como fenómeno físico posee la misma definición que la resistencia al deslizamiento. Sin embargo, se constituye en una extensión de esta última al considerar el proceso de conducción y el efecto combinado de las aceleraciones tangencial y longitudinal a la que está sometido un automóvil al circular por una carretera. Esta descrita a través del coeficiente de fricción (o factor de fricción), medido como la razón entre la fuerza de fricción y una fuerza normal originada por el peso.

La fuerza de fricción tiende a impedir el movimiento del vehículo llegando a un valor máximo correspondiente a:  $F \leq F_{MAX} = f_M \times Q$ ; En donde  $F_{MAX}$  es la fuerza de fricción máxima, expresada como el producto del coeficiente de fricción máxima ( $f_M$ ) por el peso ( $Q$ ) del vehículo. En un plano horizontal, la fuerza de fricción  $F$  puede expresarse en términos vectoriales como se muestra en Figura 3.

**Figura 3: Diagrama Vectorial de Fuerza de Fricción (Adaptado de OCDE, 1984).**



La fricción total en el plano horizontal resulta de la distribución entre los cuadrados de las fricciones en sentido radial y tangencial. Este resultado muestra que un vehículo que se desplaza por un eje arbitrario, demandará en cada punto de su trayectoria una cantidad de fricción lateral y tangencial, las cuales combinadas deben ser inferiores a un valor máximo que resulta de la interacción neumático - pavimento bajo ciertas condiciones. Una expresión que da una mejor estimación de la relación entre los coeficientes de fricción es la relación elíptica de Krempel (Lamm *et al*, 1999). Dicha relación expresa que la reserva de fricción del pavimento está distribuida en los sentidos radial y transversal.

$$\left( \frac{f_R}{f_{RMAX}} \right)^2 + \left( \frac{f_T}{f_{TMAX}} \right)^2 \leq 1 \quad (1)$$

Debido a la dificultad de cálculo de  $f_{RMAX}$ , usualmente se estima en forma indirecta, asumiendo proporcionalidad con la fricción transversal. La relación expresada en ecuación 1, es el fundamento teórico del análisis y selección de valores de fricción para el diseño geométrico, específicamente para la aplicación del modelo de distancia de visibilidad de parada (asociado a fricción longitudinal) y al de estabilidad dinámica (asociado a fricción tangencial).

En el diseño geométrico, se asume un factor de fricción admisible que representa el efecto de la fuerza de fricción con respecto a la velocidad. Como hipótesis, se asume que éste es invariante en el tiempo e independiente del pavimento. Esta hipótesis si bien simplifica el problema, en el proceso de conducción puede inducir al usuario a percibir erróneamente las aceleraciones laterales, lo cual se traduce en un aumento del riesgo de accidentes o incidentes, dada la sensibilidad de los conductor de no - diseño a la fricción lateral en curvas horizontales (Dimitropoulos *et al*, 1998).

El factor a emplear en el diseño debe por un lado considerar las características superficiales del pavimento y por otro asegurar una reserva de fricción de modo que en los sentidos radial y tangencial no se produzca deslizamiento por falta de fricción. Esta última consideración, se fundamenta en la expresión de Krempel (Ecuación 1) y es válida tanto para estimar valores de fricción máxima, como para especificar valores para el diseño.

#### 2.4. Factores que determinan la variabilidad de la fricción

La fricción varía a lo largo de la vida útil o de diseño de un pavimento. Entre los aspectos que determinan esta variabilidad se cuentan el tipo de pavimento, características de los agregados, humedad del pavimento, estado y tipo de neumáticos, velocidad, peso del vehículo, presencia de contaminantes, condición geométrica, las variaciones estacionales del clima, nivel de precipitaciones, entre otras (Lees, 1978; Kennedy *et al*, 1990; Hass *et al*, 1994; Highways Agency, 1999a). Estos factores condicionan las variaciones de las características superficiales del pavimento en diferentes ventanas de tiempo, lo cual debe ser considerado al implementar procesos de medición. En la Tabla 1, se muestra una síntesis del efecto de algunas de las variables citadas sobre el valor del factor de fricción.

**Tabla 1: Factores que afectan el factor de fricción (Lees, 1978 y Kennedy *et al*, 1990).**

Factor	Tipo		Variación típica	
Clima	Variación estacional de la temperatura		+/- 0.012 c/ 0.003 °C	
Tránsito	Flujo diario de vehículos		- 0.06/1000 vehículos	
	Maniobra de frenado, aceleración, fuerza centrífuga		- 0.05	
Superficie	Superficie Asfáltica con Agregado grueso		- 0.01 por unidad de reducción de Índice de Pulimento del Agregado	
	Contaminación de polvo, caucho		- 0.10	
	Profundidad de la textura	Asfalto	2.0 mm	No varía con la velocidad
		Hormigón	0.8 mm	
		Asfalto	1.0 a 0.5 mm	10 a 30 % de reducción con cambios de velocidad de 50 a 130 Km./h
Hormigón		0.7 a 0.4 mm		

## 2.5. MEDICION DE INDICADORES

La medición de fricción, resistencia al deslizamiento y textura puede tener diversos propósitos. Del análisis de los trabajos de Yeh *et al* (1981), OCDE (1984) Descornet (1989), Hiersche (1990) y Lamm *et al* (1990), se deducen los siguientes propósitos:

- En el marco de la investigación científica, el objetivo es modelar el comportamiento del conjunto neumático – pavimento.
- En el diseño geométrico permite, a través de inventarios, recopilar datos para construir coeficientes de fricción para el cálculo de distancia de visibilidad de parada, diseño de curvas horizontales y análisis de consistencia.
- Para investigación en diseño de pavimentos, las mediciones están limitadas a parámetros específicos, a diferentes velocidades y con distintos tipos de neumáticos, con el fin de especificar valores umbrales para construcción y planificar acciones de mantenimiento.
- Para el mantenimiento vial, las mediciones regulares permiten establecer los mecanismos para optimizar las condiciones superficiales del pavimento.

### 2.5.1. Especificación de Indicadores

En el proceso de medición se debe considerar la naturaleza de las variables a medir: Por un lado, que la textura de un pavimento es una propiedad física del mismo y, como tal, puede ser medida mediante un proceso estandarizado que garantice la repetibilidad de la medición. Por otro, la resistencia al deslizamiento y la fricción son un fenómeno físico en el que interactúan tres elementos: las propiedades físicas del pavimento, una interfase o medio y el vehículo. Por lo tanto, la variabilidad temporal y espacial del pavimento, el trazado y el proceso de conducción mismo deben ser considerados, con el fin de obtener un índice representativo de un segmento de un camino o carretera y para alguno de los propósitos antes señalados. En la Tabla 2, se presenta una descripción de indicadores asociados a cada tipo de variable.

**Tabla 2: Indicadores de Textura y Fricción**

Variable		Indicador/Índice	Descripción
Fricción	Longitudinal	Coefficiente de Fricción Longitudinal (1)	Estimador de la fuerza de arrastre necesaria para ejecutar la maniobra de frenado en recta, en ausencia de deriva.
	Transversal	Coefficiente de Fricción Lateral (2)	Indica la oferta de fricción en curvas y a lo largo del trazado para realizar maniobras de emergencia.
Textura	Microtextura	Número de Péndulo (4)	Idem caso anterior.
		Densidad de Potencia Espectral (5)	Permite medir el microperfil de los áridos expuestos a la superficie del pavimento. Se mide en forma estática.
	Macrotextura	Profundidad Media de la Textura (6)	Permite estimar la profundidad equivalente de la textura respecto de una superficie de área conocida.
		Profundidad Media del Perfil (7)	Permite estimar a lo largo de un eje la profundidad del microperfil de longitud de onda entre 0.5 y 50 mm
	Profundidad Estimada de la Textura (8)	corresponde al valor de textura estimado a partir de la profundidad media del perfil.	
Integrados		Índice de Fricción Internacional (IFI)	Integra la textura y la fricción lateral en una ecuación de referencia. Permite homologar medidas realizadas con diferentes equipos.

(1) BFC: Brake Force Coefficient; (2) SFC: Sideway Force Coefficient; (3) SN: Skid Number; (4) BPN: British Pendulum Number; (5) PSD: Power Spectral Density; (6) MTD: Mean Texture Depth; (7) Mean Perfil Depth; (8) ETD: Estimated Texture Depth.

En cada caso, los indicadores son estimados en función del equipo que se utilice para medirlos. Por lo tanto, es necesario que en cada caso existan una condición estándar de experimentación que permita realizar mediciones precisas, estadísticamente hablando.

Otro aspecto necesario de considerar es la variabilidad temporal y espacial de los indicadores. Es necesario definir un tamaño muestral que permita identificar sitios de medición, frecuencia de medición y longitud de sitios de medición, tal que exista representatividad estadística de los datos y, a la vez, que permita describir claramente el fenómeno que se está analizando. Estos aspectos se analizan a continuación.

## 2.5.2. Equipos y Especificaciones de Ensayes

Las técnicas de medición de los indicadores resumidos en Tabla 2, están asociadas al tipo de equipo empleado. La textura puede medirse mediante métodos volumétricos o perfilométricos, en tanto que la resistencia al deslizamiento y la fricción, requieren el uso de equipos que permitan reflejar las condiciones de interacción en presencia y ausencia de aceleraciones laterales.

### a. Medición de Textura

La microtextura puede medirse mediante dos técnicas. Una mediante el Péndulo Británico o SRT (*Skid Resistance Tester*) o mediante técnicas de procesamiento de imágenes. La macrotextura puede estimarse aplicando métodos de tipo: (a) Volumétrico como el Método de la Mancha de Arena, regulado por la norma ASTM E965; (b) Métodos indirectos, basados en el uso de perfilómetros; (c) Medición directa, basada en equipos móviles o estacionarios de medición de textura tales como el equipo MTM (*Mini Texture Meter*). En Tabla 3, se muestra un resumen de las técnicas y/o equipos de medición, el principio de medida, y la norma asociada al ensaye.

**Tabla 3: Equipos de medición de Textura (PIARC, 1995; ASTM, 1997).**

Equipo	Principio de Medida	Velocidad de Operación	Norma
Equipo de Círculo de Arena	Area de Círculo	Estacionario	ASTM E965 - 96
TRL Skid Resistance Tester (SRT)	Contacto	Estacionario	ASTM E303 - 83 TRL NLT - 175
TRL Mini Texture Meter (MTM)	Láser	3 – 6 Km./h	HD36/99

### b. Medición del Coeficiente de Fricción Longitudinal

Los equipos de medición de este indicador se basan en el principio de bloque de rueda sin esvía. La estimación puede realizarse en forma directa utilizando equipos del mismo tipo de los empleados para la medición de fricción transversal. También se puede medir en forma indirecta mediante la estimación del factor de arrastre, que corresponde a la razón entre la deceleración máxima de frenado y la aceleración de gravedad. El valor obtenido, la constante de frenado, refleja el valor de fricción longitudinal requerida para un bloque del 100 % de rueda, justo en el instante en que comienza el deslizamiento.

### c. Medición del Coeficiente de Fricción Transversal

Los equipos para medir la resistencia al deslizamiento está basado en el principio de bloqueo de rueda. El valor del coeficiente se estima como el 15 % del valor máximo de coeficiente de frenado. La medición de fricción transversal, se aplica considerando una rueda bloqueada esviada



entre 15 y 20 grados respecto del eje de desplazamiento, de modo tal que el coeficiente de fricción sea cercano al valor máximo.

Estos principios son los aplicados en equipos tales como SCRIM, MU – Meter y GRIP Tester, que permiten medir a una velocidad entre 20 y 140 Km./h. En Tabla 4 se muestran las características generales de estos equipos.

**Tabla 4: Características Generales de Equipos de medición de Fricción (PIARC, 1995; ASTM, 1997; Wallman *et al*, 2001).**

Equipo	Principio de Medida	Velocidad de Operación	Norma Típica
SCRIM	Rueda Bloqueada Oblicua a 20 grados	20 a 100 Km./h	Sin Referencia
MU – METER	2 Ruedas Oblicuas a 15 grados	< 150 Km./h	ASTM E670 – 94
GRIP TESTER	Rueda con 14.5 grados de desplazamiento	2 a 130 Km./h	E 503 – 88(94) (*)

(\*) Norma Asimilable.

### 3. EL MANTENIMIENTO DE LAS PROPIEDADES FRICCIONALES

El mantenimiento de las propiedades friccionales de un pavimento es una de las tareas de gestión mas complejas. Para ejecutarla, se debe considerar un proceso ordenado que permita la obtención y procesamiento de la mayor cantidad de datos al mínimo costo. La especificación adecuada de indicadores, sitios de muestreo y umbrales de intervención, son las etapas a las cuales las normativas analizadas le dan mayor énfasis, dado que los criterios que se apliquen determinarán la pertinencia de una u otro tratamiento al superficie del pavimento. En este capítulo se analizan las etapas primordiales a ejecutar para el mantenimiento de las propiedades friccionales del pavimento, así como los criterios que orientan su aplicación.

#### 3.1. Procedimientos de control

El control de fricción tiene por objetivo el mantener el valor de fricción lateral y longitudinal dentro de umbrales de admisibilidad. En general, el proceso se ejecuta en tres pasos: Planificación, Inspección y Evaluación. Los componentes de cada uno de estos pasos varían de país en país. Aquí se presenta un resumen de las consideraciones para el diseño de un procedimiento de control, basado en el uso de equipos de rueda bloqueada.

##### 3.1.1. Planificación

###### a. Caracterización de Sitios de Muestreo

En esta etapa se caracteriza el lugar en donde se realizarán las mediciones. Los criterios a emplear corresponden a la demanda y la configuración geométrica. El primer criterio se refiere a la demanda de fricción dada la categoría de la vía. Mientras mas alta la categoría, mayor es la demanda de fricción debido a que la categoría de la vía permite desarrollar mayores velocidades de operación a los usuarios. Debido a que la oferta de fricción disminuye con la velocidad (Lees, 1978), es necesario distinguir entre demanda alta y baja, lo que determina umbrales de intervención diferenciados por categoría de la vía (Transit NZ, 1999b). La categoría, se refiere a la diferenciación por tipo de dispositivo vial. En cada uno de ellos la demanda de fricción es

distinta debido a la presencia de aceleraciones laterales producto de la geometría del trazado (Lamm et al, 1990). En Tabla 5 se muestra la clasificación que emplean los procedimientos de inspección de Nueva Zelanda e Inglaterra de acuerdo a grado de importancia de la categoría.

**Tabla 5: Categoría de Sitios de Inspección (Transit NZ, 1999a; Highways Agency, 1994)**

Categoría	Descripción de Sitio	
	Nueva Zelanda	Inglaterra
1	Aproximación a intersecciones	Autopistas
2	Curvas de Radio < 250 m	Carreteras con calzadas separadas y control total de accesos
	Zonas con pendientes descendentes > 10 %	Carreteras con calzada única con control total de acceso
3	Aproximaciones a intersecciones con pendientes longitudinales entre 5 y 10 %	Carreteras de dos pistas por sentido con control parcial de accesos
	Intersecciones de autopistas con o sin pistas de cambio de velocidad.	
4	Carreteras con calzada única	Carreteras de una pista por sentido
5	Carreteras con calzadas separadas	Aproximación a intersecciones mayores
6		Pendientes entre 5 y 10 % en 50 m
		Pendientes superiores a 10 % en 50 m
7		Curvas con radio menor a 250 m sin restricción de velocidad
8		Aproximación a rotondas
9		Aproximación a intersecciones

En Nueva Zelanda, la priorización tiene que ver con la demanda de fricción. Siendo las primeras tres categorías las de mayor demanda de fricción. En Inglaterra, la priorización tiene que ver con la calificación de riesgo de accidentes. Así, las primeras clasificaciones poseen una calificación de riesgo mayor y las últimas una menor. En ambos casos, el objetivo de realizar esta clasificación es definir umbrales de intervención lugar específicos.

### **b. Categoría de Inspección**

Con las categorías de inspección, se busca diferenciar el nivel de detalle de cada tipo de inspección. Se distinguen tres categorías (Highways Agency, 1994): En la primera, el objetivo es el lograr obtener un valor de fricción representativo de una estación del año, para lo cual se deben realizar mediciones dentro de una estación del año y estimar la media estadística. En la siguiente categoría, se realizan mediciones simples que no constituyen parte de un proceso sistemático. Está orientada a resolver problemas específicos de deficiencia de fricción. La tercera categoría de inspección, se refiere a mediciones aisladas y fuera de la estación del año asociada, por ejemplo, a la categoría 1. Se realiza con el objetivo de tener una base de comparación de la variación estacional del indicador de fricción en un mismo punto.

### 3.1.2. Inspección

La inspección tiene por objeto identificar deficiencias en cuanto a oferta de fricción del pavimento. Para ejecutarla, es necesario el considerar los indicadores que se van a medir y la frecuencia de muestreo.

#### a. Indicadores

Para establecer los indicadores a medir es necesario especificar los atributos asociados al indicador. Puesto que la textura y fricción son valores puntuales, es necesario caracterizar tanto el valor como la extensión del valor dentro de los segmentos en que se realizan las mediciones. Esto permite normalizar el indicador por unidad de área para posteriormente asociar el indicador normalizado con la extensión de la intervención sobre el pavimento. En términos genéricos los indicadores de fricción pueden clasificarse en tres (Highways Agency, 1994):

- Valor Medio Estacional: Corresponde a la media estadística de mediciones realizadas dentro de una estación del año.
- Valor de Equilibrio. Corresponde al valor promedio del Valor Medio Estacional de tres o más años
- Índice de fricción: Corresponde a un valor de calibración. Se estima como la razón entre el valor de calibración dividido por la media estadística de la historia de calibraciones del equipo.

#### b. Frecuencia de Muestreo

Otro aspecto a considerar en la inspección es el tamaño muestral y la frecuencia de muestreo. En términos estadísticos, existen al menos tres tipos de muestreo: Aleatorio simple, sistemático y estratificado. Zou y Chou (2002), recomiendan el uso de técnicas de muestreo sistemático, dado que permite definir cuales serán los segmentos a evaluar sin modificar sustancialmente la varianza. Las normativas en general establecen extremos máximos y mínimos de frecuencia de muestreo y la longitud de las unidades muestrales. Así por ejemplo la normativa de Australia define un intervalo de 100 m con segmentos de 5 m (MAIN ROADS, 1995). La normativa de Inglaterra en tanto, especifica la frecuencia de muestreo en función de la categoría del sitio y de la calificación de riesgo. El intervalo oscila entre 100 y 10 m (Highways Agency, 1994).

### 3.1.3. Evaluación

La evaluación debe considerar dos pasos: Uno la especificación de umbrales de intervención, y otro el proceso de decisión de intervención.

#### a. Umbrales de Intervención

Los umbrales de intervención, determinan el valor mínimo admisible de coeficiente de fricción, dada la categoría del sitio, la jerarquía de la vía, el nivel de tránsito y el riesgo de accidentes. Los umbrales de intervención varían entre 0.30 y 0.65, pero lo usual es que estos valores sean aumentados en las normativas, a fin de establecer umbrales de alerta (*Investigatory Levels*).

El establecer estos umbrales obedece a estudios detallados del comportamiento de los conductores, en especial en lo relativo a la relación entre el trazado, superficie de rodado y velocidad de circulación. La estimación de los umbrales debe considerar los siguientes criterios en especial cuando se realizan modificaciones (Transit NZ, 1999a y b).

Reducción de Umbrales: La presencia de tránsito bajo (TMDA < 250 veh/día) reduce la necesidad de realizar maniobras imprevistas.

Las pendientes de subida superiores al 10 % inducen al conductor a reducir la velocidad de circulación, reduciendo también la demanda de fricción.

Aumento de Umbrales: Peraltes inferior al 5 % o contraperaltes.

En las calzadas rugosas se requiere una mayor resistencia al deslizamiento para facilitar maniobras.

Eventos aislados recurrentes que induzcan maniobras sorpresivas.

Accidentes.

En Tabla 6 se muestran los valores umbrales empleados en las normas de Nueva Zelanda e Inglaterra.

**Tabla 6: Umbrales de Fricción Lateral (Highways Agency, 1994a, Transit NZ 1999a).**

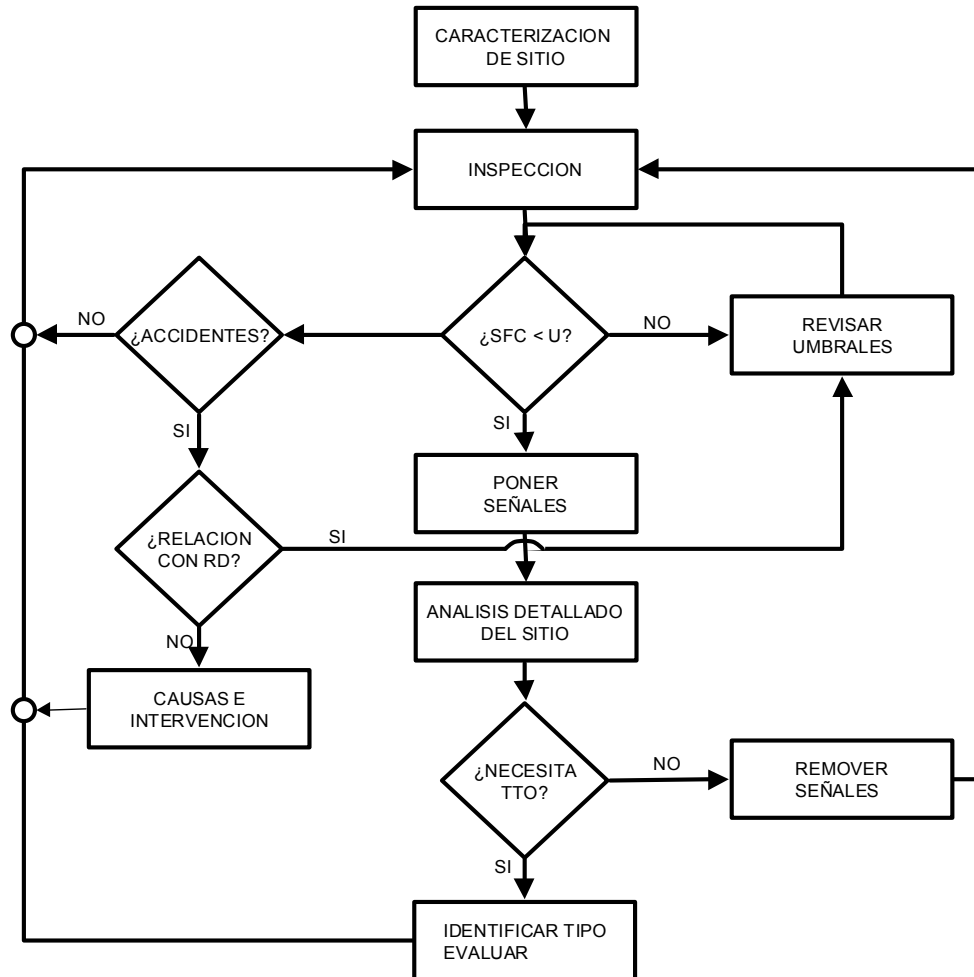
Categoría de Descripción		Inglaterra						Nueva Zelanda	
		0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55		
		1	2	3	4	5	6		
A	Autopistas								
B	Vías Multipista Doble Calzada								
C	Vías de Dos Pistas por Sentido control total de accesos								
D	Vías de dos pistas por sentido control parcial de accesos								
E	Caminos Bidireccionales								
F	Aproximaciones a Intersecciones Mayores								
G1	Pendientes entre 5 y 10 % > 50 m								
G2	Pendientes > 10 %, > 50 m								
H1	Curvas de radio < 250 m								
H2	Curvas de Radio < a 100 m								
J	Aproximaciones a Rotondas								
K	Aproximaciones a intersecciones Semaforzadas, cruces peatonales, cruces ferroviarios o similares								
L	Rotondas								

### b. Decisión de Intervención

La decisión de intervención se deduce de la evaluación. Los procedimientos son variados. La normativa de Nueva Zelanda, establece un proceso escalonado en tres niveles en donde cada uno representa un filtro. El primer nivel, corresponde al más básico y se refiere a la identificación de segmentos que posee valores bajo el umbral pero con baja extensión dentro del segmento de muestreo. El segundo nivel identifica deficiencias en una extensión entre 50 y 100 m dependiendo de la demanda de fricción del segmento; y el tercero, identifica deficiencias aisladas e intermitentes que no están dentro de los otros niveles. Este sistema de filtrado permite no solo ponderar la extensión de las deficiencias, sino que además la urgencia y tipo de reparación a emplear.

La normativa de Inglaterra, sigue un procedimiento más sistemático de acuerdo la categoría de sitio, calificación de riesgo y categoría de inspección. En la figura siguiente se muestra el diagrama simplificado de decisión.

**Figura 4: Proceso de decisión de intervención empleado en normativa de Inglaterra (Highways Agency, 1994).**



### 3.2. Técnicas de recuperación

La recuperación de las características friccionales de un pavimento es el corolario de un proceso continuo de evaluación de la resistencia al deslizamiento. Existen diversas estrategias que modifican las propiedades friccionales de un pavimento. Su aplicación depende del tipo de pavimento. Se pueden clasificar según: (a) En Pavimentos Asfálticos: Tratamientos Superficiales, Sellos de Alta Fricción, Sellos y Retexturizado. (b) En Pavimentos de Hormigón; Terminación Superficial y Retexturizado.

#### 3.2.1. Pavimentos Asfálticos

Las técnicas de recuperación de fricción tienen diversos objetivos y funciones dentro del proceso de intervención de un pavimento. En la Tabla siguiente, se muestra una síntesis de las técnicas y sus objetivos.

**Tabla 7: Técnicas de Recuperación de Propiedades Friccionales de un Pavimento Asfáltico (Highways Agency, 1999b).**

Tipo/Técnica		Objetivo
Tratamiento Superficial		Recuperar micro y macro textura. Prolongar durabilidad del pavimento.
Sellos de Alta Fricción		Mejorar en forma específica la resistencia al deslizamiento.
Sellos	“Normales”	Recuperar microtextura y proveer de resistencia a la abrasión del árido superficial.
	Micropavimento	
Retexturizado	Impacto	Recuperación de Rugosidad, indirectamente recuperan macrotextura y resistencia al deslizamiento.
	Raspado	
	Acción de Fluido	

### 3.2.2. Pavimentos de Hormigón

En este tipo de pavimento las opciones de intervención se encuentran mas limitadas: Se puede aplicar durante el proceso de pavimentación, aplicando una terminación superficial específica o posteriormente aplicando técnicas de retexturizado. A continuación, se presentan técnicas asociada a esta última estrategia. Al igual que en el caso de pavimentos asfálticos, la técnicas de retexturizado pueden ser de Impacto, por raspado o por acción de fluidos.

**Tabla 8: Técnicas de Recuperación de Propiedades Friccionales de un Pavimento de Hormigón (Highways Agency, 1999b; Correa y Wong, 2001).**

Técnica		Descripción
Impacto	Bush Hammering	Permite recuperar micro textura mediante la erosión mecánica de la matriz de cemento por impacto de pequeños martillos.
	Shot Blasting	Permite recuperar micro textura mediante la erosión mecánica de la matriz de cemento mediante abrasión por rotación.
Raspado	Grinding (1)	Permite recuperar la macro textura mediante la aplicación de un patrón discreto de ranuras, mediante la aplicación de discos diamantados.
	Longitudinal Scabbling	Recupera la micro textura por remoción de material de la cara expuesta de los áridos superficiales.
Acción de Fluido	Hot Compresse air	Recupera la macro textura por erosión de la matriz de cemento, mediante la deshidratación de la pasta de cemento por temperatura.
	High pressure water jetting	Es utilizado para remover el caucho residual presente en la superficie.

(1) Este proceso es el empleado en Chile, se encuentra especificado por la operación 7.305.7 “Cepillado de Superficie”, del Manual de Carreteras en la parte de Mantenimiento Vial (MOP, 2000).

## 5. CONCLUSIONES

La división de los conceptos de RD y Fricción tiene importantes consecuencias desde el punto de vista de la gestión. Por un lado, la RD es una propiedad local, en donde se mira únicamente la interacción entre neumático y pavimento. por lo tanto es posible especificar las condiciones de control que determinan la condición más favorable sin considerar el comportamiento del conductor determinado por el diseño. Por el contrario, en el caso del coeficiente de fricción, al considerar este el efecto de las aceleraciones laterales y transversales, la condición más favorable pasa a depender también del trazado.

La textura de un pavimento, y por tanto la oferta de fricción, se ve modificada en el tiempo por factores climáticos, de tránsito y de superficie. La magnitud de las variaciones ocurre en ventanas de tiempo diferentes, existiendo cambio de mas corto plazo y cambio de mediano y largo plazo que se deben considerar al momento de construir indicadores para la inspección.

Los indicadores son dependientes también del equipo con que se realice la inspección, existiendo equipos específicas para medir fricción (longitudinal y transversal), Textura (micro y macro textura), y para construir índices combinados.

El mantener dentro de umbrales adecuados las propiedades friccionales requiere el diseño de un proceso de evaluación que debe considerar el análisis detallado de dos aspectos: uno el procedimiento de control y otro la selección de técnicas de recuperación dada la tecnología disponible. En el primer caso en este artículo se formularon indicaciones que ordenan el proceso de control en tres pasos: Planificación, inspección y evaluación, y en el segundo se presentaron tipos de técnicas de recuperación.

Se resalta la necesidad de diseñar umbrales de intervención diferenciados por dispositivo vial a fin de establecer una coherencia entre el valor umbral seleccionado y la demanda de fricción, valor que es dependiente de la respuesta del conductor al trazado.

Las medidas de fricción y/o textura son puntuales. Es necesario asociarlas a indicadores que reflejen extensión, a fin de establecer valores representativos por segmento de inspección, lo cual facilita posteriormente la proposición de operaciones de reposición en el caso que sea necesario.

Dentro de las técnicas de recuperación presentadas, resalta en el caso del pavimento asfáltico los sellos de alta fricción, dado que permiten en forma controlada llegar a valores precisos de textura y fricción.

En el caso de pavimentos de hormigón, si bien existen variadas técnicas, las que han mostrado ser más eficientes son las de tipo “Raspado” entre las cuales se encuentra la técnica de *Grinding* y *Longitudinal Scabbling*.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- ASTM. “Road and Paving Materials; Vehicle Pavements Systems”. Vol 04.02 ANUAL BOOK OF ASTM STANDARDS. Section 4. Construction. Estados Unidos. 1997.
- Achutegui, F Crespo del Río, R Sánchez, B y Sánchez, I. “La medida de la resistencia al deslizamiento y de la textura. Panorámica internacional”. Rutas, (53), 21 - 29. España. 1996.
- Correa, A y Wong, B. “Concrete Pavement Rehabilitation. Guide for Diamond Grinding”. FHWA Special Project 205. Estados Unidos. 2001.
- Descornet, G. “A Criterion for Optimizing Surface Characteristics”. Transportation Research Record 1215. 173 – 177. Estados Unidos. 1989.

- Dimitropoulos, I y Kanellaidis, G. "Highway Geometric Design: The issue of Driving Behaviour Variability". 1<sup>st</sup> International Symposium on Highway Geometric Design. 41 – 1. Agosto/Septiembre 1995. Boston. 1998.
- Echaveguren, T. "La Fricción en Pavimentos. Estado del Arte". Documento de Trabajo TD – 001 – 02. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 2002.
- Highways Agency. "Design Manual for Roads and Bridges". HD 28/94. 1994a.
- Highways Agency. "Design Manual for Roads and Bridges". HD 36/99. 1999a.
- Highways Agency. "Design Manual for Roads and Bridges". HD 37/99. 1999b.
- Hass, R Hudson, R y Zaniewski, J. "Modern Pavement Management". 1<sup>st</sup> Edition. Krieger. Florida. 1994.
- Hiersche, E-U. "Optimization of Road-Surface Characteristics: A concept for Research Program in The Federal Republic of Germany". Meyer, W y Reichert, J (Eds.) First International Symposium on Surface Characteristics ASTM STP 1031. 505 – 511. June 1988. Philadelphia. Estados Unidos. 1990.
- Kennedy, C Young, A y Butler, I. "Measurement of Skidding Resistance and Surface Texture and the Use of Results in The United Kingdom". Meyer, W y Reichert, J (Eds.) First International Symposium on Surface Characteristics ASTM STP 1031. 505 – 511. June 1988. Philadelphia. Estados Unidos. 1990.
- Lamm, R Choueiri, E Goyal, P y Mailaender T. "Design Friction Factors of Different Countries Versus Actual Pavement Friction Inventories". Transportation Research Record 1260, 138 - 146. Estados Unidos. 1990.
- Lamm, R Psarianos, B y Mailaender, T. "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook". 1<sup>st</sup> Edition. McGraw Hill. Estados Unidos. 1999.
- Lees, G. "Skid Resistance of Bituminous and Concrete Surfacing". Chapter 6. Pell, P (Ed). Developments in Highway Pavements Engineering. 219 – 285. 1<sup>st</sup> Edition. Applied Science. London. 1978.
- MAIN ROADS "Texture Class and Extent". Test Method WA 315.1 Pavement & Structures. Western Australia. 1995.
- MOP. "Mantenimiento Vial". Manual de Carreteras. Volumen 7. Santiago. Chile. 2000.
- OCDE "Skid Resistance". Road Surface Characteristics: their interaction and their optimisation. Road Transport Research. 16 – 53. Estados Unidos. 1984.
- PIARC. "Experimento Internacional AIPRC de Comparación y Armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento". Comité Técnico C.1. Francia. 1995.
- Tighe, S Li, N Cowe Falls, L y Hass, R. "Incorporating Road Safety into Pavement Management". Transportation Research Record 1699. 1 - 10. Estados Unidos. 2000.
- Transit NZ. "Notes to The Specification for Skid Resistance Deficiency Investigation and Treatment Selection". TNZ SP/NT 10. Nueva Zelanda. 1999a.
- Transit NZ. "Specification for Skid Resistance Deficiency Investigation and Treatment Selection". TNZ SP/ST 10. Nueva Zelanda. 1999b.
- Wallman, C - G y Astrom, H. "Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety". A Literature Review. VTI 911A – 2001. SNRA. Suiza. 2001.
- Yeh, E Henry, J y Wambold, J. "Methodology for Analyzing Texture and Skid Resistance Data for use in Pavement Management System". Transportation Research Record 893. 47 – 50. Estados Unidos. 1981.
- Zou, Y y Chou, Y. "Determination of Test Spacing in Pavement Evaluation". Paper 02 – 00247. 81th TRB Conference. Estados Unidos. 2002.