



Propuesta de Investigación LM- PI - PV- IN- 28b - 04

# Pulimento de agregados empleados en capas de rodamiento

## INFORME DE AVANCE

**INVESTIGADOR PRINCIPAL**  
ING. LAURA RAMÍREZ

**INVESTIGADORES ASOCIADOS**  
ING. MARIO ARCE  
ING. FABRICIO LEIVA

**JULIO 2005**

# PULIMENTO ACELERADO DE AGREGADOS

## 1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto surge por la necesidad de conocer las características pulimentables de las fuentes de agregados empleadas comúnmente en proyectos de pavimentación, así como determinar las características de la macrotextura, el coeficiente de resistencia al deslizamiento y el coeficiente de fricción, medido con el Grip tester.

Con esta información se busca generar una base de datos con los valores típicos de pulimento de las distintas fuentes de agregado, dar criterios de especificación de pulimento para agregados empleados en capas de rodadura y en una etapa futura establecer criterios de aplicación técnica para agregados que no cumplan con los requerimientos establecidos de pulimento

## 2 MARCO TEÓRICO

El tratamiento de las variables que se relacionan con la seguridad vial 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.

### A. La textura

Es una propiedad física del pavimento que se define como “la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera”. Se clasifica según la PIARC en: megatextura, macrotextura y microtextura, de acuerdo a su longitud de onda y frecuencia espacial.

La micro y la macrotextura son irregularidades deseables, ya que contribuyen con la resistencia al deslizamiento y a la prevención de los accidentes.

La megatextura corresponde a la mayor longitud de onda, entre 50 y 500 mm. En general se encuentra más cercana a la rugosidad. Usualmente no es considerada una variable significativa en la provisión de la seguridad vial.

La macrotextura se asocia con longitudes de onda entre 0,5 y 50 mm y 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 ambos.

La microtextura proporciona el contacto directo entre el neumático y el pavimento y por lo tanto está directamente asociada a la resistencia al deslizamiento. Depende exclusivamente de las características del agregado y de su susceptibilidad al desgaste producido por el contacto con el neumático.

En la figura No. 1 se presentan las características geométricas de la textura, las longitudes de onda asociadas a cada tipo y las combinaciones de micro y macrotextura que pueden aplicarse a un pavimento.

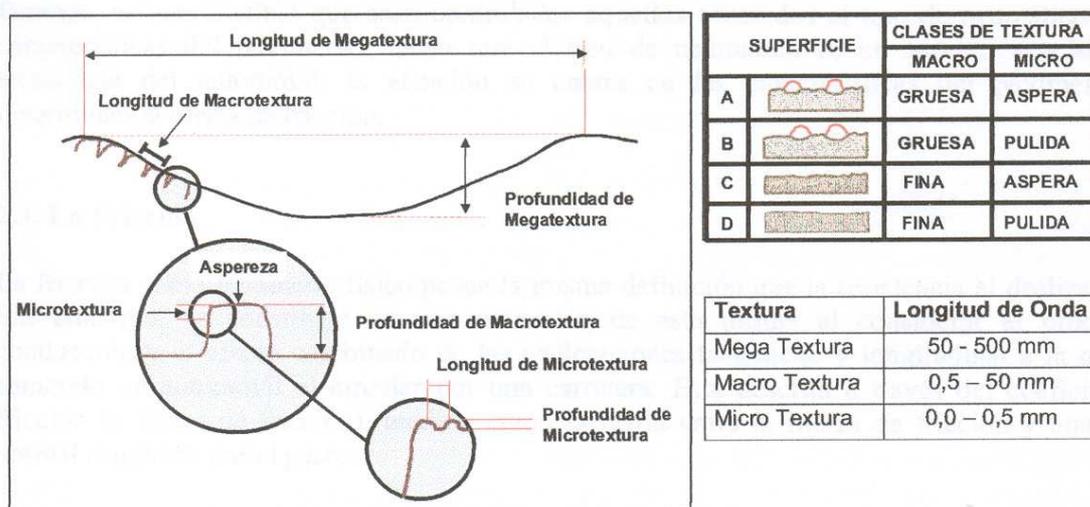


Figura No. 1: Características geométricas de la textura.

## B. Resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento, puede definirse como la fuerza desarrollada cuando un neumático está impedido de deslizar por una superficie. Representa la interacción entre el neumático de un automóvil y el pavimento, sin considerar la demanda de fricción producto de las aceleraciones tangenciales o transversales a las que se ve sometido un automóvil.

El fenómeno de la resistencia al deslizamiento y al desplazamiento involucra siempre al menos a dos cuerpos 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 rotan y se trasladan, rotan, o solo 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 la fricción.

## C. 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. La fricción se describe a través del coeficiente de

fricción, medido como la razón entre la fuerza de fricción y una fuerza normal originada por el peso.

## 2.1 RESISTENCIA AL PULIMENTO DE AGREGADOS

Los agregados que forman parte de las capas de rodamiento son susceptibles al pulimento o pérdida de la microtextura superficial, con lo que se reduce su capacidad de romper la fina película de agua que queda sobre la superficie y por lo tanto se ve fuertemente disminuida la capacidad de adherencia que ofrece la superficie de ruedo.

Para valorar este aspecto y definir cual será el grado de pulimento (el cual depende de las características mineralógicas) que cada agregado en particular puede tener, se utiliza el ensayo de Pulimento acelerado de agregado. Este método de ensayo utiliza un dispositivo denominado equipo de pulimento acelerado, para someter al agregado, durante 6 horas, a la acción de abrasivo grueso, fino y agua, y una fuerza total aplicada de  $725 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$ . En la figura 2 se presenta el esquema de la maquina de pulimento.

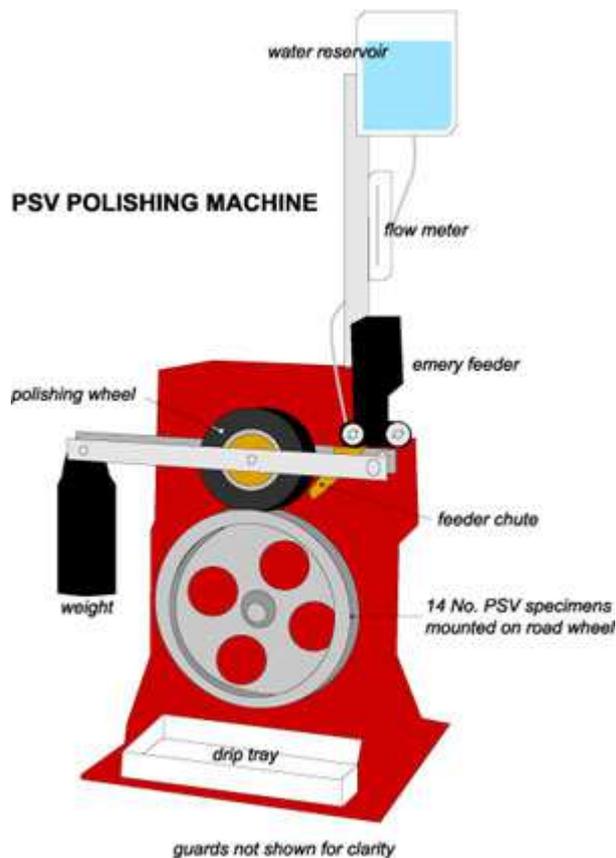


Figura No. 2: Maquina de pulimento acelerado.

Una vez concluidos los ciclos de pulimento, se determina el coeficiente de pulimento acelerado (CPA), para lo cual se emplea el péndulo de fricción. En la figura No. 3 se presenta el esquema del equipo.

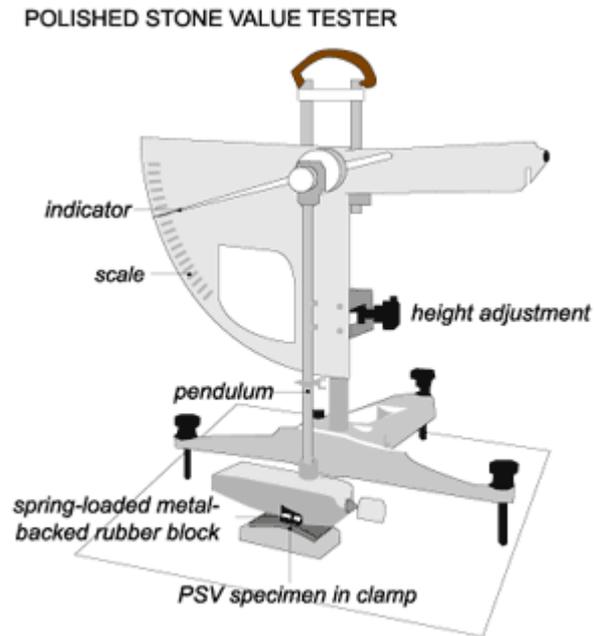


Figura No. 3: Péndulo de fricción

### 3 ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES

#### 3.1 FRANCIA

- **Carpetas de rodamiento nuevas:** Se controla el coeficiente de pulimento acelerado (CPA) de los agregados y por otro lado la textura de la capa de rodamiento. Los valores de CPA varían entre 0.45 y 0.50, según el tránsito y el tipo de carpeta. En cuanto a la textura solo se controla la macrotextura.

#### 3.2 ESPAÑA

**Para la recepción de obras nuevas** existen valores a ser verificados tanto de macrotextura expresada en “altura de arena” como de microtextura expresada con el “Péndulo de fricción”. Los valores requeridos se presentan en la Tabla No.1.

En las Tablas No. 2 y 3 se presentan los valores requeridos de coeficiente de pulimento para el agregado grueso.

**Tabla No. 1: Especificaciones para recepción de carpetas de rodamiento nuevas.**

<b>Tipo de Carpeta</b>	<b>Altura de arena (mm)</b>	<b>Péndulo de fricción</b>
Mezcla bituminosa	0.7	0.65
Hormigón	0.7 a 0.1	-----
Tratamiento superficial textura fina	0.6	0.55
Tratamiento superficial textura media	0.8	0.60
Tratamiento superficial textura gruesa	>1	0.65

**Tabla No. 2: Coeficiente de pulimento acelerado del agregado grueso para capas de rodadura. Mezcla densa**

<b>CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO*</b>			
T00	T0 y T1	T2	T3, t4 y arcenes
≥0.55	≥0.50	≥0.45	≥0.40

\*Prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG 3) 2001

**Tabla No. 3: Coeficiente de pulimento acelerado del agregado grueso para capas de rodadura. Mezclas discontinuas en caliente**

<b>CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO*</b>		
T00	T0, T1 y T2	T3, t4 y arcenes
≥0.55	≥0.50	≥0.45

\*Prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG 3) 2001

### 3.3 INGLATERRA

- **Recepción de obras nuevas:** Se mide la macrotextura con la “mancha de arena”, expresando los límites a verificar en función del tipo de carpeta de rodamiento. En cuanto a la microtextura, se deben utilizar agregados que tengan un coeficiente de pulimento acelerado CPA adecuado al tránsito que ha de soportar esa parte de la red.

### 3.4 REINO UNIDO

La Administración de carreteras especifica, para contratos de construcción, pruebas de CPA en circunstancias donde se ha encontrado que el pulimento es importante. En la Tabla 4 se muestran los valores requeridos para varias condiciones.

**Tabla No. 4: Sitios y valores mínimos de CPA para pavimentos flexibles**

<b>Sitio</b>	<b>Definición</b>	<b>Vehículos comerciales por día</b>	<b>CPA</b>
A1 (difícil)	(i)Acercamiento a señales de tránsito en carreteras donde el 15% de los carros tiene un velocidad > a 64km/h	<250 250-1000 1001-1750 >1750	60 65 70 75
	(ii) Acercamiento a zonas peatonales en vías urbanas principales		
A2 (difícil)	(i)Acercamiento y cruce de intersecciones principales en vías con más de 250 vehículos comerciales por día	<1750 1750-2500 2501-3250 >3250	60 65 70 75
	(ii)Rotondas y sus aproximaciones		
	(iii)Radios de curvatura < 150 m en caminos donde el 15% de los vehículos tiene una velocidad > a 64km/h		
	(iv) Pendientes del 5% o mayores, >1000 m		
B (promedio)	generalmente secciones rectas y largos radios de curvatura en	<1750 1751-4000 >4000	55 60 65
	(i) autopista		
	(ii) caminos principales		
C (fácil)	(iii) otros caminos>250 vehículos comerciales por día		
	(i) Secciones rectas de caminos con poco tránsito < 250 vehículos comerciales por día (ii) Otros caminos donde los accidentes debido al deslizamiento no son problema		45

### 3.5 COLOMBIA

La norma INVIAS en la sección 400-02, establece los requerimientos de los agregados para tratamientos y mezclas bituminosas. Los valores especificados de coeficiente de pulimento acelerado se presentan en la Tabla No.5. Dicha norma está vigente desde el año 1998.

**Tabla No. 5: Coeficiente de pulimento acelerado del agregado grueso para capas de rodadura y tratamientos superficiales**

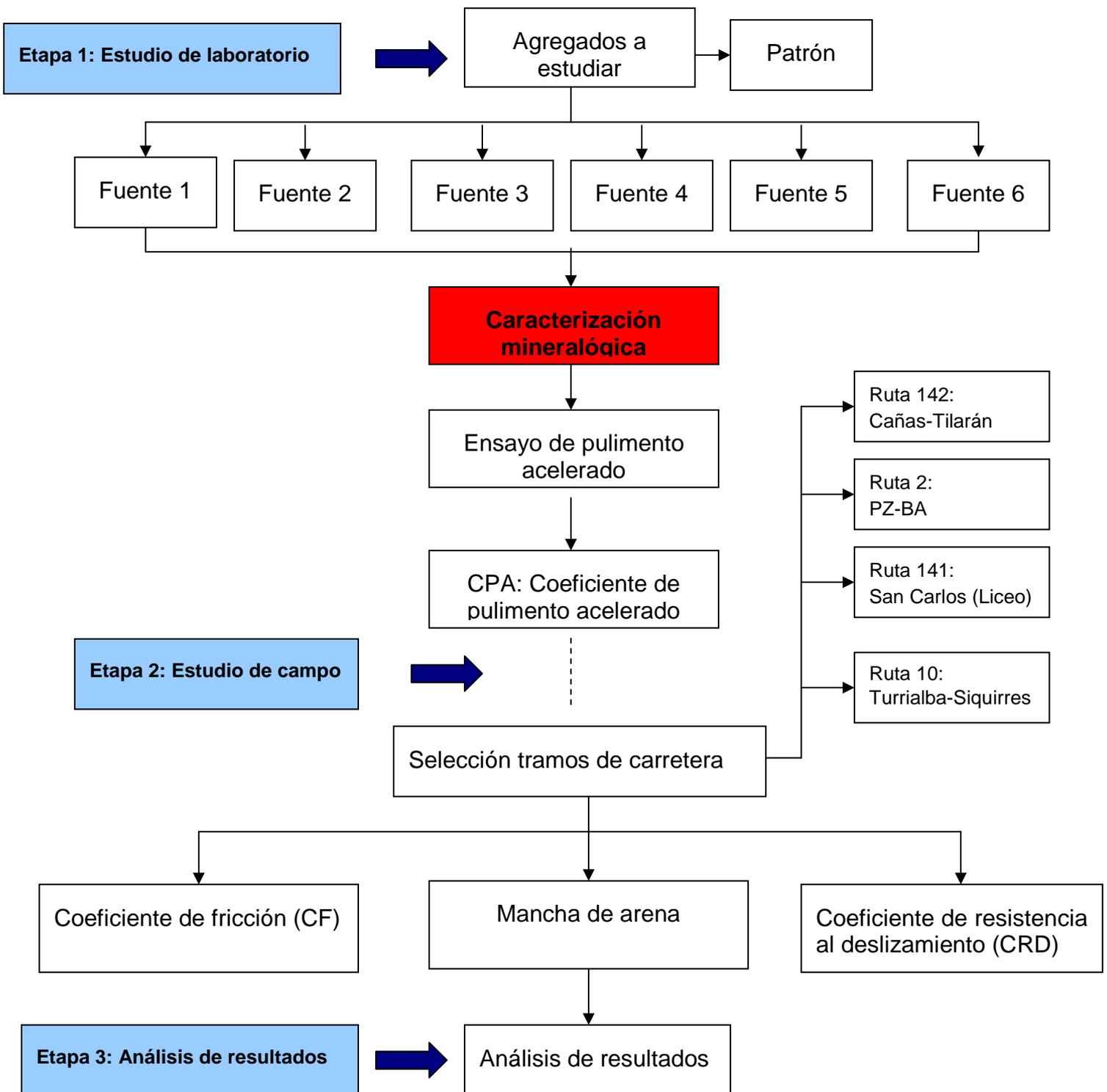
Tipo de tratamiento o mezcla	CPA
Tratamiento superficial simple y doble	≥0.45
Mezcla abierta en frío	≥0.45
Mezcla densa en frío	≥0.45
Mezcla densa en caliente	≥0.45
Mezcla discontinua en caliente	≥0.45
Mezcla drenante	≥0.45
Reciclado de pavimento existente	≥0.45

### 3.6 OTRA NORMATIVA

**Tabla No. 6: Coeficiente de pulimento de los agregados (CPA) necesario para alcanzar la resistencia al deslizamiento requerida en capas de rodadura, bajo distintas condiciones de tránsito.**

SFC requerido (50 km/h)	CPA necesario					
	Vehículos por carril por día					
	250 o menos	1000	1750	2500	3250	4000
0.30	30	35	40	45	50	55
0.35	35	40	45	50	55	60
0.40	40	45	50	55	60	65
0.45	45	50	55	60	65	70
0.50	50	55	60	65	70	75
0.55	55	60	65	70	75	
0.60	60	65	70	75		
0.65	65	70	75			
0.70	70	75				
0.75	75					

## 4 ESQUEMA EXPERIMENTAL



## 5 RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 RESULTADOS DE LABORATORIO

En las siguientes tablas se presentan los valores de coeficiente de pulido acelerado (CPA) de las distintas fuentes analizadas. Dichas fuentes a excepción de la fuente 6 son agregados provenientes de depósitos aluviales de origen igneo de las Regiones Norte y Sur de Costa Rica. La fuente 6 es agregado de aorigen sedimentario.

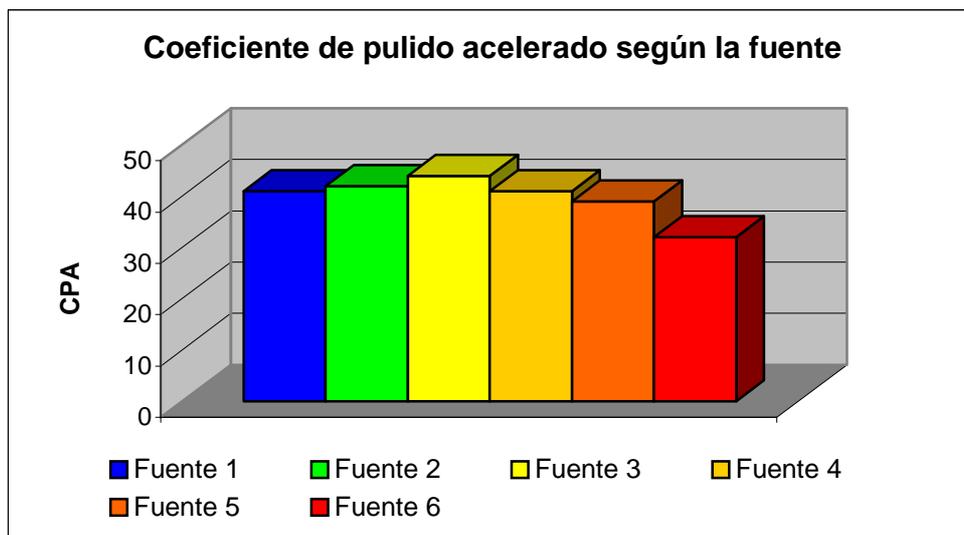
Las fuentes 1, 2 y 3 provienen de la zona de Guápiles. Son agregados obtenidos de los ríos Chirripó y Toro Amarillo. La fuente 4, proviene de la zona de San Carlos, específicamente del río Balsa. La fuente 5 proviene de la zona sur del país y corresponde a agregados extraídos del río General. La fuente 6 es material calizo de la formación Barra Honda, ubicada en la zona norte del país. El agregado utilizado como agregado patrón proviene de la región de Guápiles.

**Tabla No. 7: Resultados obtenidos de coeficiente de pulido acelerado (CPA)**

Fuente					
1	2	3	4	5	6
41	42	44	41	39	32

En el Gráfico No.1 se presenta la variación del coeficiente de pulimento acelerado, CPA según la fuente de origen.

**Gráfico No. 1: CPA vrs fuente de agregado**



## 5.2 RESULTADOS DE CAMPO

Para complementar los resultados realizados en laboratorio, se realizaron pruebas de macrotextura (mancha de arena), microtextura (péndulo inglés) y ensayos de fricción utilizando el Griptester. Estos ensayos se hicieron en tramos de carreteras construidas con los agregados analizados en el laboratorio.

Las rutas estudiadas fueron las siguientes:

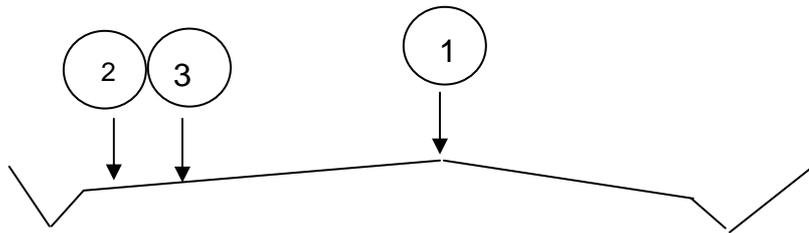
Ruta 142: Cañas-Tilarán (agregados de la fuente 6)

Ruta 2: Perez Zeledón-Buenos Aires (agregados de la fuente 5)

Ruta 141: Ciudad Quesada (agregados de la fuente 4)

Ruta 10: Turrialba-Siquirres (agregados de la fuente 3)

En cada una de estas rutas se seleccionaron tres tramos donde se realizaron los ensayos de la mancha de arena y el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) en tres distintos puntos: sobre la huella (3), en el centro de la calzada (1) y cerca del borde externo de la calzada (2), como se observa en la figura No.4.



**Figura No. 4: Esquema de los puntos donde se realizaron las mediciones**

### 5.2.1 Ruta 142: Cañas Tilarán

En esta ruta se seleccionaron los siguientes tramos:

- Tramo 1: Frente al plantel del ICE en Tilarán. Sentido Tilarán Cañas. La condición superficial presenta un agrietamiento severo, con desprendimiento de agregados y roderas. Drenajes en mal estado.



- Tramo 2: Tajo Chopo Tilarán: de la planta hidroeléctrica Ing. Miguel Dengo, 2 km hacia Tilarán. Sentido Cañas Tilarán. La condición superficial evidencia poco agrietamiento, con segregación en medio de las huellas y presencia de roderas.



- Tramo 3: Km 12 de la Ruta 142. Los Angeles-Tilarán. Sentido Tilarán Cañas. La condición superficial evidenciaba una agrietamiento leve con segregación en medio de las huellas y una condición de drenaje seca



### 5.3 RUTA 2: PEREZ ZELEDÓN BUENOS AIRES

En esta ruta se seleccionaron los siguientes tramos:

- Tramo 1: Santa Cecilia de San Pedro de Pérez Zeledón. De río Convento 2 km hacia Pérez Zeledón. Estacionamiento 29+714 sentido Buenos Aires Pérez Zeledón. Condición superficial sana. Condición de drenaje seca



- Tramo 2: El Pilar de Cajón de Pérez Zeledón. Contiguo a la Iglesia el Pilar, estacionamiento 18-771. Sentido Buenos Aires Pérez Zeledón. Condición superficial sana. Condición de drenaje seco.



Tramo 3: Palmares de Pérez Zeledón. Frente al banco Nacional. Sentido Pérez Zeledón Buenos Aires. Condición superficial sana, drenajes secos.



#### 5.4 RUTA 10: SIQUIRRES TURRIALBA

En esta ruta se seleccionaron los siguientes tramos:

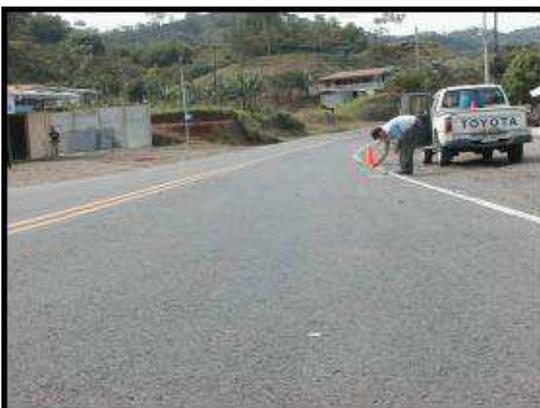
- Tramo 1: Pavones Turrialba. Frente al cementerio Pavones, contiguo a Bar Puerta del Atlántico. Sentido Turrialba-Siquirres. La condición superficial presenta una severa segregación de agregados



Tramo 2: Jabillos Turrialba: Frente a la escuela de Jabillos. Sentido Jabillos Turrialba. Condición superficial sana. No hay agrietamientos ni segregación de agregados.



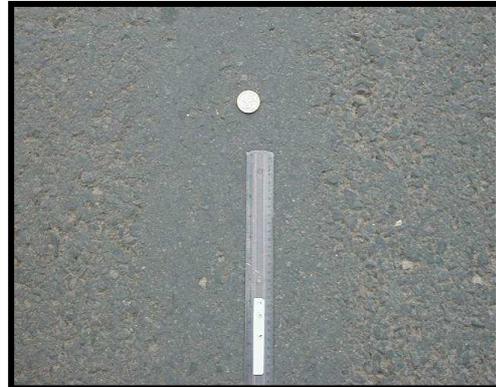
- Tramo 3: Chitaria Turrialba. Frente al Bar Restaurant el Camionero. Sentido Siquirres Turrialba. La condición superficial no presenta agrietamiento.



## 5.5 RUTA 141: SAN CARLOS

En esta ruta se seleccionaron los siguientes tramos:

- Tramo 1: Frente al ebais de Ciudad Quesada. Sentido San Carlos-Florencia. Condición superficial sana.



- Tramo 2: Frente a la escuela Juan Chavez Rojas. Ciudad Quesada. La condición superficial presenta un desprendimiento severo de agregados, hay buena condición de drenaje.



- Tramo 3: Del colegio de San Carlos 200 m hacia Ciudad Quesada. Condición superficial sana, o hay agrietamiento. Buena condición de drenaje.



En la tabla No. 8 se presentan los resultados de coeficiente de resistencia al deslizamiento y macrotextura tomados en las rutas analizadas en los distintos tramos y puntos en estudio.

**Tabla No. 8: Resultados obtenidos de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) macrotextura (H) y Grip number (GN)**

<b>Ubicación</b>	<b>Tamo</b>	<b>Punto</b>	<b>CRD</b>	<b>H</b>	<b>GN</b>
Ruta 141: San Carlos	1	1	0.56	0.49	0.26
		2	0.55	0.63	
		3	0.65	0.78	
	2	1	0.52	0.45	0.35
		2	0.55	0.48	
		3	0.46	0.41	
	3	1	0.57	0.73	0.40
		2	0.55	0.51	
		3	0.51	0.45	
Ruta 2: Perez Zeledón Buenos Aires	1	1	0.51	0.51	0.44
		2	0.47	0.43	
		3	0.43	0.48	
	2	1	0.49	0.51	0.42
		2	0.55	0.51	
		3	0.50	0.40	
	3	1	0.51	0.51	0.41
		2	0.47	0.43	
		3	0.43	0.48	
Ruta 10: Turrialba	1	1	0.54	0.91	0.70
		2	0.64	1.03	
		3	0.59	0.66	
	2	1	0.51	0.87	0.91
		2	0.54	0.65	
		3	0.60	0.70	
	3	1	0.54	0.91	0.78
		2	0.64	1.03	
		3	0.59	0.66	

**Tabla No.8 (cont.): Resultados obtenidos de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) macrotextura (H) y Grip number (GN)**

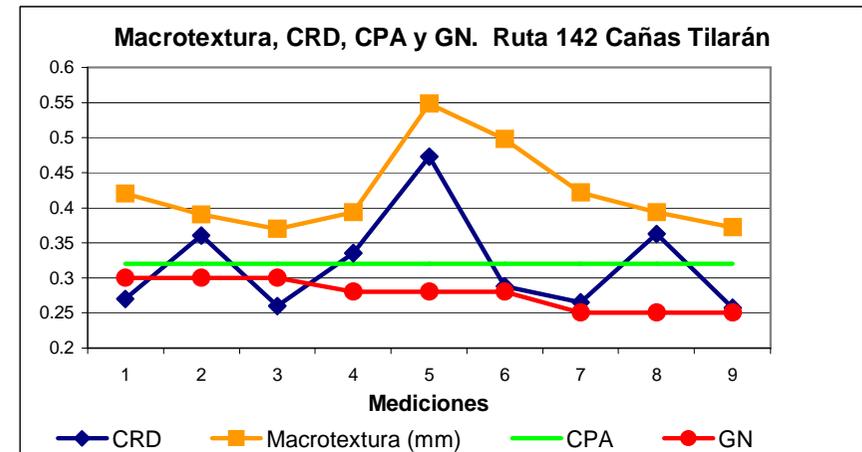
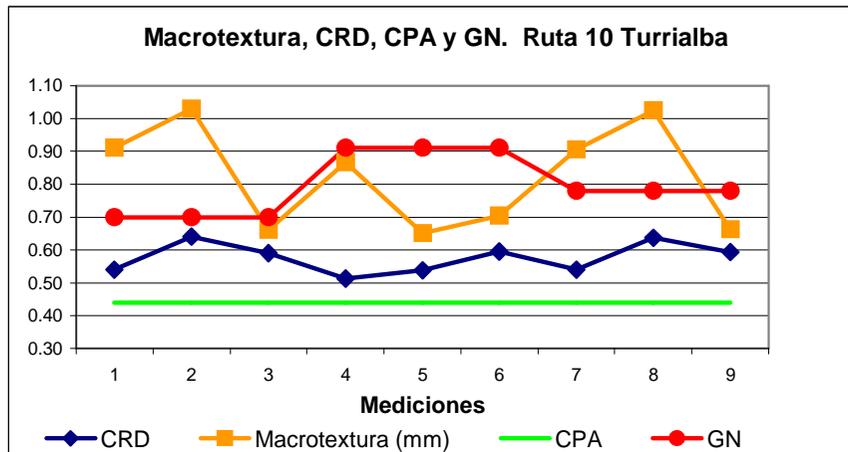
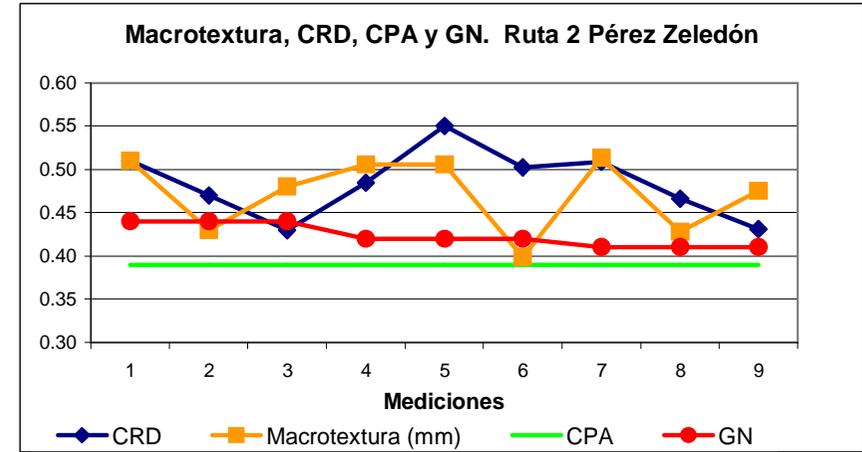
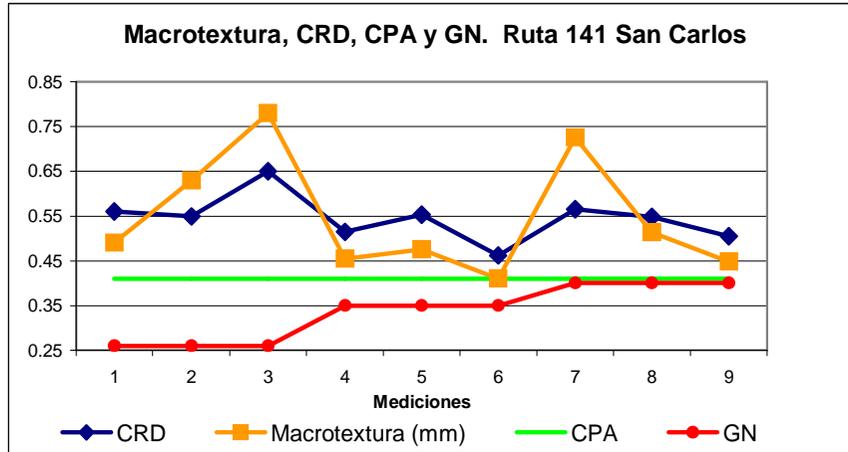
<b>Ubicación</b>	<b>Tamo</b>	<b>Punto</b>	<b>CRD</b>	<b>H</b>	<b>GN</b>
Ruta 142: Tilarán	1	1	0.27	0.42	0.30
		2	0.36	0.39	
		3	0.26	0.37	
	2	1	0.34	0.39	0.28
		2	0.47	0.55	
		3	0.29	0.50	
	3	1	0.27	0.42	0.25
		2	0.36	0.39	
		3	0.26	0.37	

En el gráfico No.2 se presentan para cada ruta las tendencias y relaciones entre las distantes variables.

De estos gráficos se observa que la ruta que con una mayor macrotextura y una mayor microtextura, presenta los valores más altos de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) y el grip number (GN).

En la Tabla No. 9 se presenta la clasificación del pavimento según el Grip number.

**Gráfico No. 2: Relación entre macrotextura (H), Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD), Grip number (GN) y coeficiente de pulido del agregado (CP)**



**Tabla No. 9: Clasificación del pavimento según el Grip Number.**

Coeficiente de fricción Transversal (CFT) medido con SCRIM*	Valor de Grip Number	Condición	Nivel			Tipo de pavimento evaluado	Porcentaje evaluado (%)
			Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentalidad **		
Menor a 0.36	menor a 0.5	Malo	Deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo	12.2
0.36 a 0.45	0.5 a 0.6	Regular	Potencialmente deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y pérdida de textura	11.8
0.45 a 0.60	0.6 a 0.78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura	40.9
Mayor a 0.60	mayor a 0.78	Muy Bueno	Muy poco deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas	35.1

(\*) Valores obtenidos de especificaciones de Países europeos como: Gran Bretaña, Países Bajos y Austria.

(\*\*) Número de accidentes por cada millón de vehículos kilómetros en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos SURF 2004, Toronto, Canadá.

La evaluación se realizó en tramos seleccionados mediante el Índice de Regularidad Superficial (IRI), se consideró como valor máximo del tramo a evaluar de 4, esto para asegurar la medición continua con el GripTester y evitar posibles daños causados al equipo, debido a malos sectores de la carretera. También se procuró evaluar sectores con algún tipo de rehabilitación o mantenimiento para valorar el efecto del material nuevo en la resistencia al deslizamiento.

De acuerdo con lo anterior, los tramos evaluados en las 4 rutas seleccionadas, se clasificarían de la siguiente manera:

**Tabla No. 10: Clasificación del estado del pavimento según el grip number. Rutas seleccionadas**

<b>Ubicación</b>	<b>Clasificación</b>
Ruta 141: San Carlos	Condición mala. Pavimento deslizante, muy peligroso
Ruta 2: Rérez Zeledón	Condición mala. Pavimento deslizante, muy peligroso
Ruta 10: Turrialba	Dos tramos (1, 3) presentan una condición buena. Pavimento poco deslizante con una peligrosidad moderada. El tramo 2 presenta una condición muy buena, con pavimento poco deslizante y seguro.
Ruta 142: Cañas Tilarán	Condición mala. Pavimento deslizante, muy peligroso

## 6 BIBLIOGRAFÍA

1. Achutegui, Francisco. La adherencia neumático –pavimento. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX. Ministerio de Fomento. España
2. Pagola, Marta. La situación en Argentina respecto a la valoración de la adherencia neumático pavimento. Laboratorio vial IMAE. 2001. Argentina
3. Gobierno de España, Ministerio de Fomento. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG 3). Segunda edición. Año 2001.

## Índice General

1	Marco Teórico .....	1
1.1	Resistencia al pulimento de agreados .....	3
2	Especificaciones Internacionales .....	4
2.1	Francia .....	4
2.2	España .....	4
2.3	Inglaterra .....	5
2.4	Reino Unido .....	6
2.5	Colombia .....	7
2.6	Otra Normativa .....	7
3	Esquema experimental .....	8
4	Resultados de laboratorio .....	9
5	Cronograma .....	13
5.1	Cronograma propuesto en agosto 2004; <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
5.2	Cronograma actualizado .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6	Bibliografía .....	2