



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

NOVIEMBRE 2004

PULIMENTO ACELERADO DE AGREGADOS

1 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.

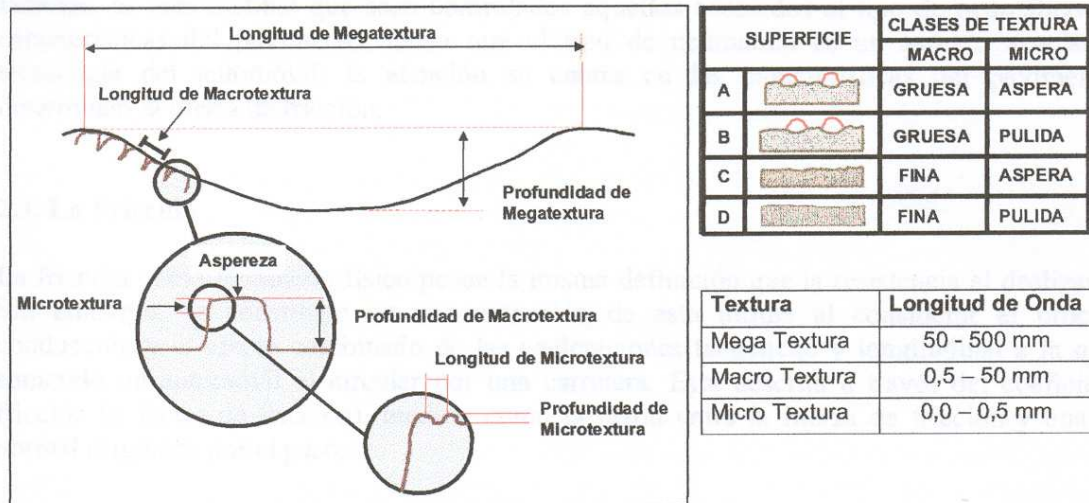


Figura No. 1: Características geométricas de la textura.

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.

1.1 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.

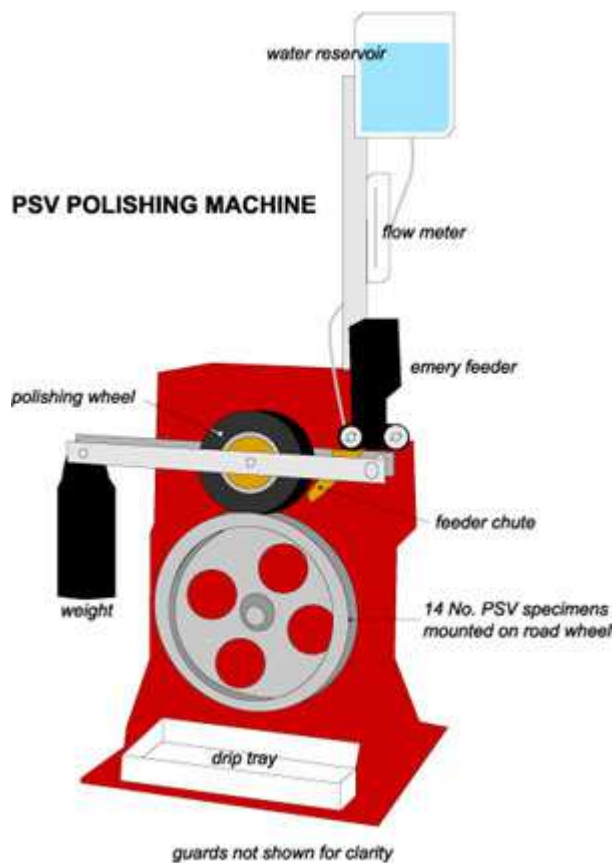


Figura No. 2: Máquina de pulimento acelerado.

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.

POLISHED STONE VALUE TESTER

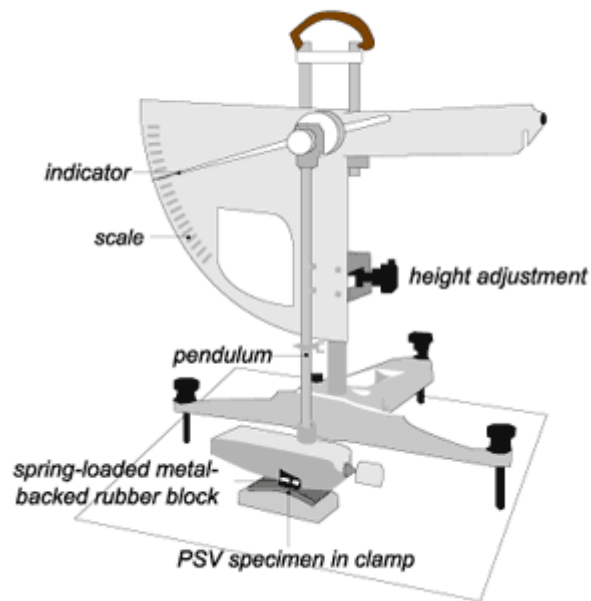


Figura No. 3: Péndulo de fricción

2 ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES

2.1 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.

2.2 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.

Tipo de Carpeta	Altura de arena (mm)	Péndulo de fricción
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

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO*			
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

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO*		
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

2.3 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.

2.4 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

Sitio	Definición	Vehículos comerciales por día	CPA
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

2.5 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

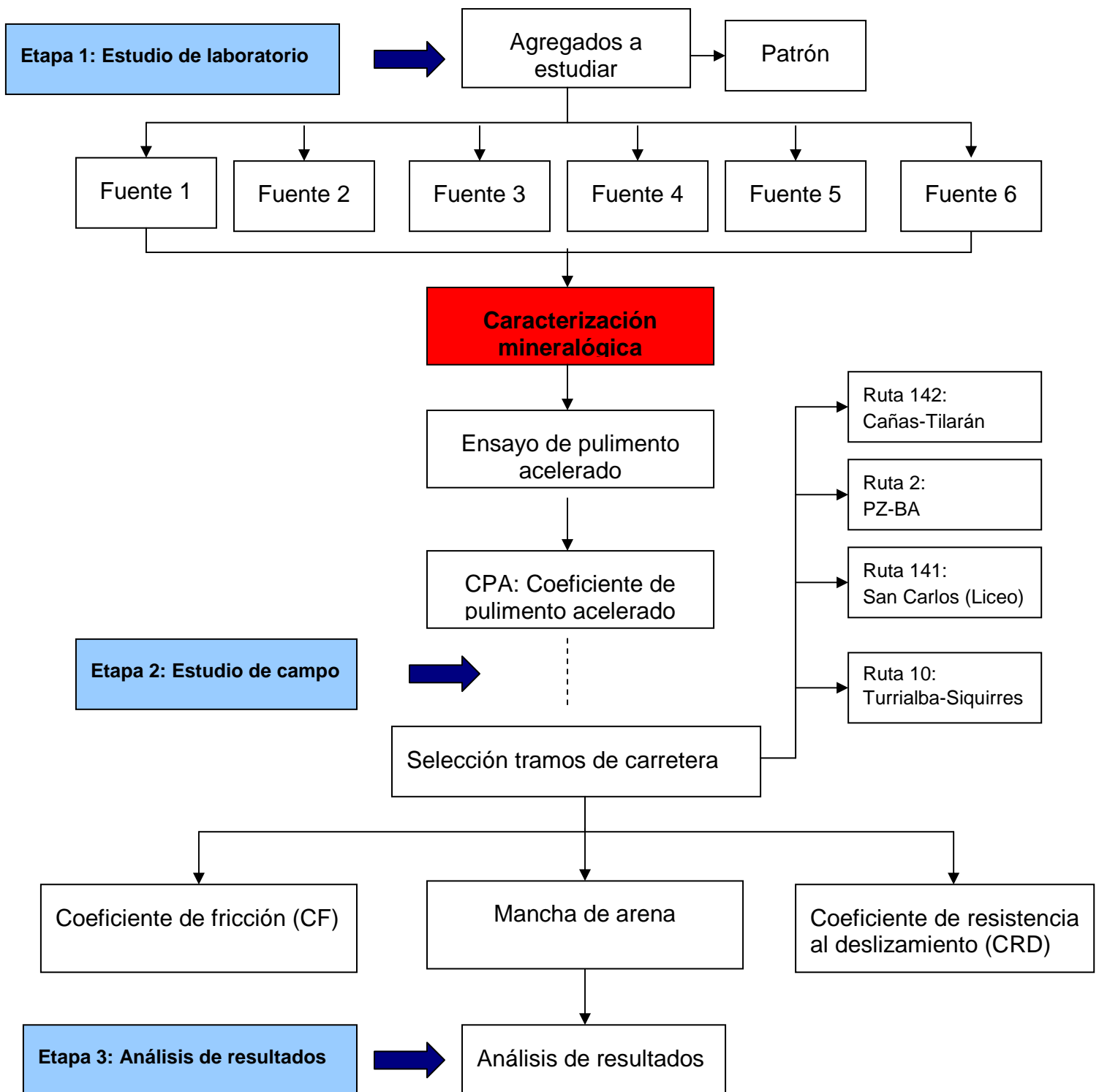
Tipo de tratamiento o mezcla	CPA
Tratamiento superficial simple y doble	≥0.45
Mezcla abierta en frío	≥0.45
Mezcla densa en frío	≥0.45
Mezcla densa en caliente	≥0.45
Mezcla discontinua en caliente	≥0.45
Mezcla drenante	≥0.45
Reciclado de pavimento existente	≥0.45

2.6 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					

3 ESQUEMA EXPERIMENTAL



4 RESULTADOS DE LABORATORIO

En las siguientes tablas se presentan los valores de fricción inicial y de fricción final, obtenidos con el péndulo inglés, para cada una de las fuentes analizadas.

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. Son 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 con la fuente 1. Río Chirripó-Río Toro Amarillo

Datos de fricción inicial					Promedio	Desv. Estd.
0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,56	0,01
0,48	0,47	0,46	0,45	0,47	0,47	0,01
0,64	0,63	0,63	0,60	0,64	0,63	0,02
0,50	0,49	0,50	0,49	0,49	0,49	0,01
					0.56	0.06
0,42	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,01
0,43	0,42	0,41	0,41	0,41	0,42	0,01
0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42	0,00
0,42	0,40	0,41	0,40	0,40	0,41	0,01
					0.41	0.01

Tabla No. 8: Resultados obtenidos con la fuente 2.

Datos de fricción inicial					Promedio	Desv. Estd.
0,59	0,58	0,59	0,58	0,59	0,59	0,01
0,49	0,5	0,5	0,5	0,49	0,50	0,01
0,58	0,58	0,58	0,57	0,58	0,58	0,00
0,56	0,55	0,54	0,55	0,54	0,55	0,01
					0.55	0.04
0,40	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,00
0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,01
0,44	0,43	0,42	0,42	0,42	0,43	0,01
0,45	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,01
					0.42	0.02

Tabla No. 9: Resultados obtenidos con la fuente 3. Río Toro Amarillo

Datos de fricción inicial					Promedio	Desv. Estd.
0,67	0,66	0,67	0,67	0,66	0,67	0,01
0,62	0,61	0,62	0,61	0,59	0,61	0,01
0,67	0,66	0,65	0,65	0,65	0,66	0,01
0,6	0,6	0,59	0,58	0,6	0,59	0,01
					0.63	0.03
0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,01
0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,00
0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,00
0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,00
					0.44	0.02

Tabla No. 10: Resultados obtenidos con la fuente 4. Río Balsa

Datos de fricción inicial					Promedio	Desv. Estd.
0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,56	0,01
0,59	0,6	0,6	0,6	0,59	0,60	0,01
0,54	0,51	0,52	0,52	0,52	0,52	0,01
0,55	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,01
					0.56	0.03
0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,00
0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,00
0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,00
0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,00
					0.41	0.01

Tabla No. 11: Resultados obtenidos con la fuente 5. Río General

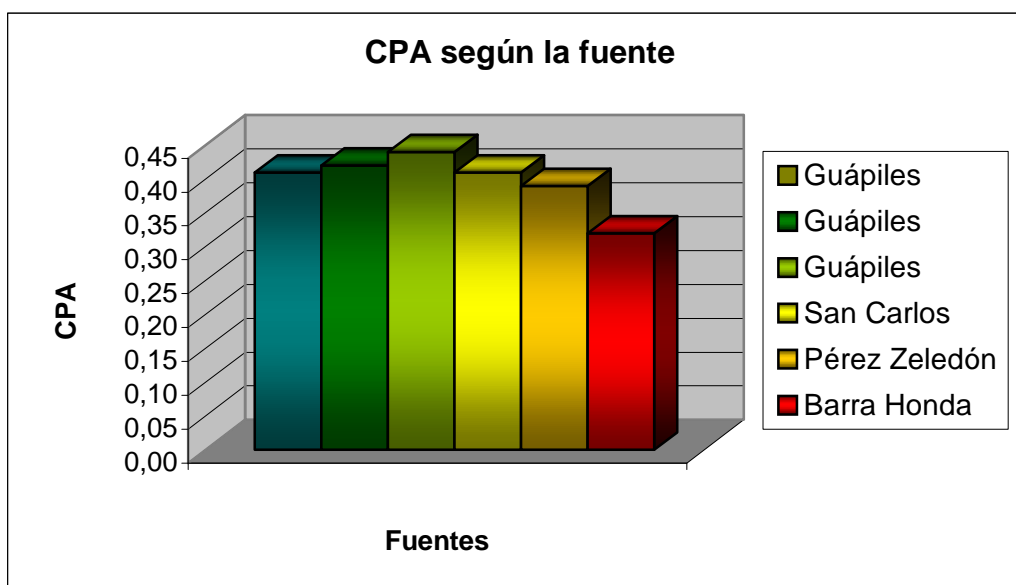
Datos de fricción inicial					Promedio	Desv. Estd.
0,48	0,46	0,48	0,46	0,45	0,47	0,01
0,55	0,54	0,55	0,54	0,56	0,55	0,01
0,5	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,01
0,5	0,52	0,51	0,51	0,53	0,51	0,01
					0.50	0.03
0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,00
0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,01
0,38	0,41	0,42	0,39	0,39	0,40	0,02
0,40	0,39	0,39	0,38	0,38	0,39	0,01
					0.39	0.01

Tabla No. 12: Resultados obtenidos con la fuente 6. Formación Barra Honda

Datos de fricción inicial					Promedio	Desv. Estd.
0,48	0,48	0,46	0,45	0,45	0,46	0,02
0,51	0,51	0,50	0,49	0,49	0,50	0,01
0,48	0,48	0,48	0,46	0,46	0,47	0,01
0,53	0,52	0,51	0,51	0,51	0,52	0,01
					0.49	0.02
0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,32	0,00
0,32	0,31	0,32	0,31	0,30	0,31	0,01
0,32	0,33	0,32	0,33	0,32	0,32	0,01
0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,00
					0.32	0.01

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

Gráfico No. 1: CPA vrs fuente de agregado



5 CRONOGRAMA

5.1 CRONOGRAMA PROPUESTO EN AGOSTO 2004

Actividades	2004							
	M	J	J	A	S	O	N	D
Análisis petrográfico								
Preparación de probetas de ensayo								
Ensayo de pulimento								
Selección de tramos de campo								
Medición coeficiente fricción								
Medición coeficiente de resistencia al deslizamiento								
Ensayo mancha de arena								
Análisis de resultados								

5.2 CRONOGRAMA ACTUALIZADO

Actividades	2005					
	E	F	M	A	M	J
Análisis petrográfico						
Medición coeficiente fricción						
Análisis de resultados						
Preparación de informe						

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	12
5.1	Cronograma propuesto en agosto 2004	12
5.2	Cronograma actualizado	12
6	Bibliografía	13