

**I CONGRESO IBERO – AMERICANO DE SEGURIDAD VIAL  
San José, Costa Rica  
28 al 30 de mayo, 2008.**

**Título de la Ponencia:**

**EL INDICE SEGURIDAD – CONFORT EN LAS CARRETERAS. RESULTADOS Y  
EXPERIENCIAS EN CUBA.**

Ing. Argelio Ricardo Moles Cabrera.  
Director de Ofimática e Inversionista de la Empresa Servicios de Información del Transporte, SITRANS,  
Ministerio del Transporte.  
Teléfono: 860 0101  
moles@sitrans.transnet.cu

Prof. Dr. Ing. Eduardo Eutiquio Díaz García, Msc.  
Departamento de ingeniería vial, CUJAE.  
Presidente de la Sociedad de Ingeniería Civil, Ciudad Habana, UNAICC.  
Telefono: 266 3309.  
eguas@civil.cujae.edu.cu

## **RESUMEN**

Desde hace décadas las Administraciones de las carreteras necesitan auscultar y gestionar los datos de los estudios que realizan para fomentar los planes de conservación vial y atender en la medida de sus posibilidades y recursos a los tramos de la red con daños inoportunos para la seguridad y comodidad de los automovilistas.

Para la auscultación de las carreteras se aplican equipos diversos, de primera o última generación y no existe una receta única de cual o cuales resuelven de mejor manera el problema, ya que esto estará dado y será decidido por el aspecto económico de la Administración Vial.

El Índice Seguridad Confort toma en cuenta los parámetros fundamentales que son generados por el automovilista o influyen directamente sobre la “potencialidad de accidentes del tránsito” que pueden ocurrir tales como:

1. La velocidad de Circulación.
2. Las características superficiales del pavimento en cuanto a: el coeficiente de resistencia al deslizamiento, la altura de la macrotextura y la regularidad superficial del pavimento.

En esta ponencia se detallan las características del indicador global “El Índice Seguridad – Confort” que se aplica en la Red Principal de Carreteras de la República de Cuba desde hace más de diez años y cuyos resultados y experiencias se comentan en este trabajo además de un ejemplo práctico resuelto.

## 1. INTRODUCCIÓN

Muchos estudios han demostrado que el estado superficial de una carretera es vital para la eficiencia, seguridad y comodidad del transporte. Uno de los aspectos de la misma es el estado de la superficie de contacto neumático-pavimento, la cual se nombra capa de rodadura, puesto que de las condiciones de esta depende la valoración y el juicio que haga el automovilista del conjunto de la vía. Es en esta parte de la estructura del pavimento donde aparece en la mayor brevedad o al paso del tiempo; según las características de los materiales, diseños de mezclas, tecnología constructiva, control de calidad, agresividad del medio ambiente, peso y número de repeticiones de las cargas pesadas, los problemas propios que motivan su falla con el tiempo y las incomodidades del usuario durante el viaje, además del deterioro acelerado de los vehículos y el incremento en los costos del transporte.

La seguridad y el Confort de las carreteras atienden los aspectos específicos que la determinan en cada caso y en los que a grandes rasgos se pueden citar en cada caso:

Sobre la Seguridad (safety):

1. Las características geométricas: Trazado en planta perfil, su coordinación y el ancho de la sección transversal.
2. El número, Tipo, control de los accesos por kilómetros, el emplazamiento de las intersecciones así como la sencillez y la claridad de sus soluciones.
3. La adecuada señalización vertical y horizontal, así como un sistema de iluminación artificial adecuado en los cruces, áreas de las isletas y bordes de contén cuando sea necesario.
4. Las zonas de protección adecuadas; para efectuar los diferentes movimientos en las intersecciones que tome en cuenta los diferentes tipos de usuarios incluyendo los ciclistas y peatones.

5. las adecuadas características superficiales del pavimento según las intensidades, tipo de tránsito y la velocidad de diseño.

Sobre la Comodidad (Confort):

1. Resultan de interés y de mayor grado de prioridad las citas 1,2 y 5 descritas con anterioridad en la seguridad.
2. Una atención especial debe ser dedicada a las características superficiales del pavimento en cuanto a la degradación que le ocasionan a este las cargas y las intensidades de tránsito.
3. En el catalogo de desperfectos de los pavimentos flexibles de carreteras ; según la propuesta de Gil C y Serrano L , (3) se exponen las diferentes familias de deterioros, incluso las que afectan y están asociadas con la integridad estructural del pavimento que no resultan de interés en este trabajo.
4. En el referido catálogo queda claro que los desperfectos que más afectan a la comodidad y la funcionabilidad del tránsito, por su influencia en la disminución en la velocidad de circulación son los que están asociados con las características superficiales del pavimento, tales como:

Las Administraciones de Carreteras necesitan de indicadores que le permitan conocer las condiciones de las superficies de pavimentos. Los Indicadores Globales utilizados tienen la gran preeminencia de incluir en su criterio de evaluación y diagnóstico varios parámetros que incluyen la seguridad y el confort.

## **2. EL ÍNDICE DE SEGURIDAD – CONFORT EN CUBA.**

En Cuba no existía ningún procedimiento para evaluar el indicador global, ISC, es en el año 1999 que se diseña una expresión para la determinación de este indicador teniendo en cuenta los equipos desarrollados para evaluar la seguridad y el confort de tramos de carreteras de una manera sustentable para la economía nacional, (2). En la

actualidad no ha existido la posibilidad de extrapolar el procedimiento francés (5) y aplicarlo en Cuba, debido a la limitante fundamental de no contar con equipos de alto rendimientos en los cuales se soporta ese modelo. Por lo tanto, los esfuerzos que se realizaron en ese sentido fueron necesariamente acorde a las condiciones económicas actuales y las posibilidades de aplicación de equipos de medición y procedimientos nacionales.

Debido a la carencia de equipos de alto rendimiento y la necesidad de conocer en la Red de Carreteras de interés Nacional, sobre todo en los tramos de mayor importancia, la situación de las características superficiales del pavimento se desarrollaron equipos de bajo costo en el departamento de Ingeniería vial de la ISPJAE en Ciudad de la Habana, Cuba.

Con los equipos de medición desarrollados, se concibió un Índice global para evaluar la seguridad y el confort de tramos de carreteras en Cuba (1), teniendo en cuenta las características de la velocidad de circulación de la corriente de tránsito y de la señalización vial; así como los principales factores influyentes del pavimento: coeficiente de fricción, textura y la regularidad superficial, resolviendo un polinomio lineal de tres términos de la forma:

$$\text{ISC} = 0.45 \text{ E} + 0.40 \text{ D} + 0.15 \text{ G}$$

Donde:

E: Resulta la velocidad de cálculo, determinada con el Percentil 85 en un estudio de velocidad instantánea, V en Km. /h.

D: Atiende las características superficiales del pavimento, mediante los resultados del coeficiente de resistencia al deslizamiento; CFD, la altura promedio de la macrotextura HA en mm y la inspección visual detallada de la superficie, t.

G: Considera la regularidad superficial del pavimento, lisura, medida con la regla rígida de 3 metros, DV en mm.

La calificación del resultado ISC, para un tramo de carretera inspeccionado, se da en una escala de 2 a 10 puntos en las categorías de: CRITICO, MAL, REGULAR, BIEN o EXCELENTE según la Velocidad de cálculo, tal como se aprecia a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla. Calificación de la Seguridad – Confort de la carretera de acuerdo a la velocidad de cálculo en Km. /h.**

Velocidad Km./h	Calificación de la Seguridad – Confort, ISC				
	Crítico	Mal	Regular	Bien	Excelente
90	2.90	2.91 - 4.00	4.01 - 4.83	4.84 - 6.80	6.81 - 7.30
85	3.35	3.36 - 4.45	4.46 - 5.28	5.29 - 6.75	6.76 - 7.75
80	3.80	3.81 - 5.10	5.11 - 5.84	5.85 - 7.20	7.21 - 8.20
75	4.25	4.26 - 5.35	5.36 - 6.04	6.05 - 7.65	7.66 – 8.65
70	4.70	4.71 - 5.80	5.81 - 6.49	6.50 - 8.10	8.11 - 9.10
65	5.15	5.16 - 6.25	6.26 - 6.94	6.95 - 8.55	8.56 - 10.00

En el modelo Cubano ISC, los valores de E y D toman en cuenta la velocidad de circulación y las características superficiales del pavimento que tienen mayor influencia en la seguridad vial, esto es: el coeficiente de resistencia al deslizamiento y la textura superficial; reservándose el valor de G para caracterizar a la comodidad de la circulación mediante la medición de la regularidad superficial del pavimento, DV , o sea la lisura, la que en función de su resultado puede provocar la afectación también de la seguridad vial así como la funcionalidad de la carretera, la velocidad de circulación

de los automovilistas y por tanto afectar en su comodidad, además de incidir en los costos de operación y también de forma negativa en el mantenimiento y reparación de los vehículos .

En el modelo cubano ISC el valor de G se determina aplicando:

$$G = a \cdot DV \text{ (mm)} + b$$

Siendo:

DV (mm): La desviación vertical promedio en milímetros (Lisura), medida bajo la regla rígida de 3 metros.

a y b: Coeficientes de determinación para los diferentes intervalos de velocidad considerados en Km. /h.

### **3. RESULTADOS Y EXPERIENCIAS EN UN TRAMO DE CARRETERA EN EXPLOTACIÓN DE INTERÉS NACIONAL.**

#### **3.1 - Mediciones de las Características Superficiales del Pavimento**

Las características superficiales del pavimento (CSP) influyen en la seguridad vial teniendo en cuenta que durante la circulación se deberá lograr siempre el mejor contacto entre el neumático y el pavimento.

En esta Inspección Técnica (4) se utilizaron las mediciones de las CSP siempre en las condiciones de tránsito abierto y por elementales razones de seguridad se realizaron los trabajos en el carril extremo derecho de ambos sentidos de circulación, sobre la huella extrema derecha.

Se realizaron mediciones de:

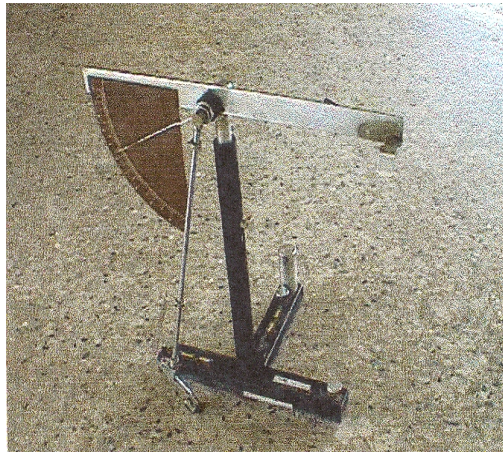
- ✓ Longitud de la mancha de arena ( $L_a$  en cm.), a través del marco de Textura

### **Marco de Textura**



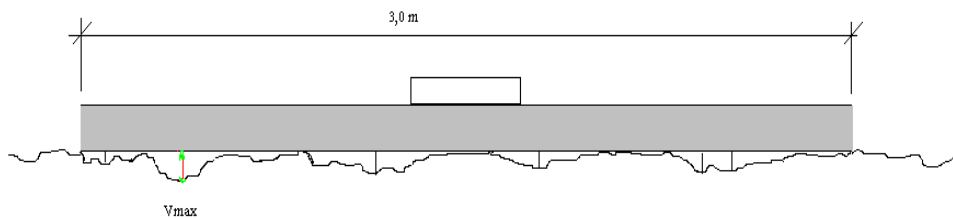
- ✓ Coeficiente de Fricción Diva (CFD), a través del péndulo portátil, DIVA.

### **Péndulo Portátil DIVA**



- ✓ La regularidad superficial (DV en mm), con la regla rígida de 3 y de 1.5 metros.

### **Regla Rígida**



- ✓ La inspección visual detallada de la textura superficial, t.

Las características superficiales del pavimento en cuanto a los valores de La en cm, CFD y DV en mm se mantienen en la práctica sensiblemente invariables en el tramo de la carretera inspeccionada y aparecen a continuación en las siguientes Tablas.

**Resultados de las Mediciones de La (cm.) y CFD.**

**Sentido: Al Tránsito.**

Km.	Estación / Resultado de la Medición					
	0 m		+ 300 m		+ 700 m	
	La (cm.)	CFD	La (cm.)	CFD	La (cm.)	CFD
0	-	-	52	0.28	60	0.28
1	50	0.28	35	0.29	44	0.28
2	66	0.26	66	0.26	66	0.26
3	66	0.26	66	0.26	66	0.26
4	66	0.26	66	0.26	66	0.26
5	66	0.26	66	0.26	66	0.26
6	66	0.26	66	0.26	66	0.26
7	66	0.26	66	0.26	66	0.26
8	65	0.26	60	0.27	64	0.27
9	66	0.26	62	0.27	60	0.27
10	63	0.26	40	0.28	-	-

**Sentido: Inverso al Tránsito.**

Km.	Estación / Resultado de la Medición					
	0 m		+ 300 m		+ 700 m	
	La (cm.)	CFD	La (cm.)	CFD	La (cm.)	CFD
0	-	-	49	0.28	56	0.28
1	59	0.28	56	0.28	56	0.28
2	66	0.26	66	0.26	66	0.26
3	66	0.26	66	0.26	66	0.26
4	66	0.26	66	0.26	66	0.26
5	66	0.26	66	0.26	66	0.26
6	66	0.26	66	0.26	66	0.26
7	66	0.26	66	0.26	66	0.26
8	66	0.26	59	0.27	64	0.27
9	65	0.26	61	0.27	66	0.27
10	66	0.26	43	0.28	-	-

**Regularidad superficial del pavimento (lisura) promedio DV (mm), medida con la Regla Rígida de 3 metros.**

Sentido: Al Tránsito							Sentido: Inverso al tránsito					
Xxxx	1	2	3	4	5	Prom.	1	2	3	4	5	Prom
Km 0	2.0	1.0	2.5	3.0	3.5	2.4	2.5	3.0	3.5	3.0	2.5	2.9
+300	2.0	3.0	3.0	2.5	3.0	2.7	3.0	3.0	4.0	2.5	2.0	2.3
+700	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.2
Km 1	1.5	2.5	3.5	3.0	1.5	2.4	2.5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.5
+300	3.5	3.0	2.5	2.5	2.0	2.7	3.5	4.0	2.0	2.0	2.5	2.8
+700	4.5	2.0	3.0	2.0	3.0	2.9	4.5	2.5	2.0	2.0	3.5	2.9
Km 2	2.5	1.5	5.0	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	2.5	2.0	2.6
+300	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	1.8	2.5	2.0	2.0	3.0	2.5	2.4
+700	2.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.1	2.0	13.0	4.0	2.0	3.0	4.8
Km 3	0.5	2.0	0.5	1.0	1.5	1.1	1.0	0.5	1.0	2.0	2.0	1.3
+300	1.0	2.0	2.5	2.0	1.0	1.7	2.0	2.0	1.5	1.5	3.0	2.0
+700	2.5	2.0	1.0	2.0	2.5	2.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.2
Km 4	2.0	1.0	2.5	1.0	1.0	1.5	3.0	4.0	2.0	3.5	4.0	3.3
+300	2.5	1.0	1.0	2.0	2.0	1.7	3.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.4
+700	1.0	1.0	2.0	4.0	1.0	1.8	2.5	3.0	3.0	2.0	2.5	2.6
Km 5	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.5	0.5	1.0	1.0	1.0
+300	2.5	3.0	2.0	2.5	2.0	2.4	3.0	2.5	1.0	2.5	2.0	2.2
+700	3.5	6.0	2.0	6.0	3.0	4.1	2.0	2.5	2.5	3.0	1.0	2.2

Km 6	4.5	4.0	1.0	5.0	1.0	3.1	3.5	1.5	2.5	6.0	10.0	4.7	
+300	5.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.9	2.5	2.5	4.0	3.0	3.0	3.0	
+700	2.5	2.0	2.5	1.5	3.5	2.4	2.5	2.0	1.5	2.0	3.0	2.2	
Km 7	3.5	3.5	2.0	0.5	1.0	2.1	2.5	2.0	2.0	3.0	2.5	2.4	
+300	3.5	4.0	4.0	4.0	3.0	3.7	3.0	3.0	2.5	3.0	4.0	3.1	
+700	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.4	1.5	2.0	6.0	7.0	5.5	4.4	
Km 8	1.5	4.0	2.5	2.0	6.0	3.2	1.0	6.0	6.0	1.0	1.0	3.0	
+300	4.0	4.5	2.0	3.5	3.0	3.4	3.0	3.0	2.5	2.0	4.5	3.0	
+700	1.5	2.5	2.0	3.5	1.0	2.1	1.0	2.0	2.5	3.0	2.0	2.1	
Km 9	5.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.8	1.0	0.5	1.0	2.0	1.0	1.1	
+300	8.5	4.5	4.0	7.5	8.0	6.5	3.0	3.0	4.0	4.5	4.0	3.7	
+700	8.0	14.0	7.5	9.0	6.0	8.9	6.0	5.5	4.5	4.0	4.5	4.9	
Km 10	5.0	6.5	6.0	3.5	5.5	5.3	6.5	8.0	6.5	5.0	3.5	5.9	
+300	4.0	2.5	3.0	3.0	2.5	3.0	14.0	9.5	8.0	7.0	10.5	9.8	
+600	4.0	2.5	3.0	1.5	9.0	4.0	1.0	0.5	1.0	3.0	6.0	2.3	

Resultados Promedio de las características superficiales del pavimento en todo el tramo de carretera inspeccionado, en ambos sentidos de circulación.

**Sentido: Al Tránsito.**

Km.	REG	La (cm)	HA (mm)	CFD	DV (mm)	t
Todos	Vprom	61.68	0.20	0.27	3.82	3
	Desv.std.	7.758	-	0.008	1.41	-
	Sx 95%	31	-	31	31	31
	n	2.787	-	0.002	0.506	-

**Sentido: Inverso al Tránsito.**

Km.	REG	La (cm)	HA (mm)	CFD	DV (mm)	t
Todos	Vprom	63.12	0.20	0.27	3.80	3
	Desv.std.	4.84	-	0.008	1.40	-
	Sx 95%	30	-	30	30	30
	n	1.767	-	0.002	0.511	-

REG: Resultados estadísticos globales.

L<sub>a</sub> (cm): Longitud promedio de la mancha de arena, medida con el Marco Portátil de Textura

HA (mm): Altura promedio de la macro textura, calculada a partir del resultado de L<sub>a</sub> (cm)

CFD: Coeficiente de Fricción Diva promedio, medido con el Péndulo Portátil Diva.

DV (mm) Regularidad superficial del pavimento (lisura) promedio, medida con la Regla Rígida de 3 metros.

t: Resultado promedio de la inspección visual detallada de la textura superficial del pavimento

### **3.2 – Determinación del Índice de Seguridad – Confort, ISC.**

El Índice Seguridad – Confort (ISC) desarrollado para las condiciones de Cuba, permite la evaluación global de esos dos atributos en un tramo de carretera rural.

Como se explica en el capítulo 2, El ISC en Cuba se calcula resolviendo un polinomio lineal de 3 términos de la forma:

$$ISC = 0.45 E + 0.40 D + 0.15 G$$

Donde:

E: Toma en cuenta la velocidad de circulación en Km./h.

D: Considera los resultados medidos de las características superficiales del pavimento en cuanto al CFD, HA (en mm) y el tipo de textura superficial, t.

G: Considera los resultados medidos de la irregularidad superficial del pavimento DV (en mm) o sea, la lisura.

Según los resultados de la experiencia cubana, el procedimiento recomienda calificar el ISC de la siguiente manera, teniendo en cuenta que su escala de evaluación varía desde 2.00 hasta 10.00 puntos según la velocidad de cálculo (Ver capítulo 2).

Los resultados del ISC se calcularon para todo el tramo de la carretera en ambos sentidos de circulación, considerando las velocidad de señalización límite y de operación de 80 Km. /h y la velocidad promedio global de 76 Km. /h. Se utilizan para el cálculo del ISC los valores promedio medidos de las características superficiales del

pavimento. Los resultados de los Coeficientes E, D y G para calcular el ISC en el tramo de carretera inspeccionado aparecen a continuación:

Cálculos y Calificación del ISC, considerando los valores promedios de las mediciones de las características superficiales del pavimento en ambos sentidos de circulación.

- Velocidad de Operación = 80 Km. /h.
- CFD = 0.27.
- La = 62.40 cm.
- HA = 0.20 mm.
- DV = 3.81 mm.
- t = 3
- IRI Máximo esperado = 2.67 m/Km.

$$E = -0.20V+22.00$$

$$E = -0.20 (80)+22.00$$

$$E = 6.00$$

$$D = 0.5L+0.3c+0.2t \quad (I)$$

$$L = 0.122La+10.049$$

$$L = 0.122(62.40)+10.049$$

$$L = 2.44$$

$$c = 60CFD-13.60$$

$$c = 60(0.27)-13.60$$

$$c = 2.60$$

Sustituyendo valores para D en (I), resulta:

$$D = 0.5 (2.44) + 0.3 (2.60) + 0.2 (3)$$

$$D = 2.60$$

$$G = -1.778DV + 23.335$$

$$G = -1.778(3.81) + 15.334$$

$$G = 16.56 \text{ resulta mayor que } 10, \text{ por tanto } G = 10.00$$

Sustituyendo los valores para ISC, resulta:

$$ISC = 0.45E + 0.40D + 0.15G$$

$$ISC = 0.45 (6.00) + 0.40 (2.60) + 0.15 (10.00)$$

$$ISC = 5.24$$

**Calificación: REGULAR.**

#### **4. - Conclusiones**

1. Por lo general, los resultados de las mediciones de las características superficiales del pavimento en el tramo de inspección no cumplen con los requisitos recomendados por la experiencia internacional para garantizar la seguridad vial.
2. El Índice de Seguridad Confort, ISC, es un indicador global y califica de REGULAR en el tramo carretera inspeccionada donde la estructura del pavimento no manifiesta un alto grado de deterioro por deformaciones pronunciadas, fallos profundos ni baches.
3. Los resultados de esta Inspección Técnica contribuyen a destacar algunos elementos de la carretera que deben ser tenidos en cuenta y atendidos en los próximos programas de conservación, como una de las formas para incrementar y perfeccionar la seguridad vial y disminuir los fatales accidentes del tránsito.
4. En la actualidad los recursos económicos con que cuentan los Centros Provinciales de Vialidad justifica el uso de equipos de bajo costo para las mediciones del Índice de Seguridad Confort, ISC.

## **5. – Bibliografía**

1. Díaz G.E.E. (2002) El Índice Seguridad-Confort en carreteras; Experiencias de su aplicación en Cuba, ISPJAE; Ciudad de la Habana.
2. Díaz G.E.E. (1999) Equipos y procedimientos sustentables para la inspección técnica de las carreteras aplicando criterios de seguridad y comodidad del tránsito. Tesis Doctoral, ISPJAE, Ciudad de la Habana.
3. Gil C y Serrano L. E. (2002) Catálogo de Deterioros de los Pavimentos Flexibles. Centro nacional de Vialidad. Ministerio del transporte, ciudad de la Habana.
4. *Inspección Técnica a un tramo de carretera en explotación, Centro Provincial de Vialidad, La Habana, Cuba.*
5. Investigación para desarrollar un Índice Seguridad - Confort en las Carreteras. Laboratorio Regional de Lyon, (1988), LCPC. Francia.

## **Otras Bibliografías Consultadas**

- # Aguerrebere Salido R, Cepeda Narváez F. (1991) Estado superficial y costos de Operación en carreteras. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No 30. Querétaro, Qro.
- # Agüero, Z.S, (2007) Medición del Índice de regularidad Internacional (IRI) en pavimentos flexibles, XIV CILA, Cuba.
- # Diagnóstico de las características superficiales de los pavimento. IMT, Secretaría de Comunicaciones y transportes, (1998) México.
- # Frito N y Díaz G. E. E. (2006).Evaluación del IRI en las carreteras. Trabajo de Diploma, ISPJAE; Ciudad de la Habana.
- # Pavements Surface Characteristics V International Symposium “ Sorf (2004 ) PIARC, Toronto, Canada.
- # Sánchez W y Tondike Machado. (1996-2000).Requisitos y Valores de la regularidad superficial del pavimento, las carreteras cubanas medidas con la regla rígida de 3 metros. Resultados del tema 0.20.10.11” Accidentes del Tránsito” A.C.C. Ciudad de la Habana.
- # Trabajos del Comité C.I del PIARC Presentados en el XXII Congreso Mundial de Carreteras. (2003). Durban, África del Sur, Noviembre.