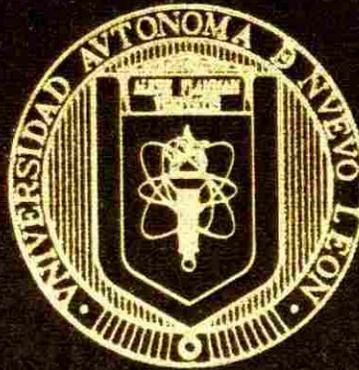


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DEL
INDICE DE FRICCION INTERNACIONAL (IFI) EN LAS
CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS**

POR
ING. PABLO OMAR SANDOVAL DE LEON

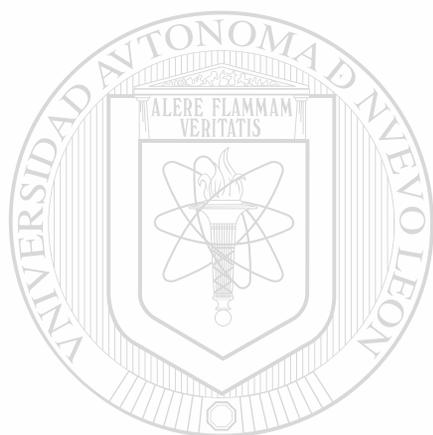
Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería de Tránsito

DICIEMBRE DE 2000

TM
TE250
.S2
2000
c.1

2000

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DEL
INDICE DE FRICCION INTERANUAL (IFI) EN LAS
CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS

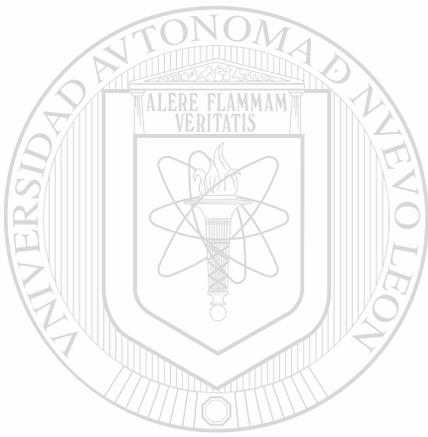


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UANL

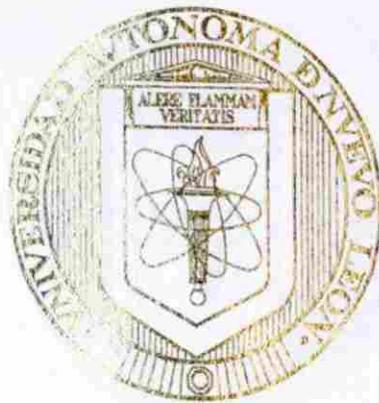
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CONDICIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN
INTEGRACIONAL (IFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN
CARRETERAS

UANL

Por:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ING. PABLO OMAR SANDOVAL DE LEÓN

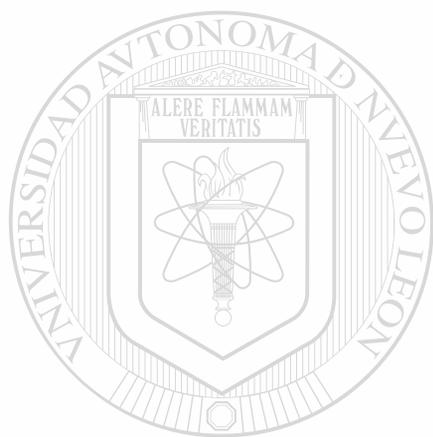
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con especialidad en
Ingeniería de Tránsito

Diciembre de 2009



TM
TE230
.52
2000



UANL

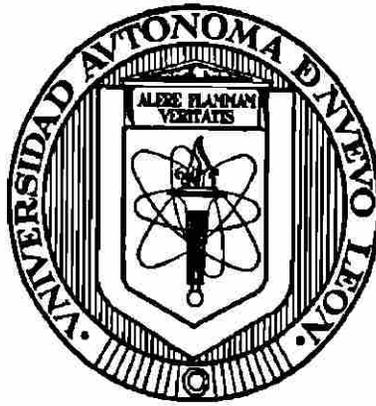
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN
INTERNACIONAL (IFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN
CARRETERAS**

Por:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ING. PABLO OMAR SANDOVAL DE LEÓN

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con especialidad en
Ingeniería de Tránsito**

Diciembre de 2000



COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

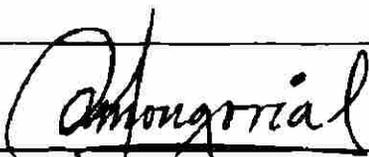
Tesista: PABLO OMAR SANDOVAL DE LEON

Tema de la tesis :
CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN
INTERNACIONAL (IFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN
CARRETERAS.

Este documento certifica la corrección : DEFINITIVA
del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico,
metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:
NINGUNA

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Nombre y firma de quien corrigió : 
Arq. Ramón Longoria Ramírez

El Sub Director de Posgrado : 
Dr. Ricardo González Alcorta

Ciudad Universitaria, a 13 de Noviembre del 2000

DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA

Sub-Director de Estudios de Posgrado
de la Facultad de Ingeniería Civil, U.A.N.L.
PRESENTE.-

Por este medio me permito comunicarle a usted, que el ING. PABLO OMAR SANDOVAL DE LEÓN, Pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Tránsito, ha concluido con su trabajo de tesis titulado: *"CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS"*, por lo que no hay ningún inconveniente para atender la solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano la atención que sirva brindar a la presente, me es grato despedirme de usted.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ATENTAMENTE
Cd. Universitaria, Noviembre 21 del 2000

M.C. RAFAEL GALLEGOS LOPEZ
DIRECTOR DE TESIS

M.E.C. FRANCISCO GAMEZ TREVIÑO.
Presidente del Comité de Maestría de la
Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
Presente.-

A través de este conducto me permito informarle que después de haber analizado y evaluado el Proyecto de Tesis " Consideraciones sobre la Aplicación del Índice de Fricción Internacional (IFI) en las Condiciones de Seguridad en Carreteras", presentado por el Ing. Pablo Omar Sandoval de León como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Tránsito, considero que aún y cuando no existe una limitante en lo que corresponde a dedicatoria y agradecimientos es conveniente que el Ing. Sandoval de León resuma y mantenga la jerarquía y seriedad en las expresiones utilizadas en este aspecto.

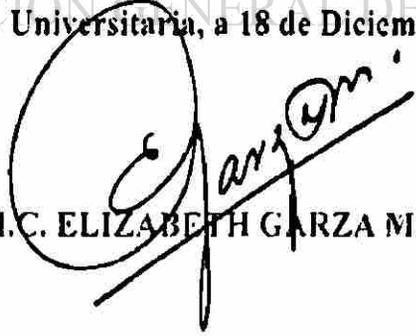
Por lo anterior considero que no existe inconveniente en la Aprobación de esta tesis, siempre y cuando se modifique lo expresado anteriormente.

Sin otro asunto por el momento, quedo de Usted para cualquier observación o comentario al respecto.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ATENTAMENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cd. Universitaria, a 18 de Diciembre del 2000.


M.C. ELIZABETH GARZA MARTINEZ

C.c.p. Dr. Ricardo González Alcorta. Sub-Director de la División de Estudios de Posgrado de la F.I.C.

Monterrey, N.L. a 20 de Noviembre de 2000

DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA

Subdirector de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma de Nuevo León

Por medio de la presente y de la manera más atenta me dirijo a Usted, para solicitar la tramitación correspondiente para sustentar mi examen de grado correspondiente a la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería de Tránsito, con la presentación del trabajo de tesis titulado: *"CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS"*. Lo anterior de acuerdo con el protocolo de exámenes profesionales de nuestra institución.

Sin más por el momento y, esperando que mi solicitud sea aprobada, aprovecho para enviarle un cordial saludo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Atentamente



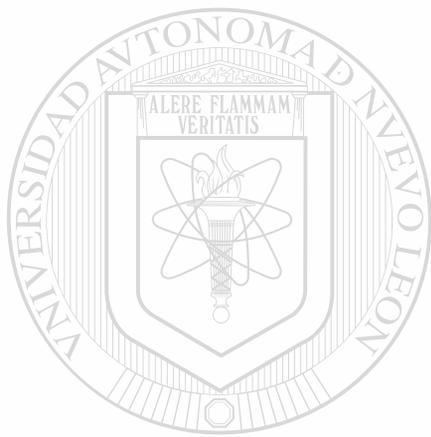
Ing. Pablo Omar Sandoval De León

Tesista

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL
ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)
EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS**



APROBACIÓN DE TESIS:

UANL

M.C. Rafael Gallegos López
*Coordinador Técnico del Depto. Estudios de
Tránsito del I.I.C.*
Director de Tesis

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

M.C. Elizabeth Garza Martínez

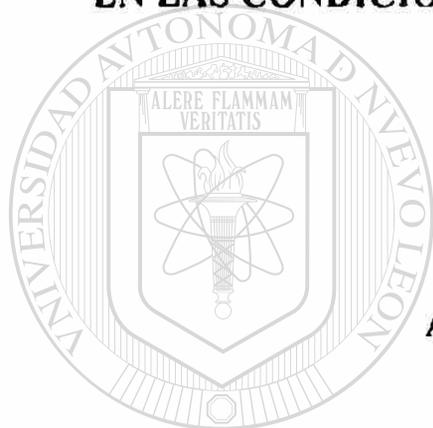
Evaluador

M.C. Anastasio Vázquez Vázquez

Evaluador

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL
ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)
EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS



Asesores Externos de la Tesis:

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Dr. Alberto Mendoza Díaz
Coordinador de Op. y Seg. del Transporte.
Instituto Mexicano del Transporte
Asesor Externo

Dr. Paul Garnica Anguas
Jefe del Lab. de Infraestructura
Instituto Mexicano del Transporte
Asesor Externo

RESUMEN TÉCNICO

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Civil

Título del Estudio: **CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS**

Área de estudio: **Seguridad**

Número de páginas: **145**

Autor: **Pablo Omar Sandoval De León**

Fecha de graduación: **2000**

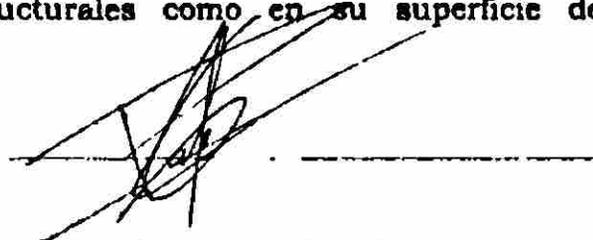
Candidato para el grado de Maestría en ciencias con especialidad en Ingeniería de Tránsito

Propósito, Contribuciones y Conclusiones: Explicar los conceptos relacionados al *Índice de Fricción Internacional (IFI)* y las consideraciones para el cálculo de los parámetros que lo componen ($F60$, V_p). Estos parámetros estiman la fricción idealizada a 60 kph ($F60$) y la constante de referencia de la velocidad (V_p) derivada de la medida de la macrotextura que nos da una mejor comprensión de la superficie de rodamiento y la velocidad de operación que mejor se adecua a esta textura. El IFI entonces, se describe entonces como una escala de referencia de aplicación internacional, de fricción y textura en un pavimento, que se puede adecua a los estándares prevaletientes de cada país.

En México, como en otros países, la *fricción* es un parámetro definido por la textura que influye determinantemente en el proyecto geométrico de carreteras, pues se considera en el cálculo de la distancia de visibilidad de frenado y en el diseño de las curvas horizontales (sobreelevación y radio). Esta investigación esta orientada a servir, mejorando la eficiencia operativa y las condiciones de seguridad de las carreteras, proporcionando un método que nos ayude a evaluar eficientemente las auscultaciones de las superficies de rodamiento así como, el facilitar la toma de decisiones respecto a la construcción y mantenimiento de la infraestructura vial de forma global. Además, se presentan los ajustes de los valores de fricción, prevaletientes en el *Manual de Proyecto Geométrico* utilizado en México, a la nomenclatura típica utilizada para representar el IFI.

Las autoridades políticas comprenden que un *sistema eficiente de carreteras es imprescindible para el desarrollo económico* del país en su conjunto; por esta razón la construcción, rehabilitación y conservación de las carreteras, tendrá como uno de sus objetivos, proporcionar a los usuarios una infraestructura vial capaz de soportar, tanto las necesidades de movimiento de vehículos que se demandan en la actualidad, como también la que se genere en el futuro, de forma segura y funcional. Lo anterior, a través de buenos diseños de pavimentos, tanto estructurales como en su superficie de rodamiento.

FIRMA DEL DIRECTOR DE TESIS:



TE DEDICO ESTE TRABAJO

Mamá y Papá, con todo mi amor, pues aun cuando los tango ten lejos, nunca se han alejado de mí con sus oraciones y cariño que durante mi vida nunca me han faltado. Por el esfuerzo que han hecho por sacarnos adelante y ser mis mejores ejemplos de perseverancia a seguir.

A mis hermanos y familiares

Abuelita, Jessica Sofia y a ti Señor Dios como una pequeña muestra del cariño que les tengo estén donde estén ya que, siguen viviendo en mi corazón.

con todo mi amor, para Magali.

También dedico este trabajo con todo respeto y admiración a:

- Mi Asesor de Tesis, el **Dr. Alberto Mendoza**, por sugerirme esta tema de tesis, sus sugerencias y valiosas aportaciones para la realización de este trabajo. Por su amistad, paciencia y consejos, muchas gracias.
- Al **Dr. Paul Garnica** y al **Ing. Alfonso Rico** por haberme admitido en su equipo de investigadores y proporcionado el material y equipo necesario para realizar este trabajo.

AGRADEZCO

*... "En verdad es justo y necesario darte gracias siempre y en todo lugar Dios Nuestro, por todo el amor que nos das....
... A ti Madre Santa, Mi Niña de Guadalupe por siempre estar junto a mí.."*

A la Facultad de Ingeniería Civil y a la Universidad Autónoma de Nuevo León, por la formación académica y humana, por las facilidades y apoyo que me han proporcionado todos y cada uno de mis maestros de esta institución para la realización de esta tesis.

A mi Director de Tesis M. en C. Rafael Gallegos López, coordinador de la maestría de ingeniería de tránsito y catedrático en la facultad de ingeniería civil y en la maestría de tránsito. Le agradezco por sus enseñanzas y valiosos consejos ofrecidos tanto en lo profesional como en lo personal, por sus atenciones, muchas gracias.

Al Instituto Mexicano del Transporte, al Dr. Rascon, al Ing. Téllez y al Ing. Tristan, no solo por su apoyo económico sino, por las facilidades proporcionadas para la utilización de su equipo, instalaciones y personal para la realización de esta tesis.

A mis compañeros y más que nada amigos tanto de la maestría como del laboratorio de infraestructura del IMT

A todo y cada uno de ustedes Muchas Gracias

AGRADEZCO

... *"En verdad es justo y necesario darte gracias siempre y en todo lugar
Dios Nuestro, por todo el amor que nos das....
... A ti Madre Santa, Mi Niña de Guadalupe por siempre estar junto a mí.."*

A la *Facultad de Ingeniería Civil y a la Universidad Autónoma de Nuevo León*, por la formación académica y humana, por las facilidades y apoyo que me han proporcionado todos y cada uno de mis maestros de esta institución para la realización de esta tesis.

A mi *Director de tesis M. en C. Rafael Gallegos López*, coordinador de la maestría de ingeniería de tránsito y catedrático en la facultad de ingeniería civil y en la maestría de tránsito. Le agradezco por sus enseñanzas y valiosos consejos ofrecidos tanto en lo profesional como en lo personal, por sus atenciones, muchas gracias.

Al *Instituto Mexicano del Transporte*, al Dr. Rascon, al Ing. Téllez y al Ing. Tristan, no solo por su apoyo económico sino, por las facilidades proporcionadas para la utilización de su equipo, instalaciones y personal para la realización de esta tesis.

A mis compañeros y más que nada amigos tanto de la maestría como del laboratorio de infraestructura del IMT

A todo y cada uno de ustedes Muchas Gracias

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO	Pagina
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	
<i>I.I. Antecedentes</i>	1
<i>I.II. Situación Actual</i>	6
<i>I.III. El Problema</i>	9
<i>I.IV. Su Importancia e Implicaciones</i>	10
<i>I.V. OBJETIVOS</i>	12
<i>I.V.I. Objetivo General</i>	12
<i>I.V.II. Objetivos Específicos</i>	12
<i>I.VI. HIPOTESIS</i>	14
II. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BÁSICOS	
<i>II.I. Características Superficiales de los Pavimentos y su Influencia en la Interacción Vehículo - Carretera</i>	15
<i>II.I.I. Textura</i>	17
▪ <i>Microtextura</i>	19
▪ <i>Macrotextura</i>	21
▪ <i>Megatextura</i>	25
▪ <i>Regularidad Superficial</i>	26
<i>II.I.II. Fricción o Resistencia al Deslizamiento</i>	27
<i>II.II. Medida de la Adherencia Neumático- Pavimento</i>	29

II.III. Equipos de Medición.....	33
▪ El Método del círculo de arena.....	33
▪ El Péndulo de fricción	34
▪ El Perfilómetro láser	36
▪ El SCRIM	36
▪ El Mu-meter.....	38

III. EXPERIMENTO DE ARMONIZACIÓN

III.I. Antecedentes y Consideraciones.....	40
III.II. Modelos Matemáticos de Referencia.....	46
III.II.I. Modelo de Pensilvania	46
III.II.II. Desarrollo de la curva de referencia	50
III.II.III. Modelo de la P.I.A.R.C.....	52
III.III. Notación I.F.I. (F60, Vp).....	57
III.IV. Correlación Entre los Distintos Equipos de Medición.....	60
III.IV.I. Diferencia y semejanza con otros índices.....	60
III.IV.II. Relación entre las diferentes condiciones de prueba en la medición de la fricción	61
III.IV.III. Relación entre las diferentes condiciones de prueba en la medición de textura	64
III.V. Calibración de Equipos Distintos a los Utilizados en el Experimento de PIARC.....	66

IV. APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL I.F.I.

IV.I. Aplicación del Modelo IFI en Carreteras Nacionales.....	69
IV.I.I. Equipo utilizado.....	70
IV.I.II. Consideraciones y procedimiento de ensayo.	72
IV.I.III. Caso Querétaro	73
IV.I.IV. Caso Monterrey.....	78
IV.I. Interpretación de la Gráfica de Aceptación o Rechazo.....	88

<i>IV.I.IV. Caso Querétaro.....</i>	<i>92</i>
<i>IV.I.IV. Caso Monterrey.....</i>	<i>95</i>

V. ANÁLISIS DE NIVELES MÍNIMOS DE FRICCIÓN Y TEXTURA

<i>V.I. Consideraciones.....</i>	<i>99</i>
<i>V.II. Fricción Longitudinal.....</i>	<i>101</i>
<i>V.III. Fricción Lateral.....</i>	<i>105</i>
<i>V.IV. Síntesis de Recomendaciones.....</i>	<i>115</i>
<i>V.IV.I. Fricción longitudinal.....</i>	<i>115</i>
<i>V.IV.II. Fricción lateral.....</i>	<i>118</i>

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 121

GLOSARIO DE TERMINOS 125

REFERENCIAS..... 128

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

APÉNDICES 132

A. Lista de Equipos participantes y Factores de armonización

B. Tablas de datos y cálculo del IFI

LISTA DE FIGURAS

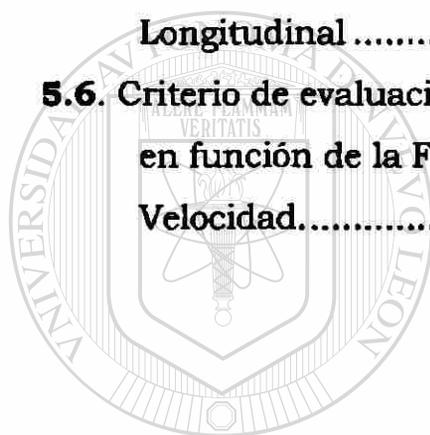
Figura	Página
1.1 Distancias de frenado estable de 60 mph (96 kph) en pavimento seco	2
1.2. Distribución de la red básica de carreteras mexicanas.	8
2.1. Influencia de las irregularidades superficiales en los fenómenos de interacción entre el vehículo-carretera.....	20
2.2. Microtextura y Macrotextura.....	22
2.3 Influencia de la Textura y la Velocidad en el coeficiente de resistencia al Deslizamiento	23
2.4 Condición de contacto entre la rueda en movimiento y una superficie mojada.....	25
2.5 Esquema del ensayo del círculo de arena.	34
2.6. Péndulo británico TRRL.....	35
2.7 Esquema del equipo SCRIM.	38
3.1. Rango de deslizamiento para varios equipos graficados en la curva de Fricción-Velocidad de deslizamiento (Mu-Slip speed) para la prueba con velocidades de 30 a 90 kph	48
3.2. Curva de Fricción – Velocidad de deslizamiento (Modelo PIARC)	53

3.3.A8SP. Valores de las constantes a y b en base a la correlación de Vp (con un equipo A8) con GVp usando el modelo PIARC $V_p = a (b \cdot T_x)$.	54
3.4.A14. Valores de las constantes A y B, basándose en la correlación de F60 (con equipo A14 como medida de microtextura) con GF60 usando el modelo PIARC y donde Vp se determino usando MTD	56
3.5. Curva de Fricción – Velocidad de deslizamiento (Proceso de Armonización)	58
3.6. Comparación de las mediciones de textura con GF60 como una función de la Velocidad de deslizamiento Correlación R de $GF(s) = a + (b \cdot MPD)$	63
4.1. Desvío del tránsito en una carretera	72
4.2. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b)	74
4.3. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b)	75
4.4. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b)	76
4.5. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b)	77
4.6. Comportamiento del modelo en uno de los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b)	79

4.7. Comportamiento del modelo en uno de los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).....	80
4.8. Comportamiento del modelo en dos perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).....	81
4.9. Comportamiento del modelo en los perfiles(a), así como la apariencia representativa del pavimento nuevo (b) y el viejo(c).....	83
4.10. Comportamiento del modelo en los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b), en la carretera Monterrey - Cd. Victoria	85
4.11. Comportamiento del modelo en dos perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).en el libramiento Nor-Oeste.....	85
4.12. Comportamiento del modelo en los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento asfáltico(b) y del pavimento de concreto hidráulico (c).....	87
4.13. Interpretación de las zonas del diagrama de Fricción vs. Macrotextura	89
4.14. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 46.8 cm y de las lecturas del péndulo de 73.1	93
4.15. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 23.5 cm y de las lecturas del péndulo de 66.16	93
4.16. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 26.9 cm y de las lecturas del péndulo de 76.8.....	94

4.17. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 83.8 cm y de las lecturas del péndulo de 30.64	94
4.18. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 54.2 cm y de las lecturas del péndulo de 99.6	95
4.19. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 64.9 cm y de las lecturas del péndulo de 71.6	95
4.20. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 60.3 cm y de las lecturas del péndulo de 56.2	96
4.21. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 31.7 cm y de las lecturas del péndulo de 72.3 – para pavimento nuevo- y el diámetro promedio del círculo de arena fue de 42.3 y de las lecturas del péndulo 55.8 - para pavimento viejo -	96
4.22. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 101 cm y de las lecturas del péndulo de 68.9	97
4.23. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue de 71.1 cm y de las lecturas del péndulo de 66.6	97
4.24. Curva de aceptación o rechazo. Diámetro promedio del círculo de arena fue 108.4 cm y de las lecturas del péndulo de 56.8 –para pavimento asfáltico- y un diámetro promedio de 4604 cm y la lectura del péndulo de 89.33 –par pavimento de concreto hidráulico-	98

5.1. Coeficientes de Fricción Longitudinal contra	
Velocidades de Proyecto (Pavimento Mojado)	102
5.2. Estabilidad del Vehículo en las Curvas	107
5.3. Coeficiente de fricción lateral para diferentes	
velocidades de proyecto.....	110
5.4 Ángulo de oblicuidad y componente la lateral de la	
velocidad en la dirección en que se mueve el	
vehículo.....	111
5.5. Relación entre los coeficientes de fricción Lateral y	
Longitudinal	113
5.6. Criterio de evaluación sugerido por el método PIARC	
en función de la Fricción Longitudinal y la	
Velocidad.....	117



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LISTA DE TABLAS

Tablas	Página
1.1. Red básica nacional.....	6
2.1 Irregularidades de un pavimento	
(Flexible o Rígido).....	18
3.1 Sistemas de los equipos de medición	42
3.2 Correlación simple entre equipos	62
3.3 Correlaciones entre los diferentes métodos de	
medición de la textura	62
3.4 Valores de a y b para estimar la constante de	
velocidad (Vp)	68
3.5 Valores de A y B para estimar la fricción	
(F60)usando el modelo PIARC	68
5.1. Coeficientes de Fricción Longitudinal en el Frenado	
Asumidos en el Proyecto Geométrico de Carreteras	
(Pavimento Mojado).....	102

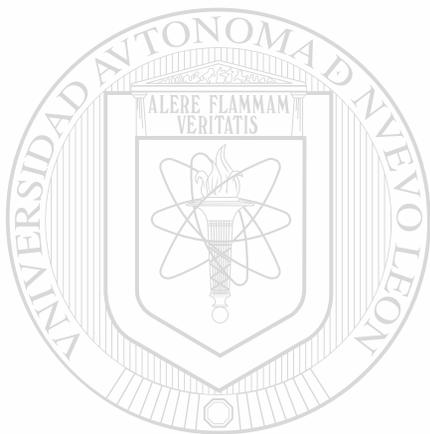
5.2. Coeficientes de Fricción Lateral Asumidos en el

Proyecto Geométrico de Carreteras

(Pavimento Mojado)..... 109

5.3. Coeficientes de Fricción Lateral y Longitudinal

Asumidos en el Proyecto Geométrico de Carreteras 112



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



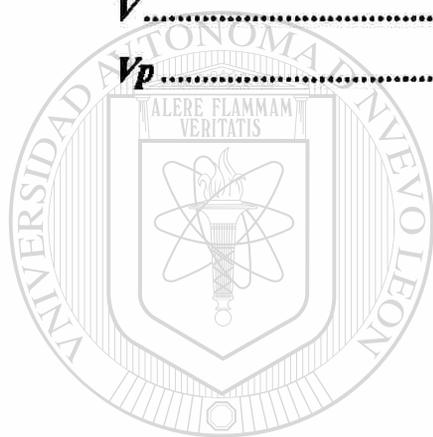
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

G L O S A R I O

TERMINOS RELACIONADOS CON LA FRICCIÓN

- ABS** Sistema automático de frenado (*Automatic Brake System*).
- BPN** Número del péndulo Británico (*British Pendulum Number*).
- BPT** Prueba del péndulo Británico (*British Pendulum Tester*).
- CR** Coeficiente de Rozamiento Transversal (pag12).
- CHP** Chirp Tests per ASTM E-1278.
- F60** Estimado de la fricción en la curva idealizada (*Golden Curve GF60*) a 60 kph usando el Modelo PIARC.
- FRs** Medida de la fricción de algún equipo a una Velocidad de deslizamiento (*Slip speed*) "s".
- GS** Estimado de la fricción en la curva idealizada (*Golden Curve*) a una Velocidad de deslizamiento (*Slip speed*) "s" usando el Modelo PIARC.
- GF60** Fricción en la curva idealizada (*Golden Curve GF60*) a una Velocidad de deslizamiento de 60 kph.
- GF(S)** Fricción en la curva idealizada (*Golden Curve GF60*) a una Velocidad de deslizamiento "s".
- GV** Constante de la velocidad de la curva idealizada (*Golden Curve*).
- IFI** Índice de Fricción Internacional.
- LOCKED (LKD)** Prueba con Llanta Bloqueada (*Locked Wheel Tester*).
- S** Velocidad de deslizamiento (*Slip velocity*).
- SCRIM** Coeficiente de la rueda Oblicua (*Side force Coefficient Road Inventory Machine*).
- SFC** Coeficiente de la Rueda Oblicua (*Side Force Coefficient*).
- SLIP (SLP)** Prueba con llanta Parcialmente bloqueada (*Fixed SlipTester*).
- SN** Número de Derrapamiento o Deslizamiento (*Skid Number*)

- SRT** Prueba para la resistencia al derrapamiento o deslizamiento (*Skid Resistance Tester*) para equipos como el BPT.
- SWP** Barrido continuo con un ángulo de deslizamiento (*Continuous sweep through slip angles*).
- P.I.A.R.C.**..... Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (*Permanent International Association of Road Congresses*)
- ULT** Fricción ultima en pavimento seco a baja velocidad (*Ultimate friction on dry pavement at low speed*).
- V** Velocidad del vehículo (*Vehicle speed*).
- V_p** Estimado de la Constante de la velocidad de referencia (*speed constant*) de la curva idealizada usando el modelo PIARC.



U A N L

TERMINOS RELACIONADOS CON LA TEXTURA

- MPD** Profundidad promedio del perfil (*Mean Profile Depth*).[®]
- MTD** Medida volumétrica de la profundidad promedio de la textura (*Mean Texture Depth*).
- RMS** Media de la raíz cuadrada del perfil de la textura en milímetros (*Root Mean Square*).
- TX** Textura.

TERMINOS ESTADISTICOS

MAX /E/ Máximo error absoluto (*Maximun Absolute Error*).

AVE /E/ Error promedio absoluto (*Average Absolute Error*).

Outflow time Es el resultado de la medida del outflow meter un valor medio de la textura (MTD)

RMSE..... promedio de la raíz cuadrada del error o Desviación estándar residual (*Root Mean Square of The Error o Sd of The Residuals*).

R Coeficiente de correlación múltiple (*Multiple Correlation Coefficient*).

SD..... Desviación estándar (*Standard Deviation*).

TIPOS DE LLANTAS Y SISTEMAS:

RIB..... Llanta de prueba (*Ribbed*).

BLANK Llanta lisa de prueba (*Smooth treaded*)

PATTERN Llanta con Dibujo (*Treaded tire*)

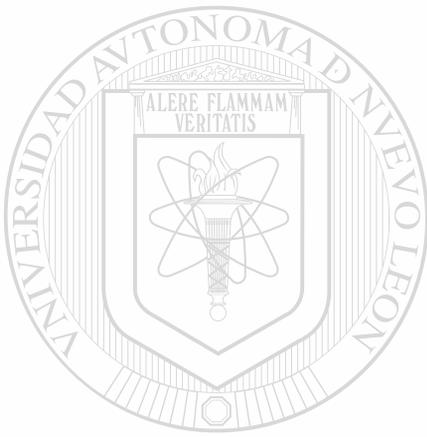
Sistema de Rueda Oblicua (*Side Force*)

Sistema de Rueda Parcialmente Bloqueada (*Fixed Slip*)

Sistema de Rueda Bloqueada (*Locked Wheel*)

CAPÍTULO I

INTRODUCCION



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

I.I Antecedentes

Se han efectuado diferentes investigación y trabajos relacionados con la resistencia al deslizamiento, los coeficientes de fricción y la, textura de los pavimentos; en fin, de los diferentes parámetros con los que se evalúan las características superficiales de los pavimentos en diferentes países; incluyendo México, pero de forma aislada y sin poder tener una visión global o comparativa entre los diferentes métodos empleados. Además, la operación de los equipos e interpretaciones de sus resultados dependía de la experiencia que tuviera la persona encargada de cada estudio.

Una de las instituciones que más a aportado, al respecto, es el Instituto de Transporte de Pennsylvania, de la Universidad del Estado de Pennsylvania, donde se ha propuesto un manual sobre la resistencia al deslizamiento y un modelo matemático de la resistencia al deslizamiento, como una función de la velocidad, en donde se representa la relación entre la fricción (F) y la velocidad de deslizamiento (S) de la llanta de prueba.

Así también, se han efectuado estudios sobre las limitaciones del uso del Skid Number (SN) en el análisis de accidentes y los sistemas de administración de pavimentos, en donde se propone el uso del SN₄₀,

como coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento, para tratar de estimar la velocidad del vehículo o estimar la distancia de frenado; sin embargo, estas consideraciones no son muy exactas para el caso de los camiones o autobuses (Figura 1.1).

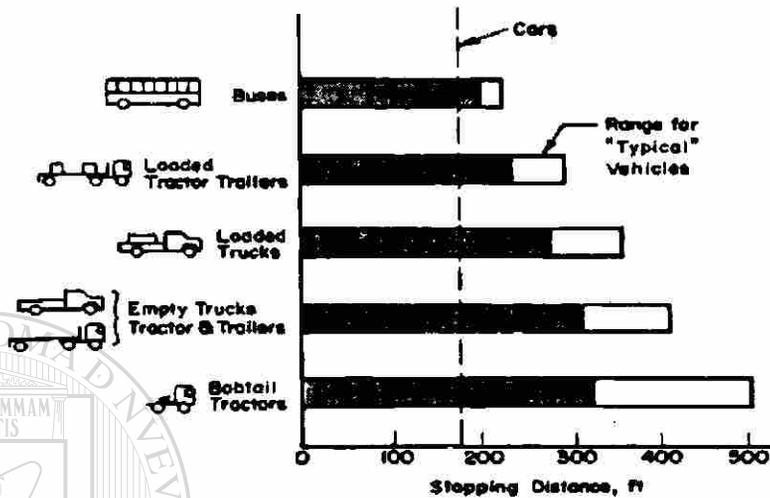


Figura 1.1 Distancias de frenado estable de 60 mph (96 kph) en pavimento seco

En México, por lo menos desde 1977, sólo se ha venido considerando el parámetro de la fricción como un valor definido por las investigaciones realizadas por la AASHO, el cual está afectado por un valor de seguridad. Dichos valores se ocupan aún actualmente para la realización de proyectos geométricos en las carreteras mexicanas.

Por otra parte, en 1987, el Comité Internacional de Características Superficiales de la de la Asociación Internacional Permanente de

Congreso del Carreteras (AIPCR o PIARC), empezó a gestar las primeras ideas sobre la realización de un experimento que estableciese un cierto ordenamiento en las medidas de resistencia al deslizamiento, teniendo estos trabajos la finalidad de elaborar una escala universal de fricción, denominada Índice de Fricción Internacional (IFI), situación similar que tuvo anteriormente la regularidad superficial del pavimento, y que culminó con el nacimiento del concepto de Índice de Regularidad Internacional (I.R.I.), que permite obtener en una misma escala valoraciones de las deformaciones u ondulaciones verticales de la superficie del camino (por lo que en algunos países se denomina rugosidad), con respecto a una superficie plana, independientemente de los diversos equipos de medición existentes.

Sin embargo, esta regularidad superficial no garantiza que la textura del pavimento sea la adecuada para poder tener una buena adherencia entre el neumático y el pavimento, ya que el IRI no toma en cuenta la microtextura y macrotextura de la superficie de rodamiento; en donde la primera se relaciona con la resistencia al deslizamiento (fricción) y la segunda contribuye a minimizar el fenómeno de hidropilado (separación del neumático con el pavimento, debido a una película de agua suficientemente gruesa), al drenar con mayor eficacia el agua de la superficie de rodamiento.

Es por ello que, como resultado de los congresos mundiales de carreteras de Bruselas y Montreal, el Comité Técnico Internacional de Características superficiales planificó y desarrolló un programa de trabajo encaminado a la armonización de las medidas de resistencia al deslizamiento, al que denominó: "Experimento Internacional de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento".

El objetivo general del experimento era comparar la gran diversidad de métodos de evaluación usados alrededor del mundo y desarrollar un método capaz de convertir los resultados producidos por diferentes equipos a una escala común, el Índice de Fricción Internacional (IFI) y de esta manera proveer una base para la estandarización y armonización internacional. Cada país podrá ser capaz de continuar usando sus métodos tradicionales de medición; mientras permanece siendo posible la relación con el índice internacional. Además, los procedimientos fueron creados de tal manera que permitieran al método extenderse a equipos que no participaron en el experimento.

Cabe mencionar que el modelo IFI, propuesto por PIARC, es una modificación del *Penn State Model* (desarrollado por el Pennsylvania Transportation Institute, PTI) que relaciona la fricción con la velocidad

de deslizamiento (fiction-slip speed), y el Modelo *Horne*, que es un modelo mecanizado para predecir la resistencia al deslizamiento.

El IFI es un indicador nuevo (se presentó en el Congreso Mundial de la PIARC celebrado en Montreal en septiembre de 1995), por lo que su consideración ha tenido y tiene un largo camino para convertirse en una norma o recomendación de amplio uso internacional, es por ello que las administraciones de diferentes países están iniciando proyectos o estudios como esté para la implementación del *IFI* en la construcción de nuevas carretas y la consideración de sus parámetros en la administración de pavimentos.

Por esta razón, en el presente trabajo se expondrán los conceptos y los métodos para la comparación, armonización y aplicación de las mediciones de textura y resistencia al deslizamiento; hechas por el comité técnico en Caracterización Superficial de la Asociación Internacional Permanente de Congreso de Carreteras (AIPCR o PIARC), para la aplicación del Índice de Fricción Internacional (IFI), en la evaluación de las condiciones de la superficie de rodamiento, involucradas en la seguridad operacional de las carreteras mexicanas.

I.II Situación Actual

El Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 plantea que la infraestructura carretera básica deben ser adecuada, funcional, suficiente y autosustentable, debido a que estos factores condicionan la competitividad y la productividad de la economía, así como el desarrollo regional y la integración de los mercados que contribuyen a la riqueza nacional.

Debido a lo anterior, se tiene un interés particular tanto de las acciones de conservación, reconstrucción, modernización y ampliación de la red básica nacional (Tabla 5.1 y Figura 5.1); como de la integración de los 10 ejes troncales principales, mediante la evaluación estructural del pavimento, incluyendo el diagnóstico de las características de la superficie de rodamiento.

Tabla 1.1. Red básica nacional

Carretera NACIONAL	Km
Federal libre	21,832
Concesionada	4,263
CAPUFE	1,420
Total	27,515

Dentro de estas características se encuentran: la textura, la fricción y la regularidad superficial, entre otras. En México, el único indicador internacional (*I_{sk}*) considerado para evaluar estas características en las

carreteras, es el Índice de Regularidad Internacional (IRI), de reciente introducción.

En cuanto a la fricción, sólo se cuenta con los valores establecidos en el manual de proyecto geométrico de carreteras, desde 1977, y no se tiene una especificación mexicana para su evaluación. Cabe mencionar que en el caso de pavimentos para aeropuertos, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) es la única institución de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) que contempla, en su normativa, procedimientos aplicables para la medición y conservación de las características de rozamiento en sus pistas y plataformas.

En el caso de la textura, el manual mexicano de proyecto geométrico no considera el efecto de la textura, macrotextura en especial en la operación de sus carreteras, ni algún método para evaluar dicho parámetro.

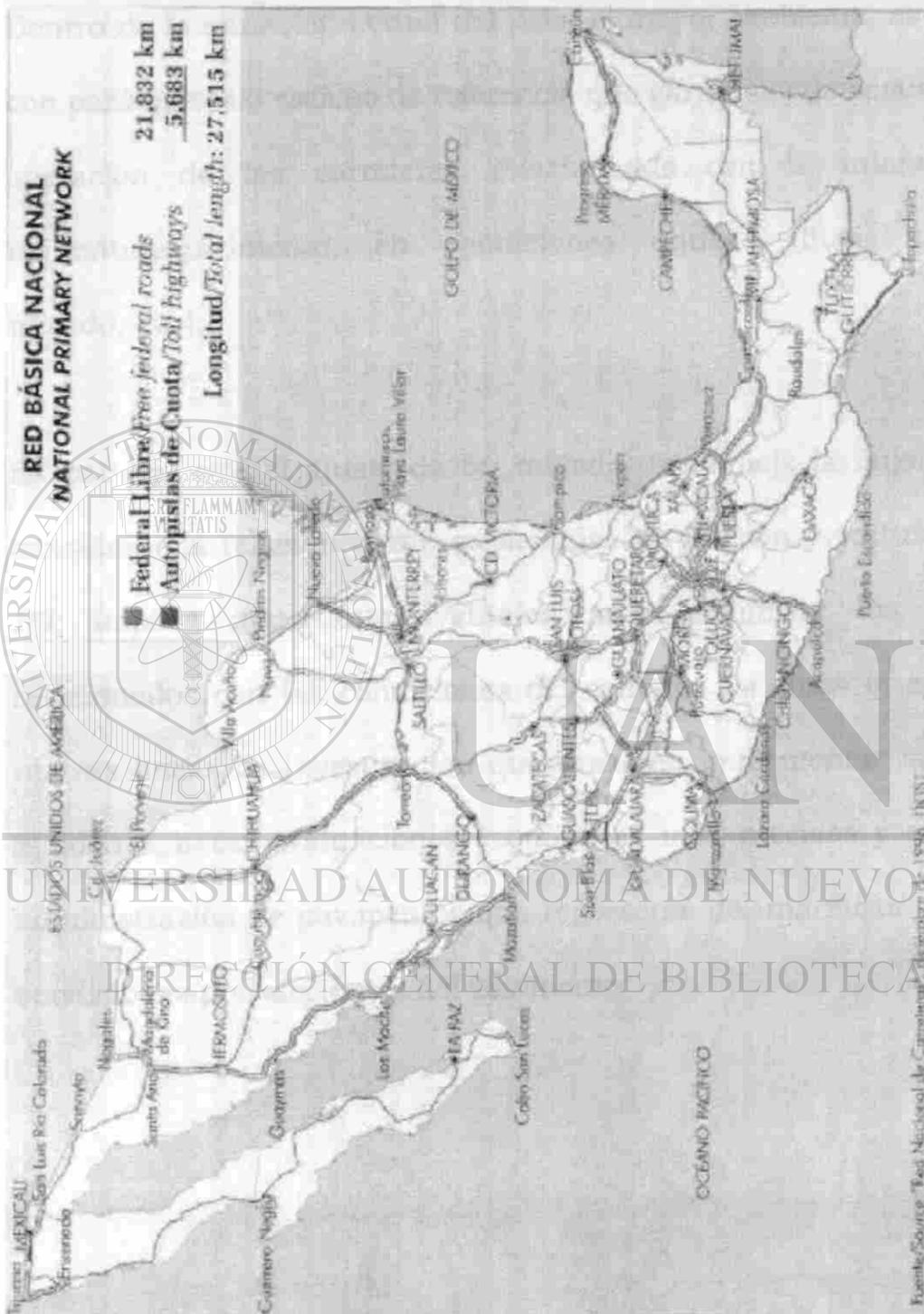


Figura 1.2. Distribución de la red básica de carreteras mexicanas.

I.III El Problema

Dentro de la situación actual del país, el mayor problema, es no contar con parámetros o escalas de referencia que garanticen la seguridad en la operación de las carreteras relacionadas con la interacción del neumático-pavimento, en condiciones críticas (lluvia, pavimento mojado, etc.).

Es por ello que el ajuste de un método que refleje la importancia de considerar la relación entre las medidas de fricción y textura, como el **IFI**, implica importantes ventajas para minimizar los accidentes relacionados con las condiciones del camino, así como la apertura de nuevas líneas de investigación que busquen implementar factores que ayuden a hacer evaluaciones económicas más precisas y sistemas de administración de pavimentos que represente de una mejor manera las condiciones prevaletientes del pavimento.

I.IV Importancia e Implicaciones

El crecimiento económico de un país o comunidad está condicionado por la existencia de redes carreteras bien construidas y conservadas. Gracias a ellas son posibles los desplazamientos rápidos, seguros y baratos de las personas, los bienes y los servicios que, de una u otra forma, contribuyen a la riqueza nacional.

Las autoridades políticas comprenden que un **sistema eficiente de carreteras es imprescindible para el desarrollo económico** del país en su conjunto; por esta razón la construcción, rehabilitación y conservación de las carreteras, tendrá como uno de sus objetivos, proporcionar a los usuarios una infraestructura vial capaz de soportar, tanto las necesidades de movimiento de vehículos que se demandan en la actualidad, como también la que se genere en el futuro, de forma segura y funcional. Lo anterior, a través de buenos diseños de pavimentos, tanto estructurales como en su superficie de rodamiento.

Existe un gran interés por estudiar los factores que contribuyen a la generación de accidentes viales y la forma de poder evaluar, simular y cuantificar dichos factores a través de parámetros que garanticen la seguridad en las carreteras, lo cual es uno de los objetivos principales de la Ingeniería de Tránsito.

Las características superficiales de los pavimentos son las relacionadas con las capas de rodamiento que influyen en la funcionalidad de las carreteras. Por lo tanto, al tomar en cuenta los parámetros de fricción y textura (parte de las características superficiales) que definen el Índice de Fricción Internacional (IFI), no sólo se espera armonizar los diferentes métodos y equipos que miden sus parámetros; sino también obtener una serie de beneficios técnicos y económicos para cada sector interesado en las carreteras o los aeropuertos y, por consiguiente, para sus propios usuarios.

Esta tesis forma parte de una serie de investigaciones realizadas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), para proponer recomendaciones o especificaciones que se incluyan en la Normativa del Sector Comunicaciones y Transporte; para la medición, interpretación y evaluación de los parámetros de fricción (acorde con lo ya establecido), textura y resistencia al derrapamiento de los pavimentos. Además, no debemos esperar a que ocurra una serie de accidentes en un mismo sitio, para evaluar el desempeño geométrico y superficial de la carretera.

I.V OBJETIVOS

I.V.I Objetivo General

Plantear las consideraciones que se deben tomar para la aplicación del Índice de Fricción Internacional, en la seguridad de carreteras mexicanas.



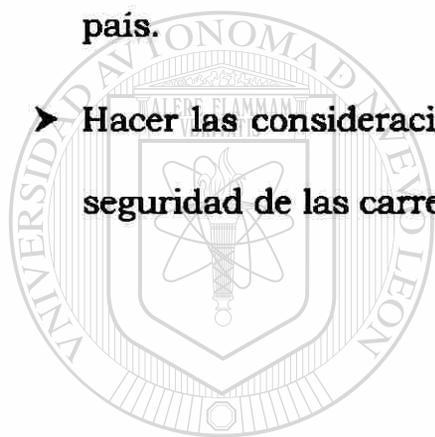
UANL

I.V.II Objetivos Específicos:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

- Recopilar información bibliográfica sobre los estudios realizados, internacionalmente, sobre el Índice de Fricción Internacional.
- Tomar en consideración lo estipulado en el los manuales de proyecto geométrico más utilizados para el diseño de carreteras mexicanas.

- ▶ Encontrar los valores prevaletientes de la fricción y la macrotextura, con un equipo, a cierta velocidad, en los tramos carreteros en estudio.
- ▶ Determinar el número de accidentes asociados con las condiciones superficiales del pavimento, en especial en condiciones de camino mojado.
- ▶ Determinar el efecto que tiene el IFI en la seguridad carretera del país.
- ▶ Hacer las consideraciones necesarias para la aplicación del IFI en la seguridad de las carreteras.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

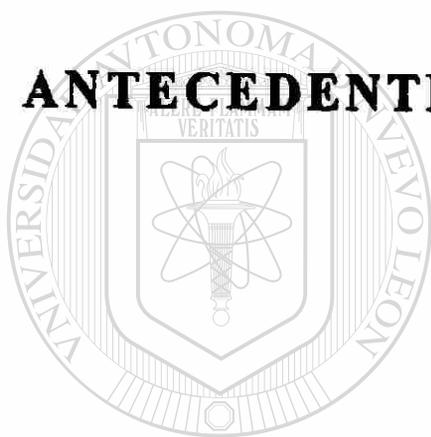
I.VI HIPOTESIS

Si se da el caso de que los parámetros de fricción y textura que definen el Índice de Fricción Internacional (IFI) sirven para normar cualquier aplicación relativa a la resistencia al deslizamiento (estudios de accidentes, inspección para la gestión de la conservación de carreteras, etc.), y lo establecido en los manuales de proyecto geométrico mas utilizados en México para el diseño de carreteras. Consideraremos que:

“Debido a la influencia que tiene la fricción y la macrotextura del pavimento en la seguridad de carreteras, se recomienda entonces, considerar el método PIARC para calcular el Índice de Fricción Internacional, en la normativa mexicana correspondiente, para la evaluación de las auscultaciones de la superficie de rodamiento en las carreteras nacionales”.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BASICOS



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

II.I Características superficiales de los pavimentos y su Influencia en la interacción vehículo-carretera

Las características superficiales de los pavimentos son las relacionadas con las capas de rodamiento que influyen en la funcionalidad de las carreteras. Estas características interesan al usuario de la infraestructura carretera, ya que de ellas depende su seguridad, la comodidad de su circulación, sus tiempos de recorrido y los costos de operación.

Las características de los pavimentos se pueden clasificar por las dimensiones de las irregularidades superficiales, dependiendo de su tamaño (longitud de onda y amplitud de la irregularidad) y si las características son atributos globales o localizados.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La determinación de que un atributo sea global o local es importante, en términos de su medida. Los atributos globales, por pequeños que sean, normalmente se pueden medir confiablemente, usando procedimientos estadísticos aplicados sobre el área global. Los atributos locales se miden fácilmente, si se extienden sobre un área relativamente grande. Los pequeños atributos localizados son los más difíciles de medir.

Algunas de las características superficiales que se consideran importantes en la evaluación de las auscultaciones de pavimentos son:

- La Textura
- La Fricción
- La Regularidad superficial y el perfil longitudinal
- El Perfil transversal, incluyendo el peralte y las roderas
- El Trazado de la carretera (geometría), incluyendo las pendiente y el radio de curvatura
- Las Fisuras

Así como las propiedades reflexivas y de color, el drenaje superficial y la permeabilidad, el ruido de contacto neumático-pavimento, etc. Estas características influyen sobre los diversos aspectos relacionados con la funcionalidad de las carreteras. Los factores más notables son:

- La Seguridad
- El Confort
- Los Costos de operación
- La Dinámica de los vehículos

A continuación se aportará una explicación de las características de los más importantes parámetros, relacionados con esta investigación.

II.1.1. *Textura*

La *Textura* del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios; necesario para la conservación de las carreteras. La *textura* influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase neumático-pavimento, evitando el fenómeno de hidropneumático y, de forma indirecta, en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, de gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento.

Además, la *textura* es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico. En el aspecto económico, la *textura* del pavimento influye en el consumo de gasolina y en el deterioro de los vehículos.

Ahora bien, para su medición, la *textura* es la geometría mas “fina” del perfil longitudinal de la carretera, que se define como la desviación de la superficie del firme, respecto a una superficie planar menor o igual que 0.5 metros. Estudios realizados han demostrado que, para interpretar mejor los fenómenos que suceden en el contacto neumático-pavimento, asociados a situaciones de riesgo durante las operaciones de frenado en pavimento mojado, es conveniente subdividir la *textura* en tres clases: Megatextura, Macrotextura y Microtextura.

En el XVIII Congreso mundial de carreteras (Bruselas 1987) el Comité Técnico de Características Superficiales de la P.I.A.R.C, propuso una clasificación (Tabla 2.1) de las características geométricas y superficiales basadas en longitudes de onda y en amplitudes de las irregularidades

Tabla 2.1

Irregularidades de un pavimento (Flexible o Rígido)

Nombre		Rango de Dimensiones (aprox.)	
		Horizontal (λ)	Vertical
Microtextura (Fricción)		0 – 0.5 mm	0 – 0.2 mm
Macrotextura		0.5 – 50 mm	0.2 – 10 mm
Megatextura		50 – 500 mm	1 – 50 mm
Regularidad Superficial	Onda Corta	0.5 – 5 m	1 – 20 mm
	Onda Media	5 – 15 m	5 – 50 mm
	Onda Larga	15 – 50 m	10–200 mm

Hay que tener en cuenta que las características superficiales de los pavimentos que más interesan están ligadas a las dimensiones de estas irregularidades. La interacción vehículo-carretera da lugar a que estas irregularidades superficiales influyan en mayor o menor grado, dependiendo de su longitud de onda.

En la Figura 2.1 se presenta la gama de irregularidades de los pavimentos flexibles y rígidos que afectan al usuario; sin embargo, algunas de ellas son necesarias para la *seguridad* de los vehículos.

Microtextura:

La microtextura comprende la longitud de onda mas pequeña y está en función de la textura superficial de los agregados y el mortero asfáltico o del concreto hidráulico empleados en la construcción de la carpeta o losa (Figura 2.2). Es importante para la adherencia entre el neumático y el pavimento y, por tanto, para la resistencia al derrapamiento, por lo que la microtextura influye en el riesgo de *accidentes*, independientemente de la velocidad de operación. En todo caso, las irregularidades de este tipo están presentes y en ciertas condiciones es necesaria su existencia.

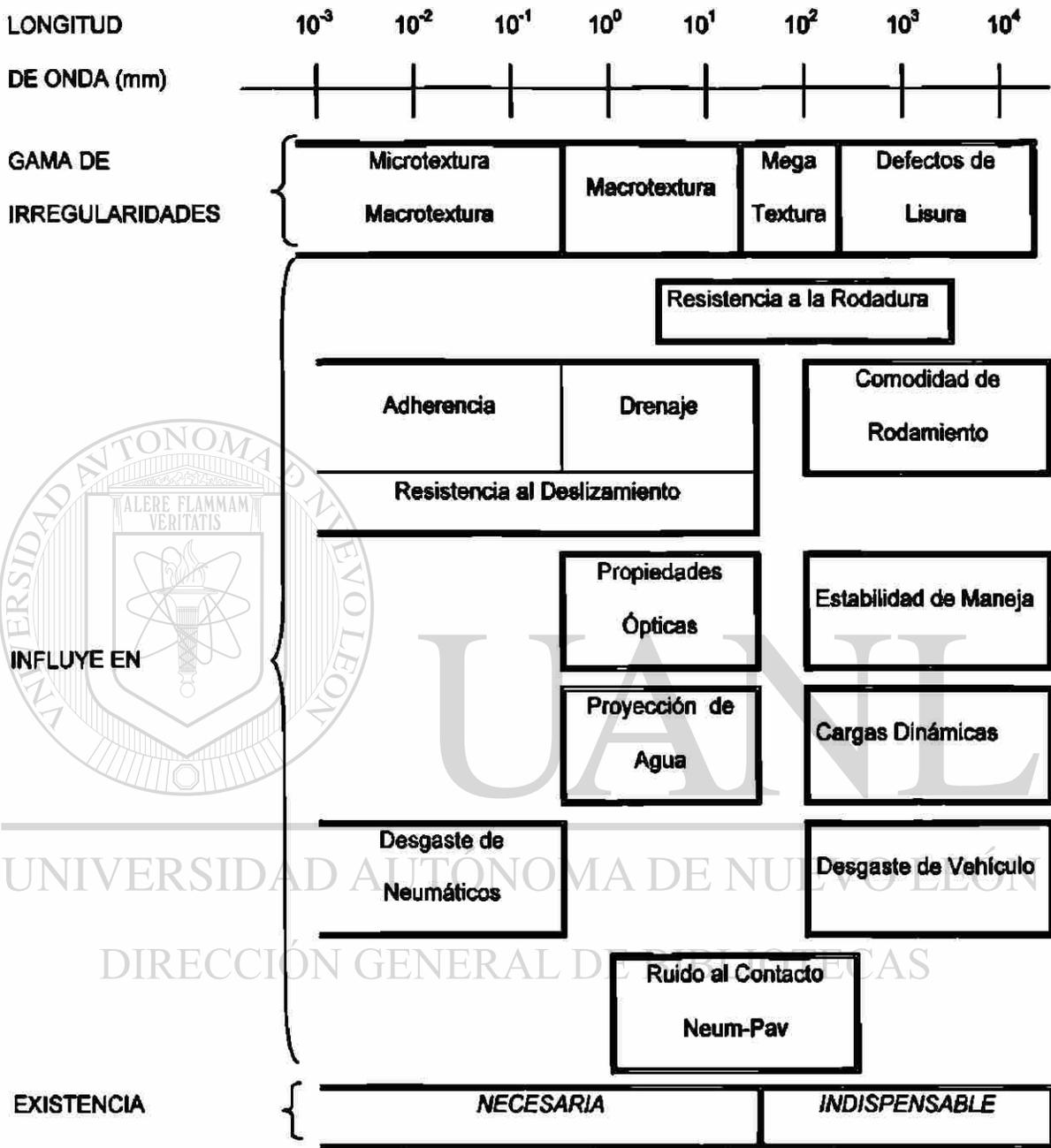


Figura 2.1. Influencia de las irregularidades superficiales en los fenómenos de interacción entre el vehículo-carretera.

Así por ejemplo, un árido determinado, ubicado en la superficie de rodamiento, que tenga un alto grado de pulimento , producirá valores bajos de microtextura, ya que, ésta se considera particularmente importante en la valoración de la resistencia al deslizamiento (fricción) de la superficie. Una forma indirecta de medir la microtextura consiste en determinar el coeficiente de fricción o rozamiento.

Macrotextura:

La macrotextura incluye longitudes de onda mayores, desde el tamaño del árido, hasta la huella del neumático, define el relieve de la capa de rodamiento y depende de la composición de la mezcla, del riego o lechada asfáltica o del tratamiento de superficie dado a la capa de concreto (estriado, engrillado, etc.). Degradaciones tales como la pérdida de gravilla, las grietas y la existencia de juntas, sólo contribuyen en casos poco frecuentes o si hay escalonamiento notable. En la Figura 2.2 se puede observar gráficamente la diferencia entre la microtextura y la macrotextura de un pavimento.

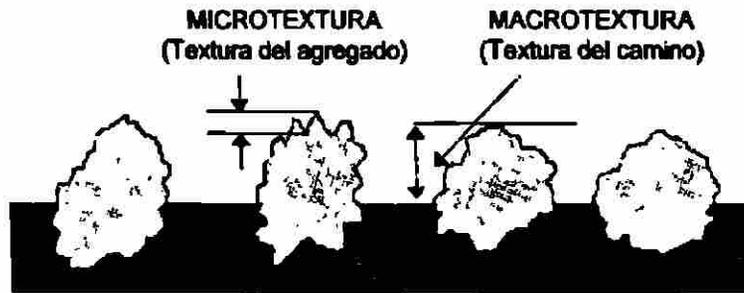


Figura 2.2. Microtextura y Macrotextura

La macrotextura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento, a velocidad media y elevada (mas de 60 kph) con pavimento mojado. Además del rozamiento por deformación relacionado con la histéresis elástica del caucho, la rugosidad permite restablecer el contacto con adherencia a alta velocidad. De este modo y mientras que en zonas urbanas (velocidades moderadas) es adecuada una macrotextura moderada y una microtextura áspera, en carreteras interurbanas será conveniente que exista una macrotextura rugosa (Figura 2.3).

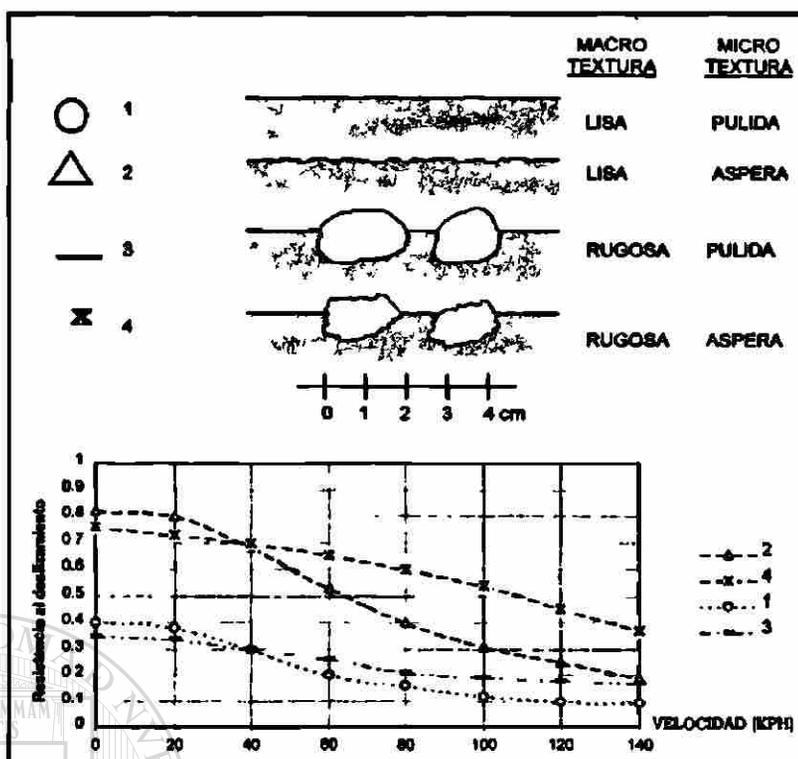


Figura 2.3 Influencia de la Textura y la Velocidad en el coeficiente de resistencia al Deslizamiento

La Macrotextura tiene una pequeña influencia en el consumo de combustible, al aumentar la resistencia al rodamiento; pero puede estar compensada por una ligera disminución de la velocidad de circulación. Mejora la visibilidad y las propiedades ópticas del pavimento, al reducir las proyecciones del agua y producir una reflexión difusa. Un drenaje más eficaz permite también una mejor visibilidad de las marcas viales y una evacuación inmediata del agua superficial que redundará en una mejora en la seguridad de operación, al evitarse el *hidroplaneo*.

El *hidroplaneo* se puede resaltar como una de las características de las carreteras que pueden afectar al usuario. El *hidroplaneo* (o *aquaplaning*)

ocurre cuando una película de agua (Figura 5.4) separa la rueda de la superficie de la carretera. Este fenómeno está asociado fundamentalmente, con la velocidad y peso del vehículo, las características de los neumáticos y la textura y el espesor del agua en el pavimento.

Puesto que el hidropneumático solamente puede ocurrir cuando hay agua en el pavimento, el riesgo de hidropneumático de cada tramo de carretera se determina considerando la topografía del pavimento, su geometría superficial, su textura y su peralte, que determina la película de agua.

Hay dos tipos de macrotextura:

- *La Positiva*, que es típicamente la que se obtiene a través de los tratamientos superficiales, como el riegos de sello.
- *La Negativa*, que se refiere a las mezclas porosas o que tienen la capacidad de drenar el agua que escurre longitudinal y transversalmente hacia el arcén (drenaje por escorrentía).

Ambas ofrecen, en diferente grado, las ventajas mencionadas. En cambio, son muy diferentes en lo referente al ruido. Mientras que con macrotextura positiva aumenta el ruido en todas las frecuencias, las mezclas porosas (macrotextura negativas) llegan a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no sólo en el contacto neumático-

pavimento, sino también, el producido por el motor, por absorción acústica.

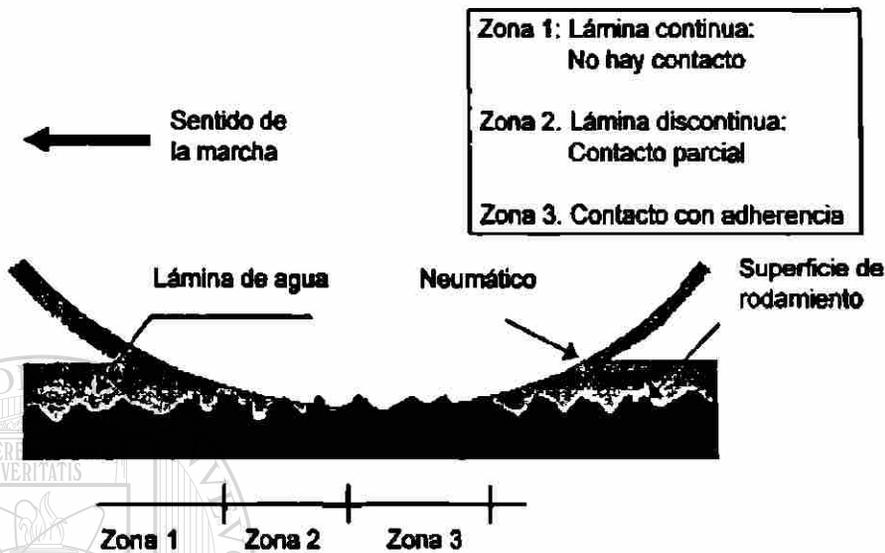


Figura 2.4 Condición de contacto entre la rueda en movimiento y una superficie mojada.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Megatextura:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
 La Megatextura está constituida por irregularidades de tipo intermedio, relacionadas con la textura final y recientemente con la regularidad superficial así como también, con diversos tipos de fallas o degradaciones y sus reparaciones. Los pavimentos de adoquín pueden dar lugar a este tipo de textura.

Esta gama de irregularidades aumenta, en particular, la resistencia al rodamiento y el nivel de ruido con frecuencias bajas. La conducción es

más incómoda, con vibraciones y dificultades para mantener la estabilidad de marcha. Contribuye además al desgaste de los vehículos, incluidos los neumáticos, reduciendo la seguridad de los usuarios en la operación. Al contrario de lo que sucede con la microtextura y la macrotextura, las amplitudes de onda que definen la megatextura no son deseables en ningún caso

Regularidad Superficial:

Los defectos de *irregularidad* superficial o *rugosidad* se reflejan en ondas de diferente longitud, debidas a la puesta en obra (extensión, compactación, guiado, etc.), a deformaciones en el pavimento bajo tráfico o a deformaciones en el terreno de cimentación. Estas irregularidades afectan la comodidad del usuario, por las vibraciones que se producen, el desgaste de los vehículos, la mercancía transportada, así como el aumento del consumo de combustible y la estabilidad de los vehículos, reduciendo la seguridad de los usuarios, en la operación del transporte. También es importante considerar las irregularidades por deformaciones plásticas longitudinales, que afecta la maniobrabilidad y la seguridad en las carreteras, conocidas con el nombre de *roderas*, medidas por la profundidad máxima en un perfil transversal respecto a la línea horizontal teórica. Valores superiores a 10 – 15 milímetros indican roderas significativas.

II.I.II Fricción o Resistencia al deslizamiento

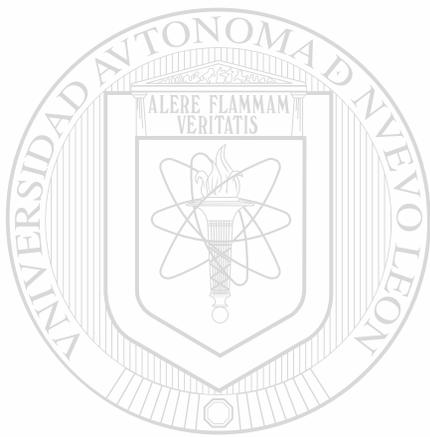
Esta característica del pavimento también es un valor crítico en la seguridad, cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental en carreteras de alta velocidad y/o elevada intensidad de tráfico (carreteras de altas especificaciones). La fricción se determina de forma indirecta, midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma “estandarizada”.

El coeficiente de rozamiento (o fricción) es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera, mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la meteorología (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc.). la demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de adherencia de un pavimento evolucionan con el tiempo, como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de los

neumáticos de los vehículos. Por tanto, se tiene que comprobar el coeficiente de rozamiento (fricción) mediante técnicas de auscultación

Existe una gran variedad de equipos y de principios de medición, lo que dificulta la interpretación y la comparación de los datos. Para solucionar este inconveniente la PIARC realizó un experimento para establecer correlaciones y comparaciones entre los equipos.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

II.II Medida de la Adherencia Neumático–Pavimento

La adherencia neumático-pavimento es un factor fundamental que interviene en la seguridad de la circulación sobre los pavimentos flexibles o rígidos, ya que permite reducir la distancia de frenado y mantener, en todo momento, la trayectoria del vehículo aún en superficies de rodamiento mojado, que es cuando más se agrava.

La adherencia neumático-pavimento puede definirse como *“la capacidad de unión o contacto íntimo entre dichos elementos, de forma que de origen a una circulación segura”*.

Las capas de rodamiento de los pavimentos carreteros tanto flexibles como rígidos y esencialmente sus agregados, deben reunir las características adecuadas para cumplir las siguientes funciones básicas, desde el punto de vista de la seguridad:

- Bombeo geométrico adecuado.
- *Romper* la película de agua procedente de la lluvia, para asegurar el contacto entre el neumático y el pavimento (microtextura).
- Facilitar y contribuir al *drenaje* del agua existente bajo el neumático (macrotextura).
- *Mantener* sus características a través del tiempo.

Bajo la acción del tráfico, principalmente intenso, las características iniciales de los agregados disminuyen con el transcurso del tiempo. Así, por ejemplo, se va produciendo el pulimento del material, modificando sensiblemente la microtextura.

También la macrotextura disminuye paulatinamente, dificultando la evacuación de la película de agua procedente de la lluvia; hasta que, por debajo de un determinado umbral, el drenaje está limitado casi exclusivamente a los canales (tipo de dibujo) del neumático, por lo que si la velocidad de circulación se eleva, la capacidad de drenaje del agua es insuficiente, elevando sensiblemente el riesgo de que la rueda patine o se deslice, al producirse la pérdida de contacto.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Para evaluar la capacidad de resistencia al deslizamiento, se puede proceder de dos formas distintas:

- Midiendo directamente el coeficiente de fricción o rozamiento entre el neumático y el pavimento mojado.
- Analizando la macrotextura o la capacidad de drenaje superficial del pavimento (para estimar la reducción de la adherencia que se produce al aumentar la velocidad).

Los equipos desarrollados para medir la adherencia pueden clasificarse atendiendo a diferentes razones:

- De acuerdo con el modo de desplazamiento, cabe diferenciar los equipos manuales, remolcados o incorporados a un vehículo.
- Según su velocidad de desplazamiento, pueden ser estacionarios, lentos o rápidos.
- Atendiendo a su función y método de medida, se pueden distinguir entre los equipos de medida de la textura y de la resistencia al deslizamiento.

Cabe mencionar, que existe una marcada diferencia en la resistencia al deslizamiento (derrapamiento) en todos los tipos de pavimentos para carreteras. Para el caso de un pavimento seco en buen estado, el coeficiente de resistencia al derrapamiento no experimenta una pérdida sensible con el incremento de la velocidad. De la misma manera no existen diferencias apreciables para el caso de utilizar neumáticos nuevos o desgastados en superficies secas. Si el pavimento está mojado, esta situación cambia totalmente, apreciándose una fuerte disminución en la resistencia al derrapamiento con la velocidad.

Esta pérdida de resistencia al derrapamiento, aun mayor cuanto más gruesa es la película de agua, hace que la conducción sea más peligrosa por la falta de adherencia al pavimento, y por consiguiente, en la necesidad de tener mayor distancia de frenado, por lo que se requiere mayor atención a los tramos carreteros o autopistas que tengan

precipitaciones frecuentes y velocidades de operación altas, así como con fuertes volúmenes de tránsito vehicular

Está comprobado que las necesidades de adherencia y de capacidad de evacuación del agua en los “huecos” del neumático y del pavimento se pueden asegurar razonablemente con pavimentos que tengan determinados valores de microtextura y de macrotextura. Es decir, la Microtextura influye en la fricción y la Macrotextura en la capacidad de evacuar agua rápidamente, lo cual influye en el riesgo de accidentes por derrapamiento a cualquier velocidad, así como en el desgaste de los neumáticos de los vehículos que circulan por la superficie de rodamiento y, por ende, su influencia en los costos de operación.

Por otra parte, al aumentar la velocidad, disminuye la fricción. Esta disminución es tanto menor cuanto mejor es la capacidad de evacuación del agua que proporciona la macrotextura.

II.III Equipos de Medición.

- ***El Método del Círculo de Arena(Norma española: NLT-335/92)***

El método del círculo de arena sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura (rugosa o lisa), consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado (50cm^3) de arena fina uniforme, de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más salientes. Se procura extender la arena en forma de círculo, con lo que es fácil determinar el área cubierta por la arena.

Para pavimentos de concreto hidráulico la profundidad media de la textura superficial determinada por el método del círculo de arena debe estar comprendida entre 0.7 y 1 mm. Mientras que para la recepción de capas de rodamiento con material asfáltico, la textura no debe ser inferior que 0.7mm.

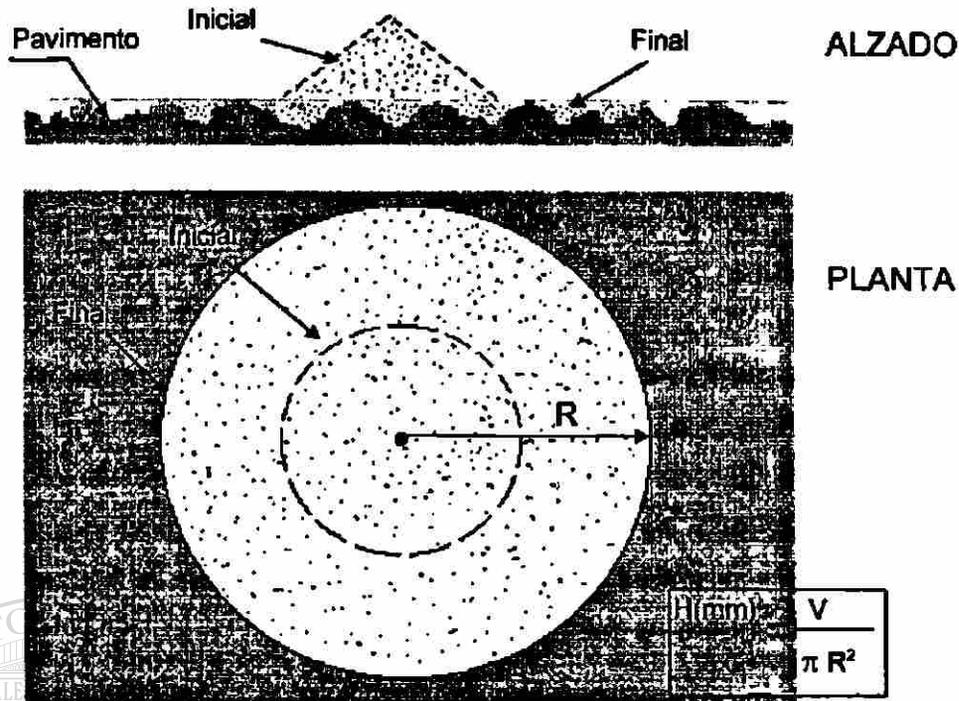


Figura 2.5 Esquema del ensayo del círculo de arena.

□ **El Péndulo de Fricción.**

(ASTM E-303/83 ó NLT-175/92)

El péndulo de fricción da una indicación indirecta del grado de rugosidad que proporciona la microtextura del pavimento.

El péndulo de fricción se utiliza en dos formas:

- En el ensayo para la determinación del coeficiente de pulimiento acelerado de los agregados, empleando una zapata de goma de

tamaño reducido, sobre la superficie de las probetas diseñadas con los agregados a ensayar.

- Directamente sobre la superficie de la carretera empleando una zapata de mayor tamaño que la anterior, sobre la superficie mojada del pavimento.

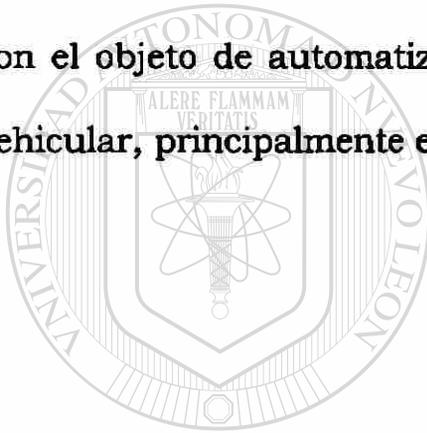
El péndulo de fricción y el método del cono de arena no son muy utilizados para determinar el estado de una red de carretera, ya que presentan limitaciones de uso por su lentitud, por interferir en el tránsito y por su pequeña representatividad espacial.



Figura 2.6. Péndulo británico TRRL.

□ **Perfilómetro Láser.**

La determinación del perfil a la escala de la macrotextura suele hacerse con perfilómetros láser, que emite un rayo sobre un punto del pavimento mediante un receptor, situado en ángulo respecto al láser, determinan la altura de dicho punto. El láser puede ir instalado en equipos estacionarios sobre una viga por la que se desplaza el emisor o montado en un vehículo que se desplaza a velocidad de hasta 70 km/hr, con el objeto de automatizar las mediciones y no interferir con el flujo vehicular, principalmente en autopistas.



UANL

□ ***El Sideway Coefficient Routine Inventory Machine*** ***“SCRIM” (NLT-336/92).***

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Para medir directamente la fricción, se tiende cada vez más a utilizar equipos acoplados a un vehículo o remolcados. Entre éstos existen diferentes tipos, según las características de la rueda de medida:

- Rueda oblicua (respecto al sentido de la marcha).
- Rueda bloqueada.
- Rueda parcialmente bloqueada, con grado de deslizamiento fijo.

- Rueda parcialmente bloqueada, con grado de deslizamiento variable.

Los equipos de rueda oblicua determinan el coeficiente de rozamiento transversal. Uno de los equipos más utilizados de este tipo es el SCRIM (Sideway Coefficient Routine Inventory Machine). La velocidad relativa de la rueda de estos equipos respecto al pavimento es proporcional a la velocidad del vehículo, multiplicada por el seno del ángulo de deriva, 20° en el caso del SCRIM.

Los equipos de rueda bloqueada pueden medir el coeficiente de rozamiento a gran velocidad, pero no sirven para la auscultación continua de los pavimentos de la red, pues el neumático de ensayo se desgasta muy rápidamente y, por ello se reserva para ensayos puntuales, como por ejemplo, en los pavimentos de aeropuertos.

Los equipos de rueda parcialmente bloqueada suelen operar con un deslizamiento comprendido entre el 10% y el 20%. Estos equipos son sensibles principalmente a la microtextura.

Otro aspecto por el que se diferencian los equipos de medida de la fricción es por el tipo de neumático de la rueda de medida (diagonal o radial; estriado o con dibujos).

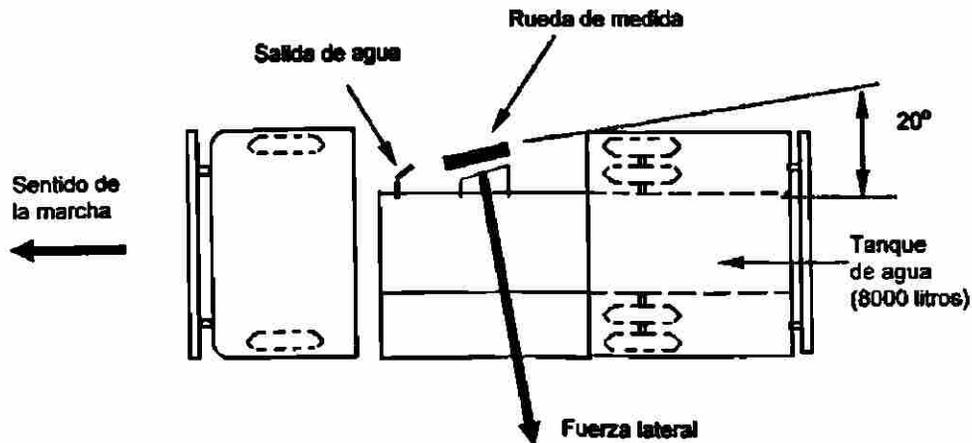


Figura 2.7 Esquema del equipo SCRIM.



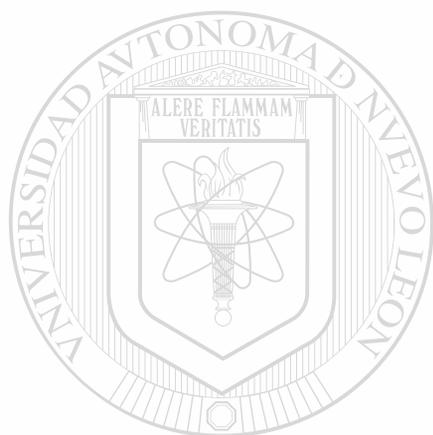
□ **El Mu-Meter. (ASTM E-274/90)**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El Mu-meter es utilizado principalmente en aeropuertos, para determinar el coeficiente de fricción de las pistas, las zonas de rodaje y las plataformas, tanto en pavimentos secos como en pavimentos húmedos.

Los coeficientes obtenidos con los diversos procedimientos y equipos de medida de la resistencia al deslizamiento presentan diferencias, incluso con aparatos del mismo tipo, debido a las numerosas variables que intervienen. Un factor importante es la velocidad a que se realiza la

medida, ya que prácticamente no puede interpretarse el coeficiente de resistencia al deslizamiento sin conocer la velocidad. Sin embargo, existe una correlación de cada equipo entre lo que mide y el estado del pavimento.

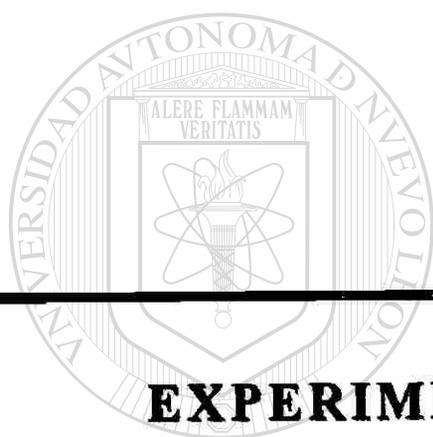


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPÍTULO III

EXPERIMENTO DE ARMONIZACIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



III.I Antecedentes y Consideraciones

Con la finalidad de armonizar los numerosos equipos y métodos que se utilizan para evaluar la resistencia al deslizamiento y la textura en diferentes países, el Comité de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC) propuso un experimento internacional de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento, el cual se efectuó en carreteras en servicio de Bélgica y España en 1992. Los tramos seleccionados presentaron una variedad de pavimentos, asfálticos y de concreto hidráulico, cubriendo una gama de valores de microtextura, macrotextura, megatextura, pulido y desgaste.

Los principales objetivos del experimento fueron los siguientes:

- Desarrollar y valorar las relaciones entre las medidas de fricción y textura tomadas con distintos equipos, variando las condiciones físicas de ensayo: textura, velocidad, ángulo de deriva, neumático de ensayo, clima, materiales etc.
- Cuantificar la relación entre las medidas de la fricción y la textura tomadas con equipos distintos en condiciones específicas, para facilitar el intercambio y la armonización de la información técnica.

- **Determinar la frecuencia y los errores de medida propios de los equipos, evaluar el número de muestras y la frecuencia de muestreo que requieren los distintos métodos para alcanzar una consistencia adecuada.**
- **Facilitar el intercambio de información técnica.**
- **Establecer una escala internacional de fricción a la que puedan referirse todos los equipos y evaluar su aptitud para determinar valores en esta escala.**

Con base en, estos objetivos y conociendo el mecanismo de la adherencia entre el neumático y el pavimento (Figura 2.4), se comprende que, para evaluar la capacidad de resistencia al deslizamiento, se puede proceder de dos formas distintas:

1. **Midiendo directamente el coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento mojado,**
2. **Analizando la macrotextura o la capacidad de drenaje superficial del pavimento (para estimar la reducción de la adherencia que se produce al aumentar la velocidad).**

El coeficiente de fricción a baja velocidad depende del número de puntos de contacto en seco entre el neumático y los áridos del pavimento que se producen tras la ruptura de la película de agua residual producida por la microtextura (tanto mayor cuanto más áspera es), por lo que al

aumentar la velocidad, disminuirá la fricción. Esta disminución es tanto menor cuanto mejor es la capacidad de evacuación del agua que proporciona la macrotextura (tanto mayor cuanto más gruesa sea).

Para efecto del experimento Internacional de Comparación y Armonización, los 38 equipos utilizados (ver Tabla A1, en el apéndice A) para evaluar los 54 tramos de prueba, se clasificaron según su sistema de medición (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Sistemas de los equipos de medición

Fricción	Textura
<ul style="list-style-type: none"> • Con Rueda Oblicua <<Side Force>> 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos Estacionarios
<ul style="list-style-type: none"> • Con Rueda Parcialmente Bloqueada <<Fixed Slip>> (°/ Grado de Deslizamiento Fijo) (°/ Grado de Deslizamiento Variable) 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos Móviles a velocidad de crucero
<ul style="list-style-type: none"> • Con Rueda Bloqueada <<Locked Wheel>> 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos Móviles de gran velocidad

Todas las mediciones de *textura*, fueron realizadas sobre superficies secas antes de que fuera mojado el pavimento para las pruebas de fricción. Los métodos para determinar la textura se refirieron a la profundidad media de la textura (MTD, como el círculo de arena) y el

método dinámico (móvil) con sistema de rayos láser que se proyectan a la superficie de rodamiento.

Los equipos de *fricción* fueron ensayados a tres velocidades 30, 60 y 90 km/hr; y en cada prueba se realizaron dos repeticiones, con cada velocidad. Si la velocidad normal de uso del equipo no era una de estas tres, se sustituía a la más próxima por la velocidad estándar. Debe tenerse en cuenta que, aun cuando cada sistema utilizado para medir la fricción tiene su propio arreglo y modo de ensaye, el rozamiento depende de la velocidad de deslizamiento (S) que está ligada con la velocidad del vehículo (V) y presenta la siguiente relación:

- La velocidad de deslizamiento (S) será igual a la velocidad del vehículo (V) cuando se tenga un sistema con rueda bloqueada

$$S = V$$

- La velocidad de deslizamiento (S) será igual a la velocidad del vehículo (V) afectada por un tanto por ciento del deslizamiento, cuando se tenga un sistema con rueda parcialmente bloqueada

$$S = V (\% \text{ deslizamiento})$$

- La velocidad de deslizamiento (S) será igual a la componente de la velocidad del vehículo (V) cuando se tenga un sistema con rueda oblicua.

$$S = V(\text{Seno del ángulo de oblicuidad})$$

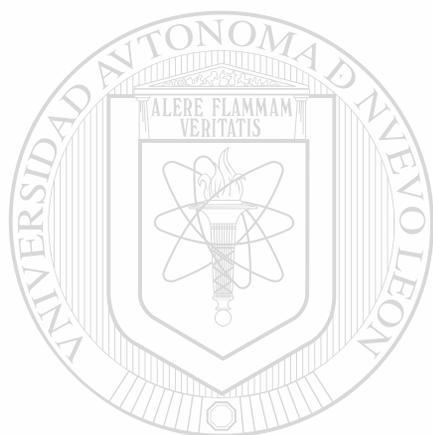
El modelo final utilizado en este experimento permite establecer la relación entre la fricción medida con un equipo cualquiera y la velocidad de deslizamiento, denominado “Modelo PIARC”, permitiéndonos predecir la *resistencia al deslizamiento*; así como tener las herramientas necesarias para tener un sistema de armonización y definición de un Índice de Fricción Internacional (IFI)

El experimento de PIARC concluyó con la elaboración de una escala de referencia universal de fricción, denominada Índice de Fricción Internacional (IFI), basado en un modelo que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento. El IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis, separados por una coma (F60, Vp), los cuales indican:

- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
- a) El estimado da la “**Fricción idealizada a 60 km/hr (F60)**” al cual se[®] deriva de la medida de la fricción tomada en campo, cuyo número indica un valor adimensional, donde el valor cero de la fricción corresponde a una superficie perfectamente lisa y el valor uno, una alta rugosidad (la adherencia).
 - b) El segundo termino, denominado “**Constante de referencia de la velocidad (Vp)**” se deriva de la medida de la macrotextura que da una mejor idea de la superficie de rodamiento y la velocidad de

operación adecuada a esta textura; además, es un número positivo, sin límites determinados y con unidades de velocidad en km/hr.

El **IFI**, por lo tanto, se puede describir como una escala de referencia, de aplicación internacional, de la Fricción y la Textura en un pavimento



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

III.II. Modelos Matemáticos de Referencia

La obtención del Índice de Fricción Internacional (IFI) se basa en el modelo PIARC y éste, a su vez, en el modelo de Pennsylvania, por lo que a continuación se hace una breve explicación de estos modelos:

III.II.I Modelo de Pensilvania (Penn Model)

El modelo de Pennsylvania (J. J. Henry 1992) asocia la fricción (F) a la prueba de deslizamiento desarrollada con una cierta velocidad de deslizamiento (S), proponiendo la ecuación siguiente:

$$F(S) = F_0 * e^{-\frac{S}{V_0}}$$

Donde:

F(S), es el valor de la fricción idealizada a una velocidad de deslizamiento (slip speed) "s" dada.

S, es la velocidad de deslizamiento (slip speed de la llanta de prueba[*1].), en kph.

V, Es La velocidad del vehículo afectada por la condición de su llanta de prueba, ya sea:

- Con Llanta bloqueada
- Usando un % del deslizamiento para una llanta parcialmente bloqueada
- Usando el Seno del Angulo de Deslizamiento

F_0 y V_0 = Son característicos de un pavimento para un cierto equipo y además relativos a la textura.

En la Figura 3.1 se muestra una relación típica de Fricción, contra Velocidad de deslizamiento. En la figura se muestran los niveles (intervalos) de velocidad de deslizamiento, para los equipos que participaron en el experimento.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Estos son los intervalos apropiados de la velocidad de deslizamiento,[®] correspondientes a las velocidades del vehículo que fluctuaron de 30 a 90 kph con el punto medio correspondiente a 60 kph. Para aplicar el modelo fue necesario:

- 1) Establecer la curva de fricción contra la velocidad de deslizamiento, para cada uno de los tramos de prueba, la cual es llamada *Curva Idealizada (Golden Curve)*.

2) Establecer un modelo para todos los equipos, para que de esta manera se puedan predecir los valores de la Curva Idealizada (Golden Curve Value).

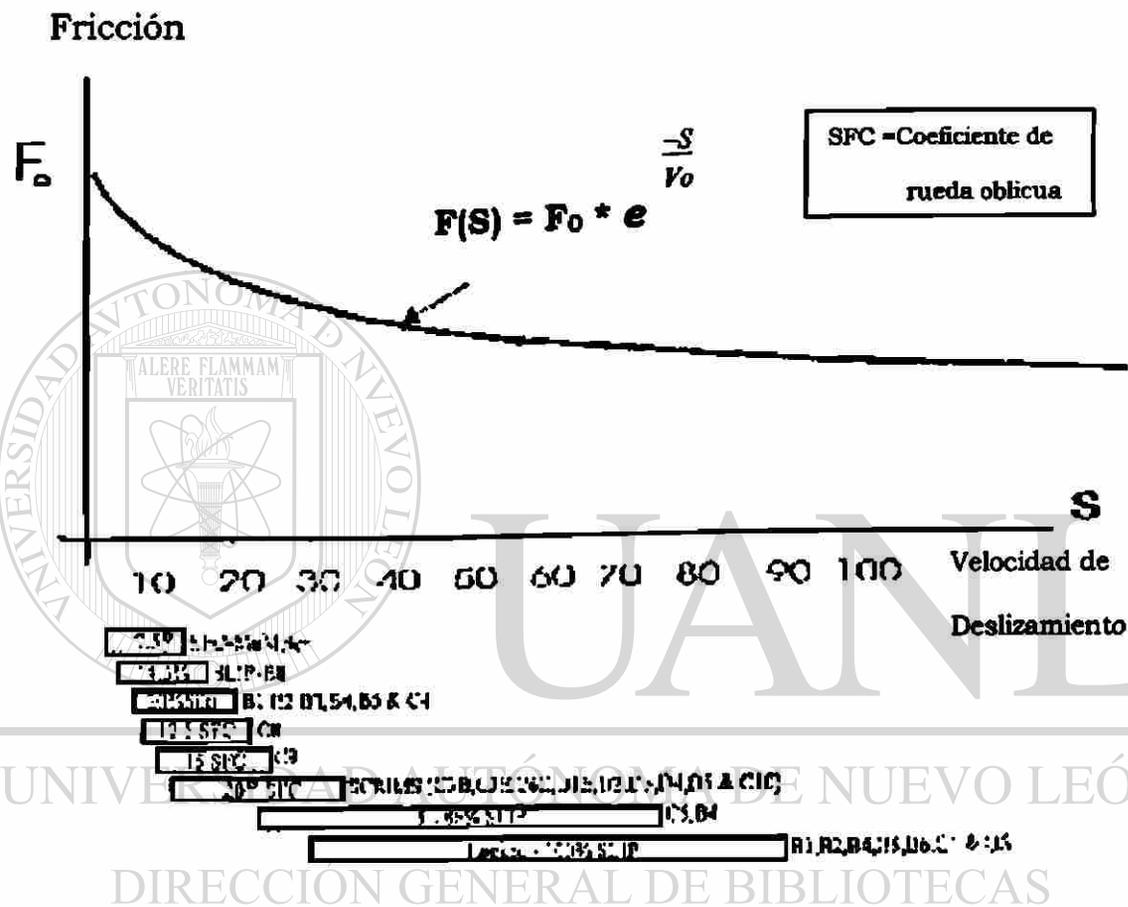


Figura 3.1. Intervalo de deslizamiento para varios equipos graficados en la curva de Fricción-Velocidad de deslizamiento (Mu-Slip speed) para la prueba con velocidades de 30 a 90 kph

El modelo del estado de Pennsylvania fue al principio ligeramente modificado utilizando una constante F_1 (nivel de fricción a 10 Km./h en lugar de 0 Km./h). Esta ecuación, modificada, da los mismos valores de $F(S)$, pero tiene constantes diferentes. El modelo modificado es el siguiente.

$$F(S) = F_1 * e^{\frac{10-S}{10}}$$

Donde:

F_1 es el valor de $F(S)$ a 10 Km./h



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



III.II.II Desarrollo de la Curva de referencia (Golden Values)

El pensamiento inicial para utilizar F1 en vez de F₀ (del Penn Model) era que muchos de los coeficientes de la rueda oblicua (SFC) y los equipos con llanta semibloqueada (SLP) pudiesen correlacionarse adecuadamente con F1. De cualquier modo, estas correlaciones sólo serían correctas, si se incluye una medición de textura para obtener buenos resultados. Posteriormente, se decidió utilizar una llanta lisa para trazar la *Curva Idealizada*, con el propósito de llegar a su estandarización y armonización, debido a la sensibilidad que tiene la velocidad de deslizamiento a 60 kph o más, con la macrotextura y microtextura.

Debido a que la curva de fricción – velocidad de deslizamiento es distinta para cada equipo, aún cuando se ensaye en el mismo pavimento, “la interpretación adecuada de los datos que arroje ésta estará restringida al equipo utilizado y a la experiencia que se tenga de éste para el manejo de sus datos”.

Es por ello que, para mejorar esta situación y armonizar la medida de los equipos, se llevó a cabo el Experimento Internacional, estableciendo

con sus resultados el procedimiento que permite ajustar las curvas de cada equipo alrededor de una CURVA DE REFERENCIA IDEALIZADA “GF(S), GOLDEN VALUES”, que representa la función Fricción-Velocidad de Deslizamiento “real o idealizada” de un pavimento.

Las curvas obtenidas (Figura 3.5) con este procedimiento por diferentes equipos estarán, si el proceso de armonización ha sido eficaz, muy próximas unas de otras y muy próximas también de la "Curva de Referencia" ("Golden Value"), cuya expresión es:

$$GF(S) = GF60 * e^{\frac{60-S}{GS}}$$

..... Ecuación 3.1

donde:

GF(S) Es la fricción en la Curva de Referencia idealizada correspondiente a una velocidad de deslizamiento (S)

GF60 Es el valor de la fricción en la Curva de Referencia, a una velocidad de deslizamiento de 60km/hr.

S Es la velocidad de deslizamiento (Slip) del equipo durante el ensayo.

GS Es la constante que representa la influencia de la velocidad en la Curva de Referencia.

III.II.III Modelo de la PIARC

El modelo PIARC relaciona la fricción de un pavimento con la *velocidad de deslizamiento* de un vehículo, sobre la superficie de rodamiento. El modelo es de tipo exponencial y se describe en función de una constante "FR₆₀", referida a la velocidad de deslizamiento a 60kph. Esto permite convertir la medida de fricción realizada a cualquier velocidad (**FR_s**), a una medida de fricción de 60kph (**FR₆₀**), a partir de una constante de referencia de la velocidad (**V_p**).

Como ya se dijo anteriormente, por definición, la pareja de valores indicados por (**F60, V_p**) se designa como el Índice de Fricción Internacional (**IFI**) de un pavimento, su conocimiento permite dibujar la *curva de referencia estimada* de Fricción- velocidad de deslizamiento, que representa la condiciones prevaeciente del pavimento. ®

La Figura 2 representa de forma esquemática el modelo PIARC que describe la curva de "Fricción - velocidad de deslizamiento" de un equipo determinado.

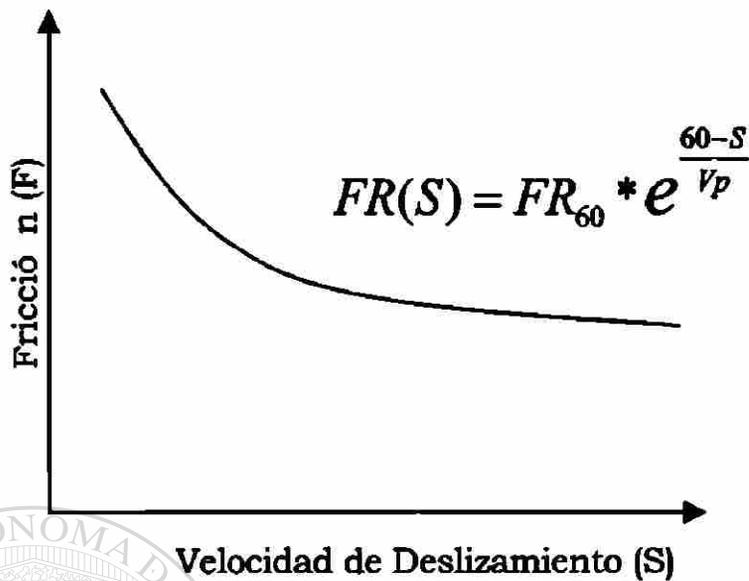


Figura 3.2. Curva de Fricción - Velocidad de deslizamiento
(Modelo PIARC)

A continuación se presenta el procedimiento del modelo PIARC para la determinación del Índice de fricción Internacional y su curva idealizada de Fricción - Velocidad de deslizamiento:

1. *Primero se determina el valor de la constante de referencia de velocidad V_p , basándose en el valor de las medidas de la Macrotextura (T_x) obtenida en campo.*

Cabe señalar que durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento, se ha comprobado que la constante V_p de la velocidad de referencia se podía determinar mediante una regresión lineal, en función de la medida de la *Macrotectura* (T_x) tal que:

$$V_p = a + (b * T_x) \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.2}$$

Donde los valores de:

a y **b** son constantes según el equipo de medición de textura. Para el Círculo de Arena (Fig.3.A8SP)

$$a = -11.59$$

$$b = 113.63$$

T_x es el valor de la *Macrotectura* obtenido en campo.

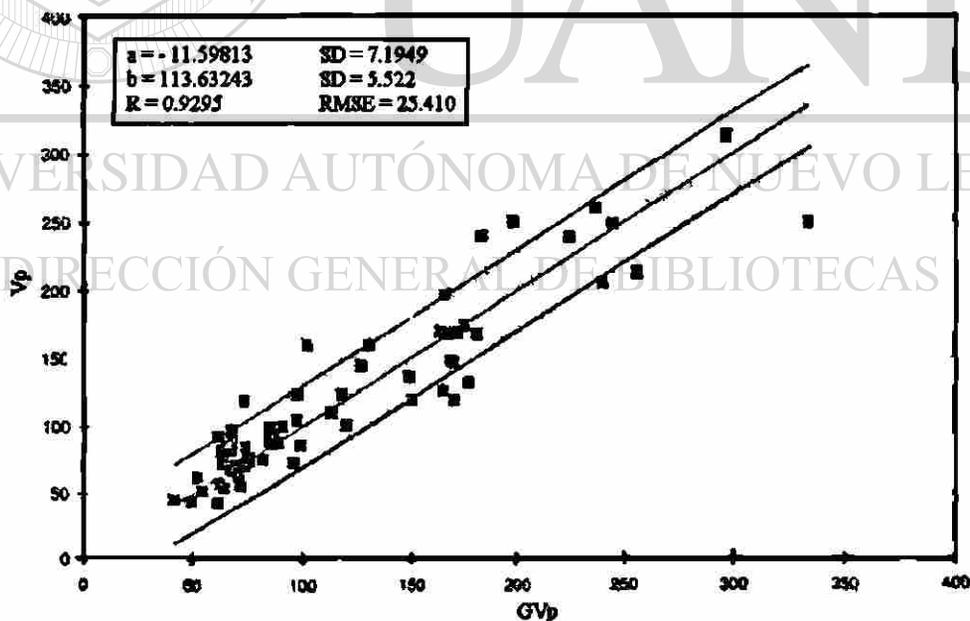


Figura 3.3.A8SP. Valores de las constantes **a** y **b** con base en la correlación de V_p (con un equipo A8) con GV_p usando el modelo PIARC

$$V_p = a + (b * T_x)$$

2. Determinación del Valor de FR_{60} .

a) Se mide el valor de la fricción (FR_s) en el campo, con alguno de los equipos establecidos, a una velocidad de deslizamiento (S) dada.

b) Dependiendo del equipo, la velocidad de deslizamiento (S) estará *afectada por* la condición de la llanta de prueba, tal que:

i) $S =$ Velocidad del Vehículo (V) durante el ensayo

para equipos con Rueda Bloqueada

ii) $S =$ Velocidad del Vehículo (V) *(% de Deslizamiento)

para equipos con Rueda Parcialmente Bloqueada

iii) $S =$ V. del Vehículo * Sen ($\alpha =$ Angulo de deslizamiento)

para equipos. con Rueda Oblicua

c) Se determina el valor de la constante " FR_{60} ", a partir del valor de la fricción (FR_s), la velocidad de deslizamiento (S) y la constante

V_p , mediante la expresión:

$$FR_{60} = FR_s * e^{\frac{S-60}{V_p}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.3}$$

3. Obtención del valor idealizado de la fricción (**F60**) con la ecuación:

$$F60 = A + (B \cdot FR60) \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.4}$$

Donde los valores de:

A y **B** son constantes armonización, según el equipo utilizado para medir la Fricción. En el caso del Péndulo de Fricción Británico (Fig.4.A14).

$$A = 0.078$$

$$B = 0.0071$$

FR60 es el valor obtenido en la ecuación anterior

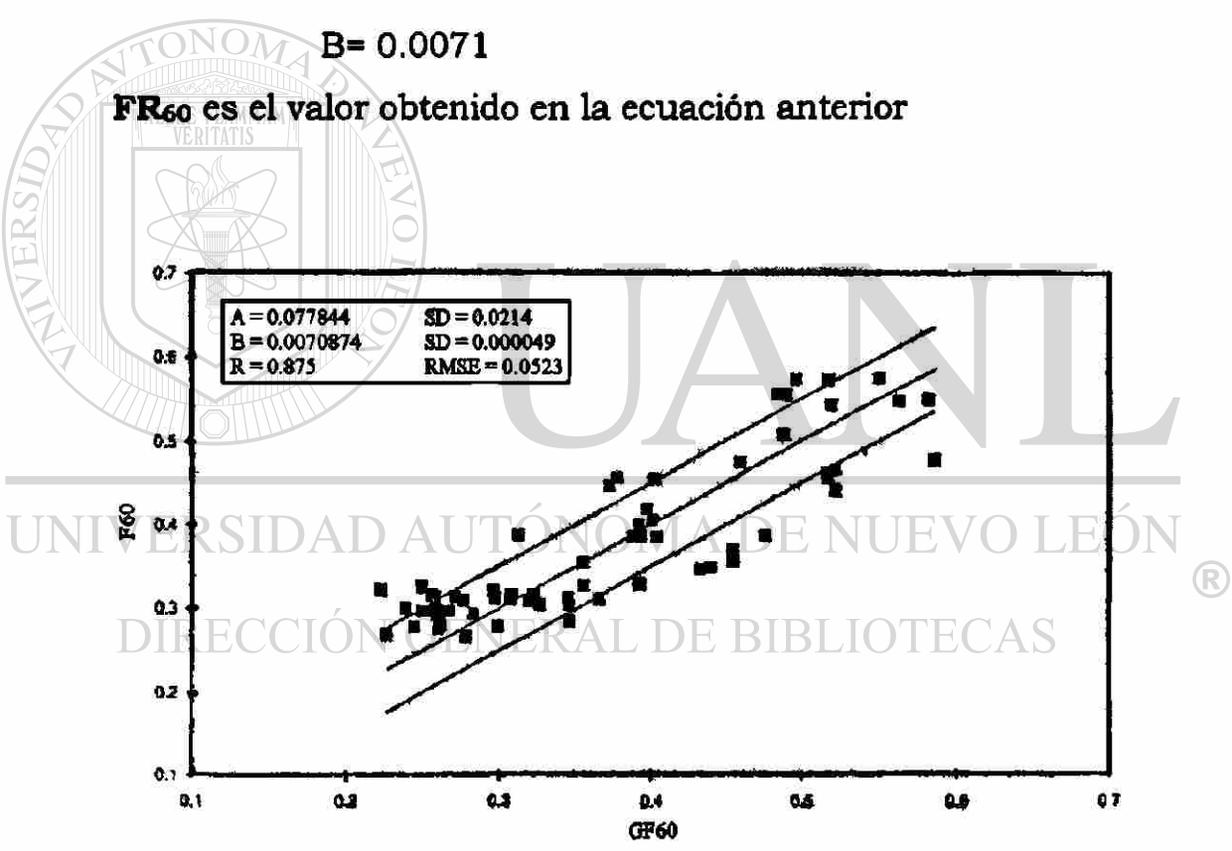


Figura 3.4.A14. Valores de las constantes A y B, basándose en la correlación de F60 (con equipo A14 como medida de microtextura) con GF60 usando el modelo PIARC y donde Vp se determino usando MTD

III.III Notación del IFI(F60, Vp) Según el PIARC

La notación IFI, es el resultado del experimento PIARC por comparar y armonizar los diferentes sistemas de medición y evaluación de la textura y la velocidad d deslizamiento (fricción).

El proceso de armonización permite establecer para cada equipo la fricción de referencia estimada, **F60**, que presumiblemente estará cerca del valor de "referencia o idealizado de GF60".

~~Una vez calculados los parámetros idealizados (o estimados) de referencia "F60" y "Vp" se recomienda elaborar la gráfica de "Fricción~~
~~- Velocidad de deslizamiento" mediante la **Notación 3.1** y los puntos auscultados para concluir con el proceso.~~

$$F(S) = F60 * e^{\frac{60-S}{Vp}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.5}$$

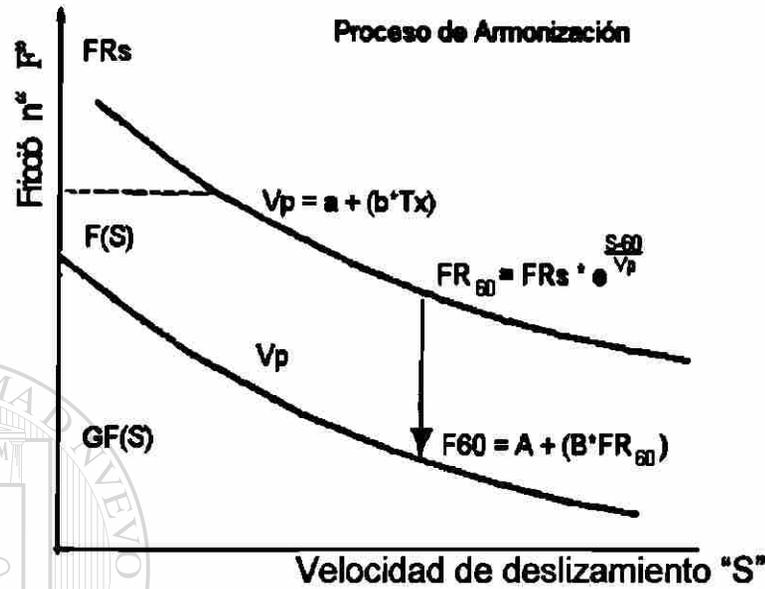


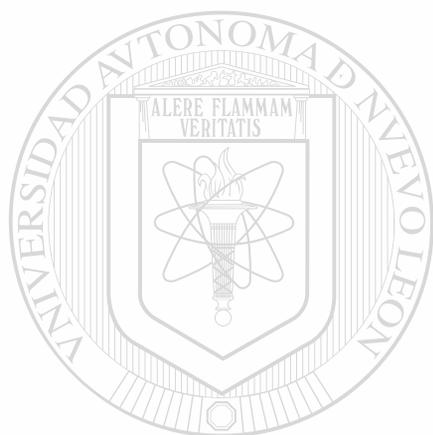
Figura 3.5. Curva de Fricción – Velocidad de deslizamiento (Proceso de Armonización)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En la **Figura 3.5** se observa como una curva de fricción (FR_{60}), de un equipo en particular, se ajusta o armoniza a la ideal de referencia "F60", utilizando los coeficientes de armonización (a, b y A, B) generados en el experimento PIARC.

La ventaja de este método es poder inferir cualquier valor obtenido en campo a un estándar de fricción y de ahí finalmente uno ideal de

referencia que representa las características prevaletientes de fricción y textura, independientemente del equipo utilizado para su medición. Dicha armonización será válida siempre y cuando el proceso haya sido correcto y adecuado.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

III.IV Correlación Entre los Distintos Equipos de Medición

III.IV.I Diferencia y Semejanzas con otros Índices¹

Actualmente, las administraciones de carreteras y aeropuertos utilizan una serie de índices muy diversos asociados y exclusivos, al equipo de medición empleado. Uno de los más conocidos es el **CRT** (Coeficiente de Rozamiento Transversal), obtenido por el equipo **SCRIM** (Sideway Coefficient Routine Inventory Machine) de origen británico y el **SN** (Skid Number = $f \cdot 100$) que es usado ampliamente en Estados Unidos de Norteamérica.

Estos índices representan el valor de la fricción en un pavimento, con una prueba al deslizamiento en determinadas condiciones. Por tanto *no es posible* establecer directamente la equivalencia entre un valor **SN** y un valor **CRT**, debido a sus diferentes sistemas de medición, uno es de rueda bloqueada (como el Péndulo británico) y el otro de llanta oblicua (**SCRIM**) respectivamente.

En cambio, cuando se determina el valor de IFI, se tiene una idea muy aproximada de las características de fricción para diferentes pavimentos, medidos en circunstancias diversas y con equipos distintos.

Cabe señalar, que el *IFI* integra, de forma separada, las dos medidas de *Textura* (la Microtextura y la Macrotextura) necesarias para tener una idea clara de la capacidad de un pavimento para ofrecer una superficie *segura* en condiciones adversas.



III.IV.II Relación entre diferentes condiciones de prueba en la medición de fricción.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
De acuerdo con los estudios de repetibilidad de los equipos para medir[®] la fricción, las tres velocidades de deslizamiento empleadas y distintos niveles de fricción, se ha observado que no existe un comportamiento generalizado con respecto al efecto de la velocidad, ya que algunos equipos utilizados por PIARC se comportan mejor a velocidades altas y otros a velocidades bajas. Además, muchos equipos no muestran tendencias claras respecto a la velocidad.

El resultado del promedio de las correlaciones del *Péndulo* (que dan una idea de la microtextura) con otros ensayos ha sido de sólo 0.689, que no es un valor alto, si consideramos los demás resultados (Tabla 3.2).

En general, la correlación existente entre los distintos equipos utilizados para medir la fricción, ha sido aceptable, de acuerdo con los valores obtenidos en las mediciones hechas por PIARC, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla. 3.2
Correlación simple entre equipos

TIPO DE EQUIPO (Fricción)	Rueda Oblicua	Rueda Parcialmente Bloqueada	Rueda Bloqueada	Péndulo
Rueda Oblicua (<i>Side Force</i>)	0.863	0.819	0.795	0.665
Rueda Parcialmente Bloqueada (<i>Fixed Slip</i>)	0.819	0.834	0.783	0.732
Rueda Bloqueada (<i>Locked Wheel</i>)	0.795	0.783	0.843	0.670
Péndulo (BPT)	0.665	0.732	0.670	0.830

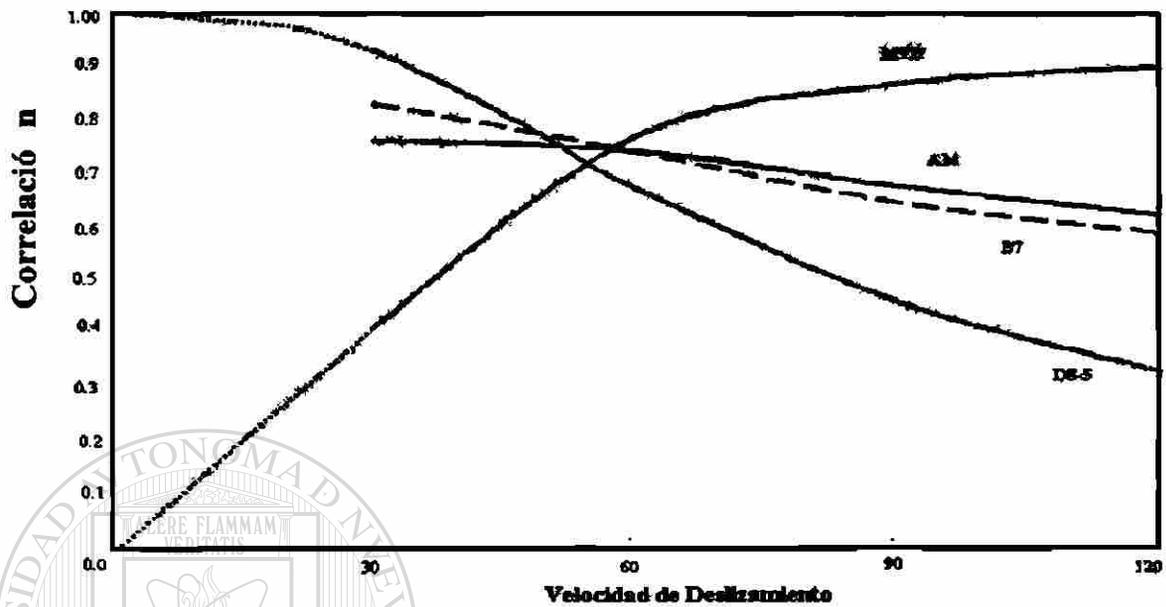


Figura 3.6. Comparación de las mediciones de textura con GF60 como una función de la Velocidad de deslizamiento

$$\text{Correlación } R \text{ de GF(s)} = a + (b * \text{MPD})$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

III.IV.III Relación entre diferentes condiciones de medición de textura.

El parámetro de la macrotextura ha sido clasificado en tres tipos :

MPD.- Equipos que usan perfilómetros para predecir la profundidad promedio de la textura (*Mean Profile Depth*).

RMS.- El cual es la media de la raíz cuadrada del perfil de la textura en milímetros (*Root Mean Square*).

“*Outflow time*”.- Es el resultado de la medida del equipo llamado “outflow meter” [4]

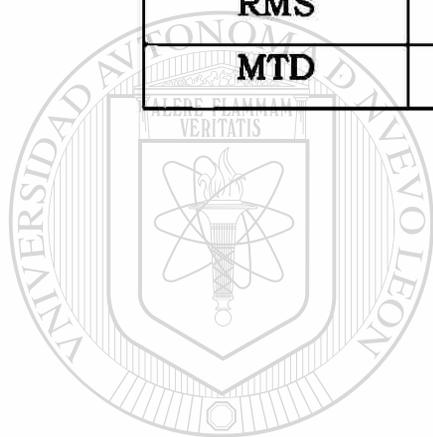
La medida de referencia utilizada por PIARC para realizar las comparaciones entre los distintos valores de la textura fue el ensayo del *Círculo de Arena*, que proporciona un valor medio de la textura (MTD)

Se han encontrado buenas correlaciones (Tabla 3.3), y se ha concluido que es posible estimar la profundidad del ensayo del círculo de arena a partir de las medidas del perfil (MPD), por lo que se recomienda que las ecuaciones derivadas de este experimento se usen para convertir cualquier medida particular en medidas MPD para las aproximaciones a las medidas volumétricas MTD. Considerándose esto como el mejor paso hacia la armonización de las medidas de macrotextura

Tabla 3.3

Correlaciones entre los diferentes métodos de medición de la textura

Parámetro de Textura	Numero de Equipos Usados	Rango del Coef. de Correlación
MPD	5	0.906 – 0.950
RMS	10	0.793 – 0.939
MTD	1	0.929



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

III.V Calibración de Equipos distintos a los que se utilizaron en el experimento de PIARC

Básicamente, la calibración de estos equipos consiste en el procedimiento que se usó para la armonización de los equipos participantes en el experimento internacional (estimar el *Gold Value* con F60 y Vp), es decir la medición de un tramo carretero con ambos equipos para correlacionar los valores obtenidos y ajustarlos después a la curva idealizada.

Por ejemplo, si se utilizara un nuevo equipo de medición, diferente a los utilizados en el experimento de armonización. Primero se deberá medir el tramo de prueba calibrado, con los equipos ya estandarizado por PIARC, como un A2.Tx y el D3.FR_{s,7} para estimar los valores de Vp y F60.

$$V_p = a + (b * Tx)$$

$$F60 = A + (B * FR_s * e^{\frac{S-60}{V_p}})$$

Posteriormente, se mide nuevamente el tramo calibrado; pero ahora con el equipo que se desea calibrar; en este caso, uno al que se llamará Eq.TX, para textura y otro Eq.FR_s, para fricción.

$$V_p = a + (b * Eq. TX)$$

$$F_{60} = A + (B * Eq.FR, * e^{\frac{s-60}{1p}})$$

Hechas las mediciones, se procede a establecer una correlación entre ambos equipos, para obtener las variables **a**, **b**, **A** y **B** de sus ecuaciones respectivas y así poder armonizar los valores con el modelo PIARC.

F60, es el valor de la fricción, idealizada, a una velocidad de deslizamiento de 60 kph.

F(s), es el valor de la fricción, idealizada, a una velocidad de deslizamiento (slip speed) "s" dada.

s, es la velocidad de deslizamiento (*slip speed*), referida en el párrafo anterior, en kph.

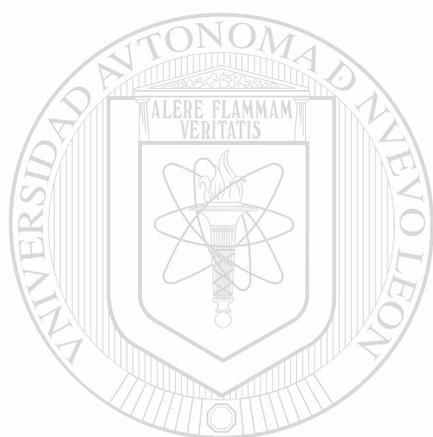
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 3.4Valores de **a** y **b** para estimar la constante de velocidad (V_p)

Macrotextura (TX)	a	b
MTD / Circulo de Arena (Eq.A8, método de prueba E-965)	-11.598	+113.632
MPD /Equipo VTI Mobile laser Profilometer (Eq. A2)	14.234	89.719
MPD /Equipo AEPO-RST (Eq.A3E)	21.9145	317.012
RMS / Láser RST (Eq. A-E, España)	9.6785	215.1516

Tabla 3.5Valores de **A** y **B** para estimar la fricción (F_{60}) usando el modelo PIARC

Equipo (según calculo de V_p)	A	B
(MTD) Péndulo Británico A14 o ASTM E-501	0.0778	0.007087
(MTD) SCRIM del MOPTMA (España)	0.0319	0.8734
(MPD) Péndulo Británico A14 o ASTM E-501	0.5626	0.007564
(MPD) Norsemeter AB4E-SLP-20	0.1191	0.6431
(MPD) Norsemeter AB4E-SW-86	- 0.03033	0.8641
(RMS) Griptester (Eq. D8)	0.08209	0.9104



UANL

CAPÍTULO IV

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL IFI

IV.I Aplicación del Modelo IFI en Carreteras Nacionales

Dentro de las aplicaciones que tiene el modelo PIAR, para determinar el Índice de Fricción Internacional (IFI), es el diseño y administración de los pavimentos para carreteras de alta velocidad (principalmente), mediante el monitores de la superficie de rodamiento.

Este monitoreo se logra, mediante la medición de la profundidad media de la textura (TX) y el coeficiente de resistencia al deslizamiento, relacionado con la fricción (FRs), por medio del método del círculo de arena y el péndulo británico TRRL, respectivamente para este caso.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

IV.1.1. Equipo Utilizado

Brigada 1. Macrotextura	Cantidad
▪ Arena silica graduada limpia y seca	20 kg
▪ Vaso de precipitados	4 pz
▪ Escoba	2 pz
▪ Regla graduada	4 pz
▪ Mallas No.40, 70 y 100	Reúso de arena

Brigada 2. Coef. Resistencia al deslizamiento	Cantidad
▪ Péndulo Británico (TRRL) y accesorios	1 Eq
▪ Garrafón con agua	20 lts
▪ Botes para agua (Chicos)	2 pz
▪ Embudo	1 pz

Brigada 3. Seguridad	Cantidad
▪ Banderolas	4 pz [®]
▪ Conos	30 pz
▪ Chalecos reflejantes	6 pz

Complementarios:

Agua potable, Cámara digital (con accesorios), Libreta de campo, Hojas blancas, Lápices, Marcadores de pavimento, Lonas, Impermeables, Lámparas y Juego de herramientas mecánicas.

IV.I.II Consideraciones y Procedimiento de Ensayo (Basado en PIARC)

1. Los tramos en estudio se consideraron de 500 m de longitud.
2. Cada tramo se dividió en segmentos de 50 m.
3. Cada segmento se dividió en tres secciones transversales (perfil externo, central e interior del carril) tratando, en lo posible, de tomar las lecturas en las roderas y la parte central del carril.
4. Los tramos de auscultación se señalizaron convenientemente según el manual de la SCT  y las condiciones prevalecientes en el camino (Figura 4.1) .
5. El Personal de trabajo se dividió en tres brigadas según el trabajo a realizar.
 - Brigada 1, para medir la textura superficial con el método del círculo de arena (Norma NLT 335/87).
 - Brigada 2, para medir las propiedades de fricción usando el Péndulo Británico (Norma ASTM E-303-93).
 - Brigada 3, personal de seguridad (Bandereros) para el control del tránsito en los tramos de auscultación.

6. Las medidas de la textura se llevaron a cabo antes de realizar las mediciones de fricción, es decir, antes de mojar el pavimento.

En la siguiente figura se observa cómo puede hacerse el desvío de vehículos, para poder hacer la auscultación de la superficie de rodamiento.



Circulación



Bandereros

Figura 4.1. Desvío del tránsito en una carretera

A continuación se presentan los datos obtenidos de las mediciones con el círculo de arena y el péndulo de británico (TRRL) se obtuvieron los siguientes resultados de los tramos carreteros estudiados en:

- Querétaro
- Monterrey.

La memoria de cálculo se anexa en el **apéndice 2**.



IV.I.III. Caso Querétaro.

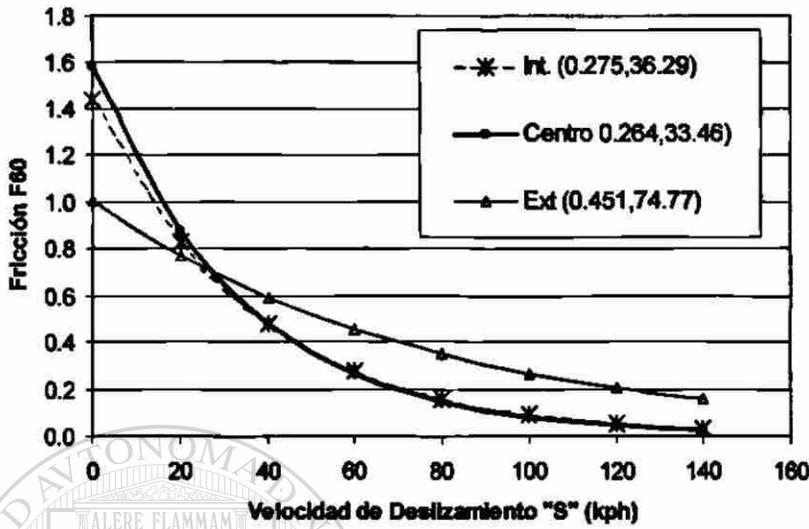
UANL

La selección de los tramos analizados para determinar el Índice de Fricción Internacional, en el estado de Querétaro, obedece a los análisis que ha efectuado el Instituto Mexicano del Transporte, sobre el Índice de Regularidad Internacional (IRI), con anterioridad, en dichos tramos.

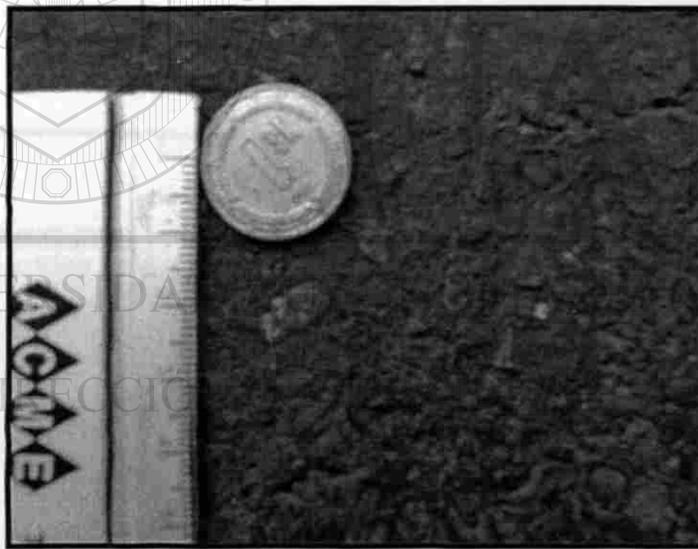
Las figuras **4.1** a la **4.2** muestran en general:

- (a) El comportamiento de los datos obtenidos en campo, referenciados en la escala IFI. Esto se complementa con
- (b) Fotos del pavimento estudiado.

▪ **PARQUE INDUSTRIAL BERNARDO QUINTANA (0+000KM)**



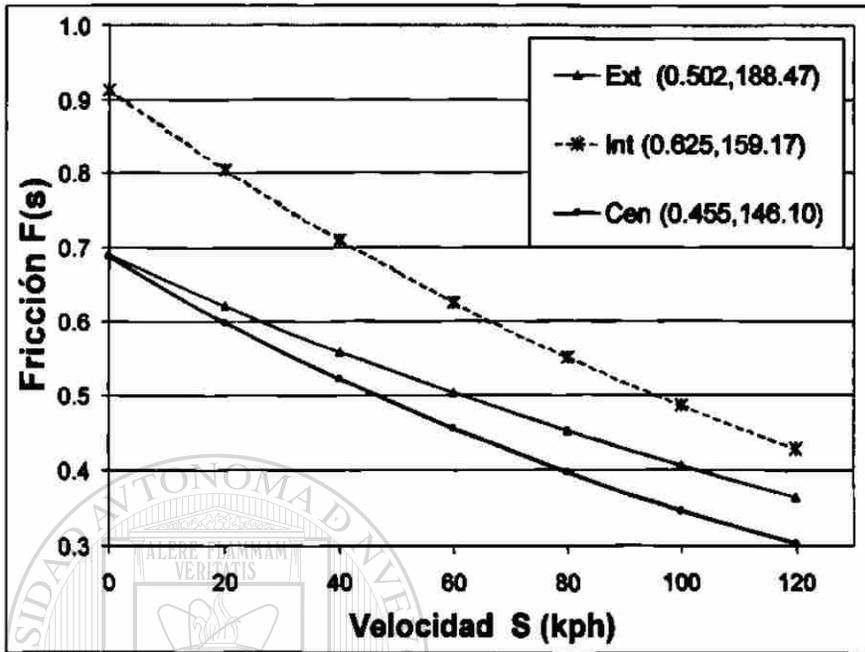
..... (a)



..... (b)

Figura 4.2. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

▪ SANFANDILA - IMT



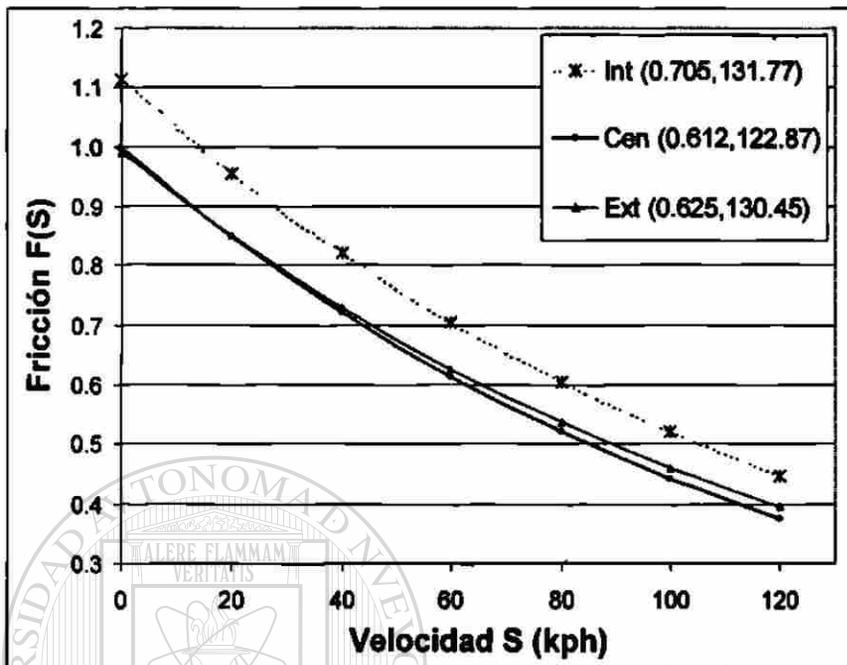
..... (a)



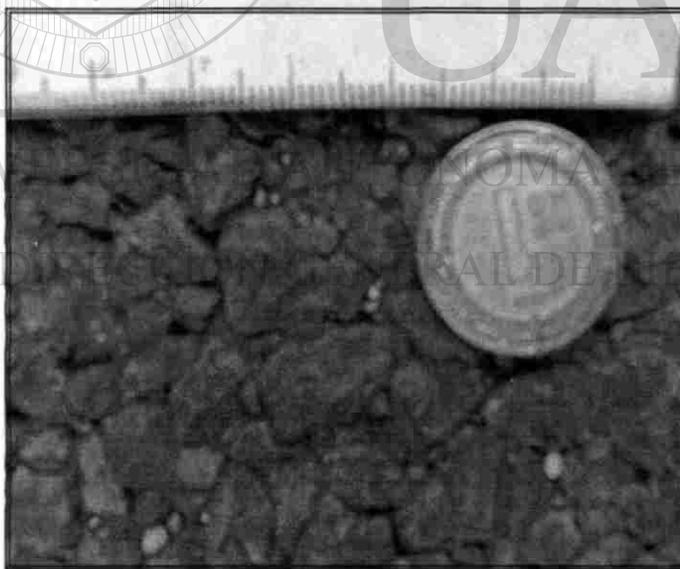
..... (b)

Figura 4.3. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

▪ **IMT - LA VENTA**



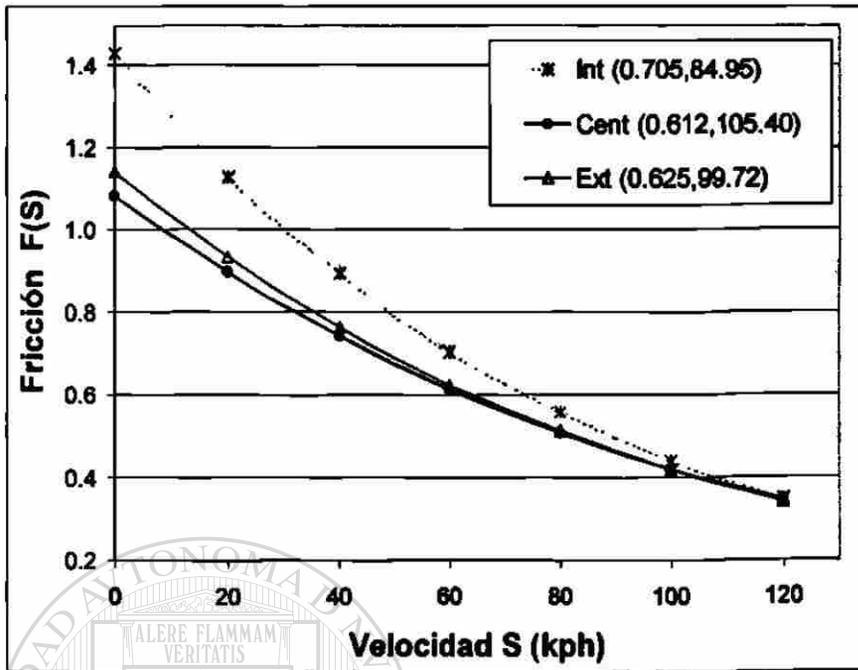
..... (a)



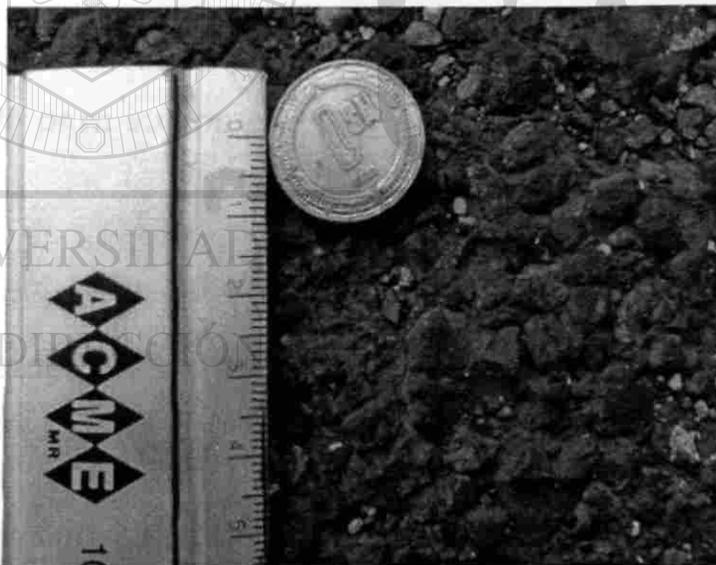
..... (b)

Figura 4.4. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

▪ LA VENTA - PEDRO ESCOBEDO



..... (a)



..... (b)

Figura 4.5. Comportamiento del modelo en los tres perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

IV.I.IV. Caso Monterrey.

La selección de estos tramos se basó en el análisis de las estadísticas de accidentes en condiciones húmedas, de acuerdo con la información proporcionada por la Unidad General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, en Nuevo León.

Cabe mencionar que también se propuso el estudio en este Estado, debido a la características prevaletentes de sus superficies de rodamiento, tanto en las carreteras como en las arterias de la ciudad, que se pulen rápidamente por el agregado calizo (típico de la zona) utilizado para su contracción.

Debido a todo lo anterior, se podrá observar, que en los tramos presentados en las **Figuras 4.6 a la 4.11**, se observan valores muy bajos de F60 y Vp, debido a las condiciones de su superficie de rodamiento casi lisa, correspondientes a valores de profundidad de la macrotextura (TX) menores a los 0.2 mm (promedio del tramo)

▪ **CD. VICTORIA-MTY: KM 268+000 (RUTA 85)**

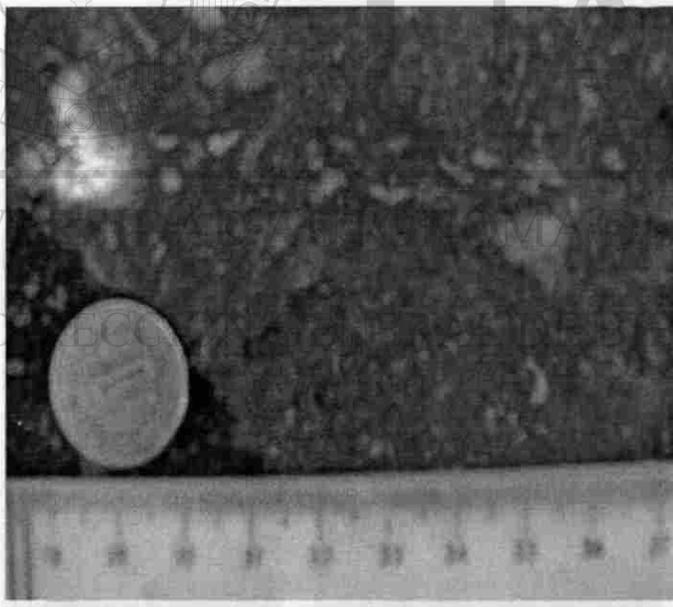
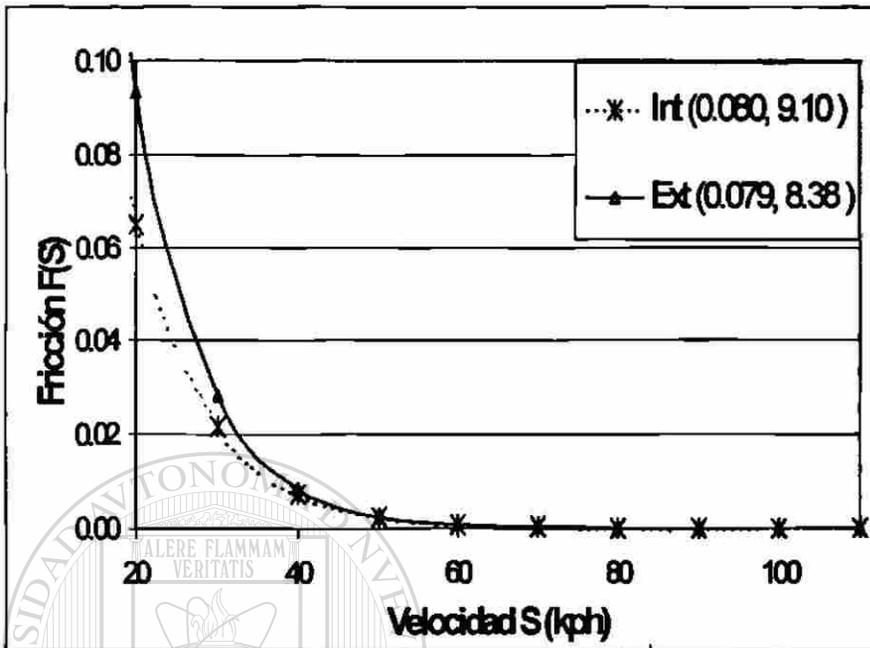


Figura 4.6. Comportamiento del modelo en uno de los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

▪ **MTY-REYNOSA: KM 23+000 (RUTA 40)**

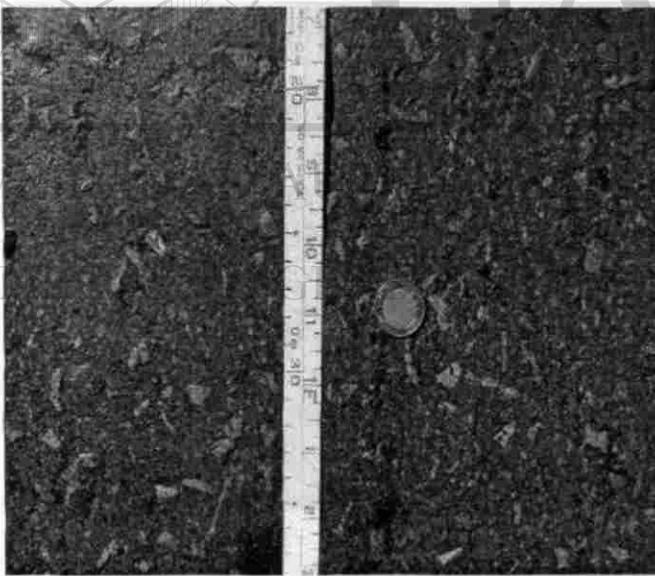
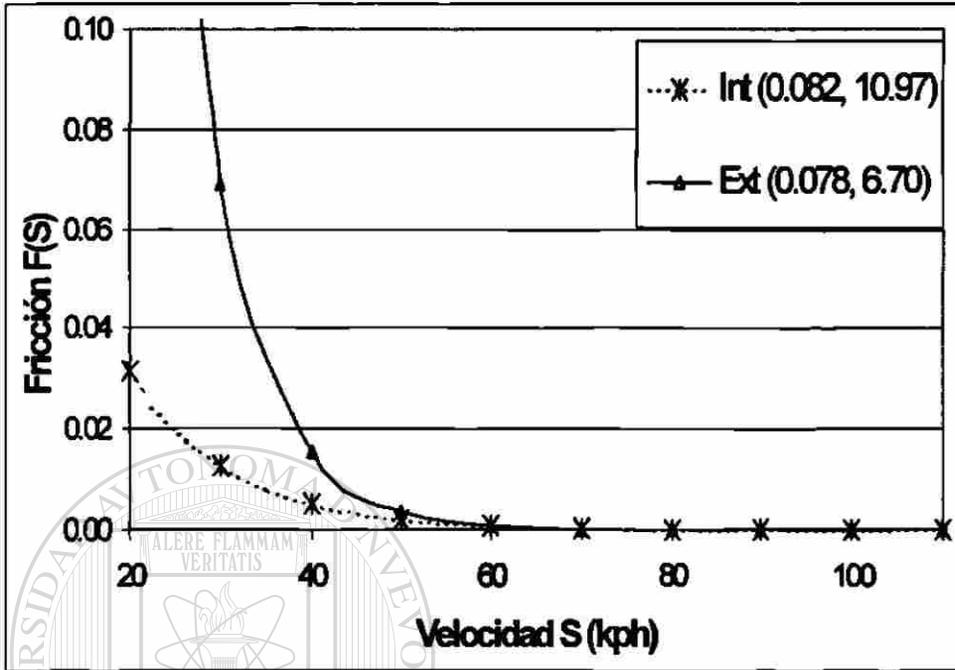


Figura 4.7. Comportamiento del modelo en uno de los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

▪ **MATEHUALA-SALTILLO: KM 207 (RUTA 57)**

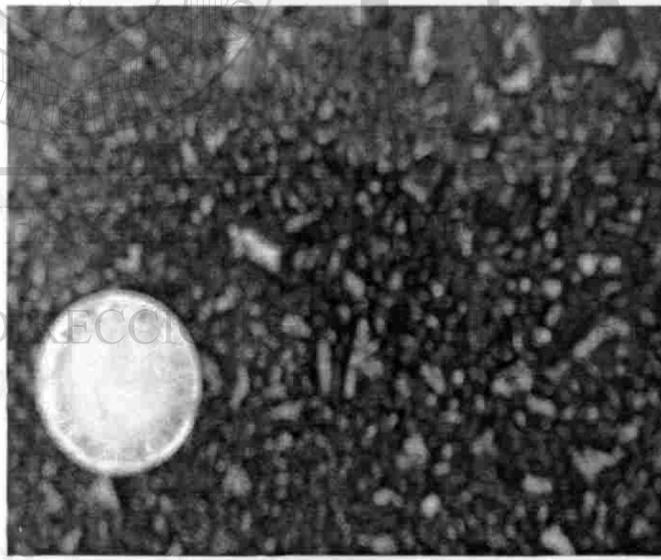
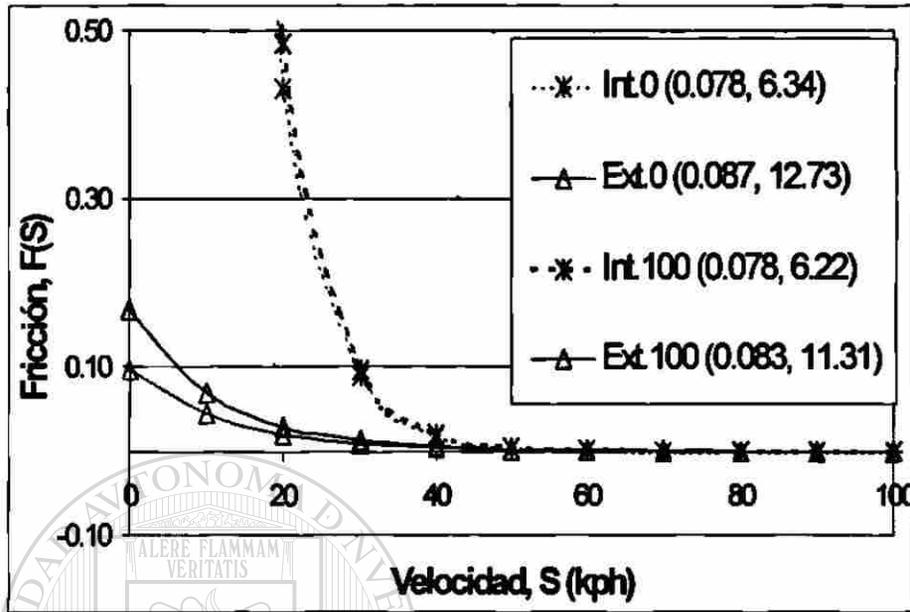


Figura 4.8. Comportamiento del modelo en dos perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b).

▪ **CD. VICTORIA – MTY: KM 211+000 (RUTA 85)**

En la Figura 4.9 (a), se puede observar un comportamiento distinto entre el pavimento nuevo y el viejo. El pavimento viejo presentaba severos agrietamientos, del tipo “piel de cocodrilo”, desprendimientos de carpeta y una excesiva pérdida de asfalto en la parte superficial, originando desprendimiento del pétreo.

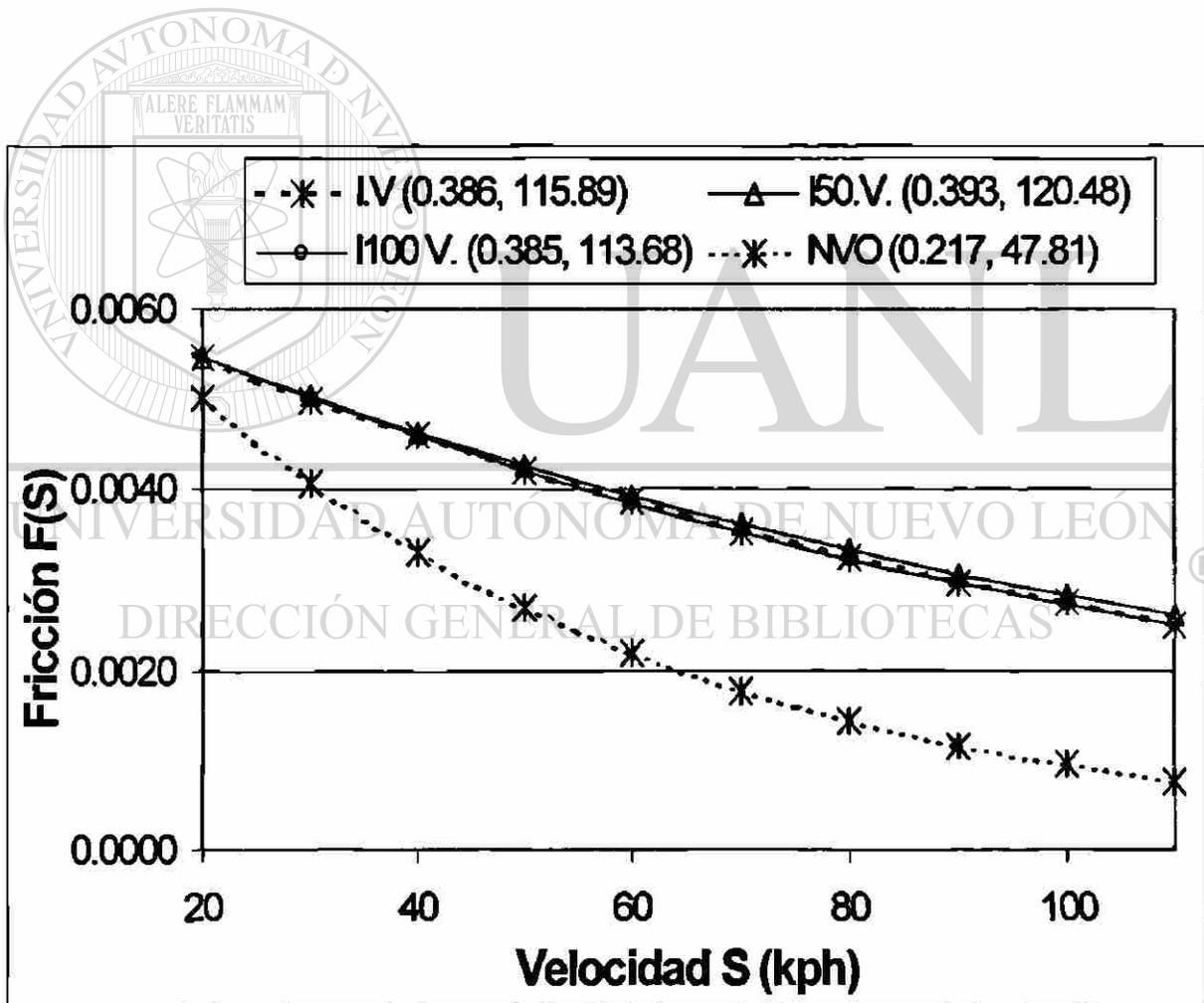
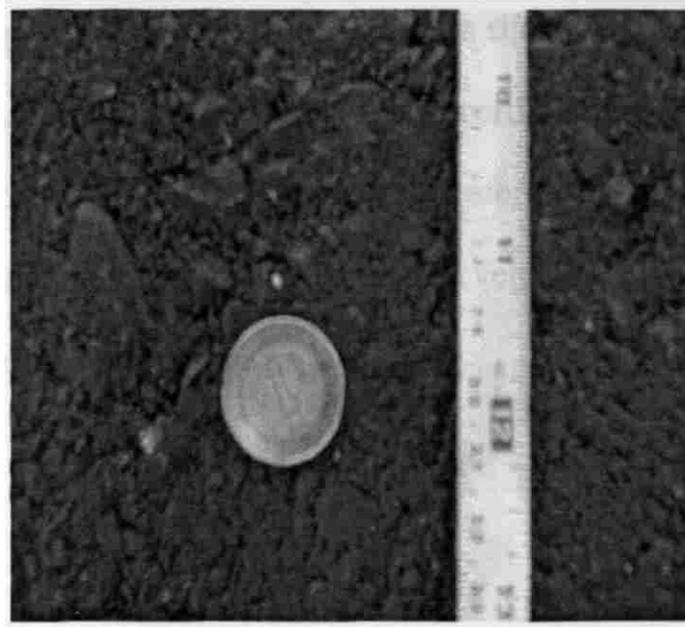
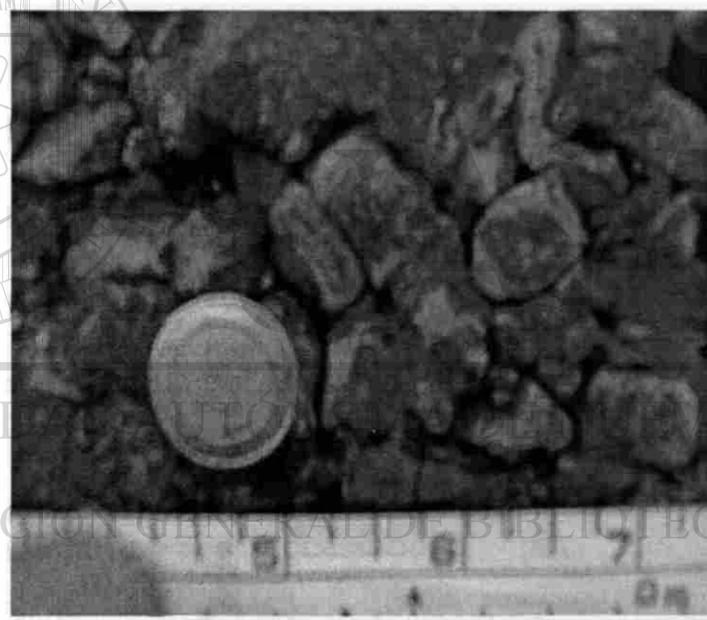


Figura 4.9 (a)



(b)



(c)

Figura 4.9. Comportamiento del modelo en los perfiles(a), así como la apariencia representativa del pavimento nuevo (b) y el viejo(c).

Aún cuando el pavimento tiene escasos dos días de haber sido colocado presenta una superficie cerrada con una profundidad (TX) de 0.5 mm lo cual permite un máximo de velocidad de referencia de operación de 45 km/hr, para una carretera con límite de velocidad de 65 kph (según señalamiento existente en el lugar).

▪ **MTY- CD. MIER Y LIBRAMIENTO NW**

En los tramos Monterrey - Ciudad Mier (Ruta 54) y el Libramiento Nor-Oriente (Ruta Mex-NL), correspondientes a las **Figuras 10 y 11**, se pudo observar un comportamiento distinto al que comúnmente debe tener la línea de tendencia del modelo IFI (PIARC).

Este comportamiento es ocasionado por las características prevaletientes de la superficie de rodamiento (excesivamente pulida), lo cual ocasiona valores de fricciones idealizadas y la constante de referencia de velocidad (F_{60} , V_p) que se salen del intervalo del modelo; esto, a su vez, origina valores de $F(S)$ sumamente exagerados para una pequeñas velocidad de deslizamiento (S).

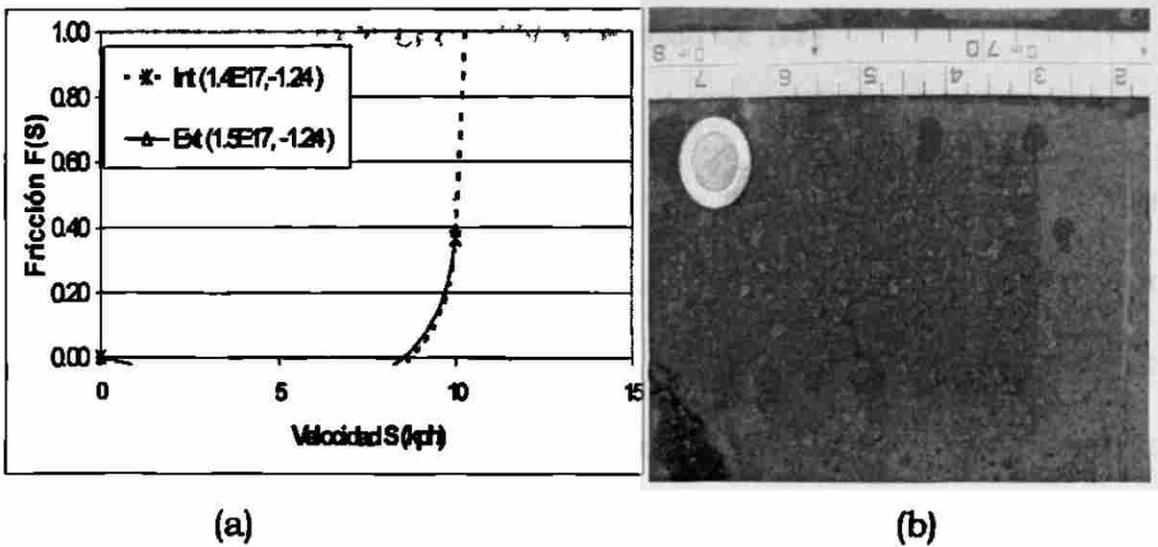


Figura 4.10. Comportamiento del modelo en los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b), en la carretera Monterrey - Cd. Victoria

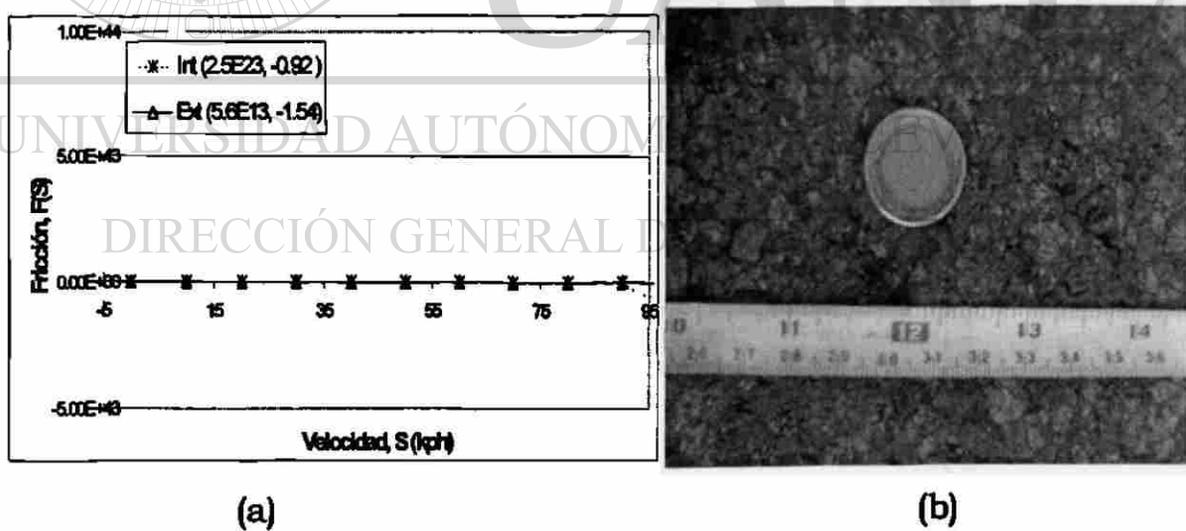


Figura 4.11. Comportamiento del modelo en dos perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento (b). En el libramiento NW

▪ **MATEHUALA-SALTILLO: KM 126 (RUTA 57)**

En la **Figura 4.12 (a)** se aprecia claramente el comportamiento de dos tipos de acabados. En este caso, el pavimento con superficie de concreto asfáltico presenta una superficie muy pulida, con una profundidad promedio (TX) de 0.08 mm, para drenar el agua; así como una resistencia promedio al deslizamiento (FRs), en el tramo de 57%, lo cual proporciona como resultado valores de IFI fuera del intervalo.

En e caso del concreto hidráulico, los valores de deslizamiento obtenidos con el péndulo fueron 32% (en promedio) más altos que el del pavimento de concreto asfáltico. A pesar de esto, el acabado no es del todo bueno, ya que tiene una profundidad de desalojo de agua de 0.35 mm (la más baja), obteniéndose con estos resultados velocidad de referencia (Vp) alrededor de 47 kph.

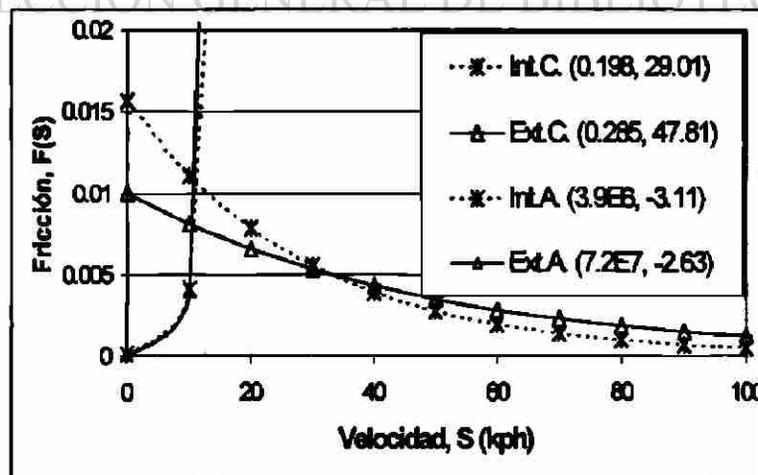
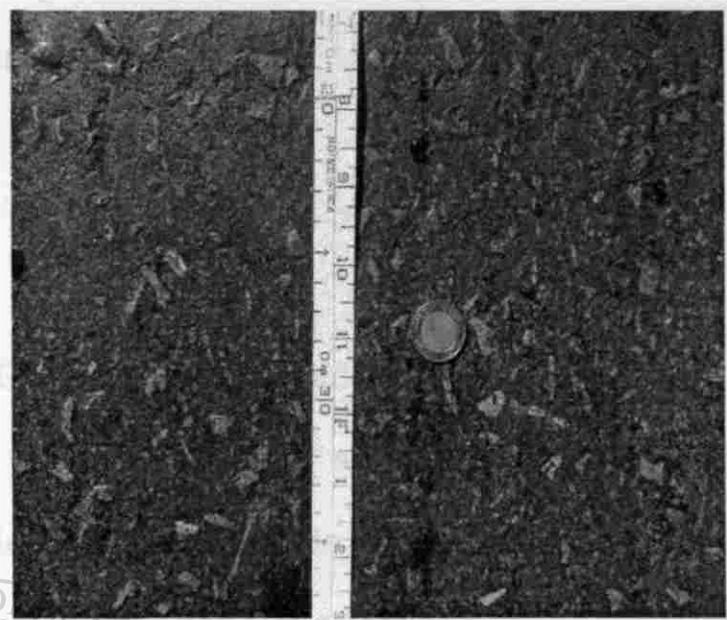
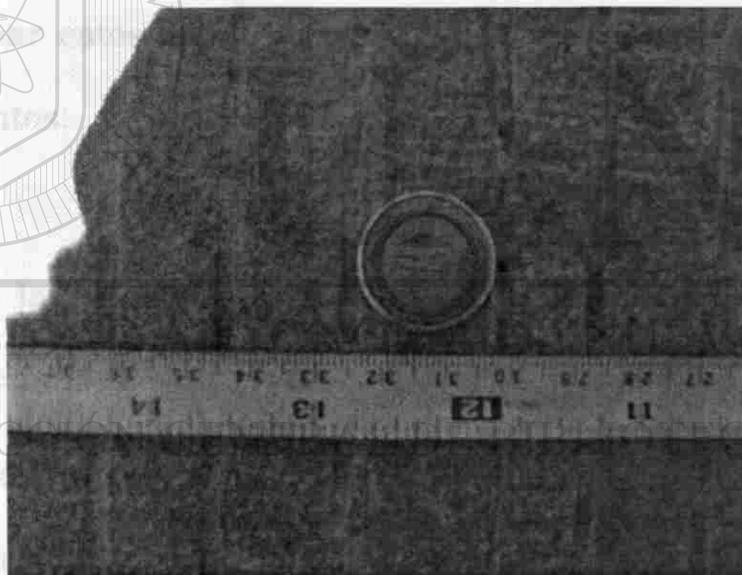


Figura 4.12 (a)



(b)



(c)

Figura 4.12. Comportamiento del modelo en los perfiles (a), así como la apariencia representativa del pavimento asfáltico(b) y del pavimento de concreto hidráulico (c).

IV.II. Interpretación de la gráfica de Aceptación o Rechazo

El modelo PIARC puede ser utilizado en la administración de pavimentos o como parte de un análisis de sensibilidad, estableciendo niveles de intervención del IFI, considerando ciertos valores o niveles mínimos de fricción y textura (normados o supuestos).

Para determinar estos niveles de intervención, deben considerarse los siguientes puntos:

- Basarse en las normas establecidas sobre fricción y textura de cada país ó, en su defecto,
- Apoyar investigaciones para determinar valores de fricción y textura que garanticen la operación vehicular de acuerdo con las condiciones prevalecientes y las necesidades requeridas en cada país o zona geográfica.
- Adaptación de normas extranjeras, según las necesidades prevalecientes en el país, previo estudio que lo sustente.

Una vez definidos estos valores de intervención*, la Figura 4.13 muestra cómo debe interpretarse cada zona de la gráfica de aceptación o rechazo propuesta por PIARC, para así poder considerar si el tramo en estudio tiene o no las características adecuadas de fricción y textura.

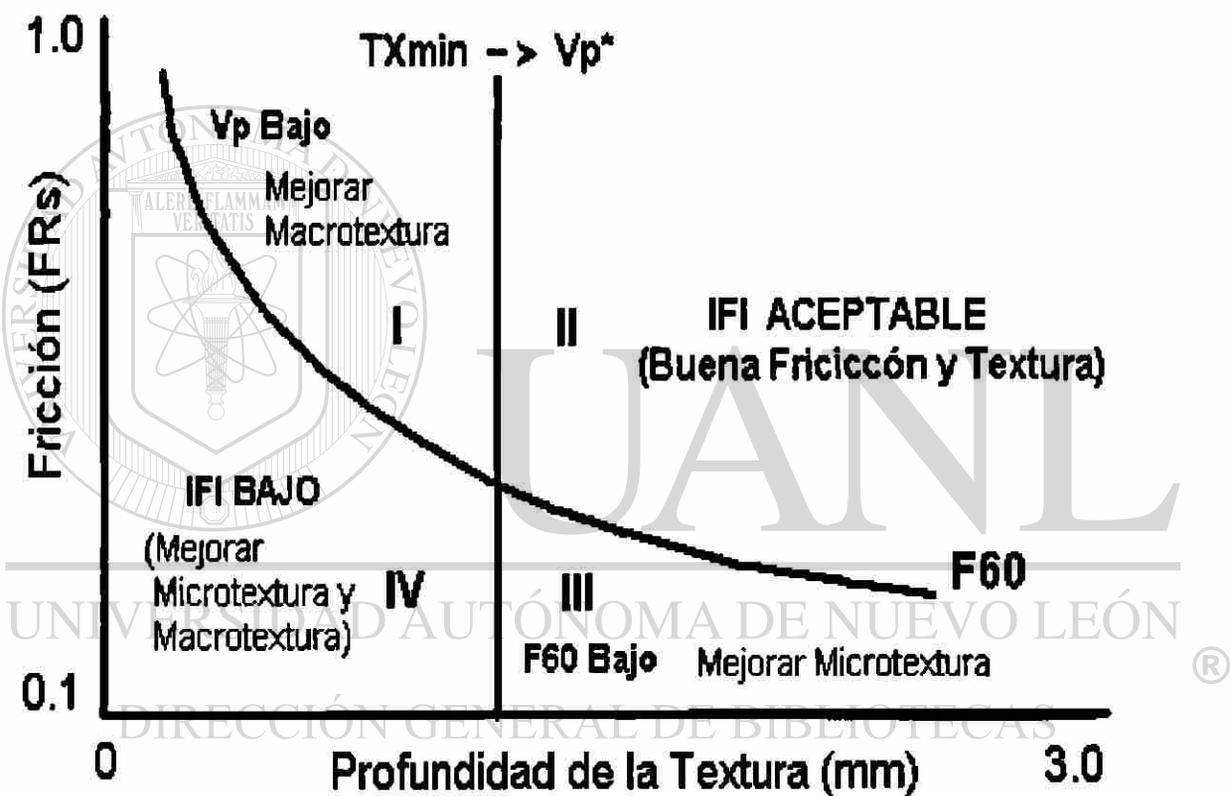


Figura 4.13. Interpretación de las zonas del diagrama de Fricción, contra. Macrotextura

Cada cuadrante de la gráfica indica determinada condición de la superficie de rodamiento estudiada, tal como se explica a continuación:

- I. En el primer cuadrante se observa que la superficie de pavimento requiere mejorar la macrotextura. Esto podrá ser posible mejorando con la colocación de un riego de sello o una micro carpeta, con el diseño adecuado, que permita desalojar el volumen de agua que se presente por la precipitación específica de ese lugar.

- II. En el segundo cuadrante, (siguiendo las manecillas del reloj), según nuestros límites de $F60$ y Vp , se encontrarán los puntos que cumplen para una adecuada micro y macrotextura, según las necesidades de determinada carretera.

- III. En el tercer cuadrante, se aprecia que se requiere mejorar la microtextura, y que esto podrá ser si se mejora la calidad del material pétreo de la carpeta (o si se utiliza concreto).

- IV. En el cuarto cuadrante, se presenta la situación más crítica del pavimento, ya que se requiere mejorar ambas, la micro y la macrotextura.

Con base en lo anterior, la aplicación práctica de los conceptos PIARC en la ingeniería vial, redunda en los siguientes dos casos:

- *Primer caso.-* Como apoyo para proyectar una superficie de rodamiento adecuada al diseño requerido. Es decir, definir en condiciones críticas (pavimento mojado) y características de diseño establecidas (velocidad, geometría, etc.), una textura mínima que evite lo más posible el derrapamiento ocasionado por el fenómeno de hidroplaneo y garantizar el contacto entre el neumático y el pavimento.
- *Segundo caso.-* Dichos parámetros servirían para evaluar una carretera y establecer criterios que permitan definir, si cierto tramo requiere o no de mantenimiento para recuperar (o mejorar) sus características superficiales iniciales de microtextura (Fricción) y/o macrotextura (capacidad drenante, ruido, etc.).

A continuación se mostrarán las gráficas generales de las auscultaciones realizadas en Querétaro y en Monterrey, según los conceptos establecidos por PIARC, para aceptar o rechazar las características de textura prevaletientes en la superficie de rodamiento de un pavimento dado.

IV.II.I. EL CASO QUERÉTARO.

Como caso particular, el tramo del parque industrial “Bernardo Quintana” (Figura 4.14), muestra cómo puede afectar la velocidad o la fricción definida como de intervención, ya que al manipular estos parámetros, los puntos analizados se pueden interpretar de diferente forma tal que:

- Si consideramos una velocidad de operación de 40 kph y una fricción mínima de 0.30, gran parte de los puntos (dentro de la nube de datos obtenidos) unos no cumplen y otros sí; por lo que, en general, se sugeriría la aplicación de una acción correctiva, en el corto plazo.
- Por otra parte, si se aumentara la velocidad de operación a 100kph, ningún punto cumpliría con los parámetros necesarios de IFI, debido a que la nube de puntos se localiza en el cuarto cuadrante y por lo tanto, se sugiere mejorar tanto la microtextura como la macrotextura para considerar que el camino funcionara adecuadamente.

Por otra parte, en las Figuras 4.15 a la 4.17 es posible observar un mejor comportamiento de la nube de datos obtenidos, al caer éstos dentro del segundo cuadrante, correspondiente (según el modelo), a un tramo en buenas condiciones, en donde su superficie de rodamiento cuenta con la textura necesaria para sustentar la velocidad de operación supuesta.

▪ **PARQUE INDUSTRIAL “BERNARDO QUINTANA”**

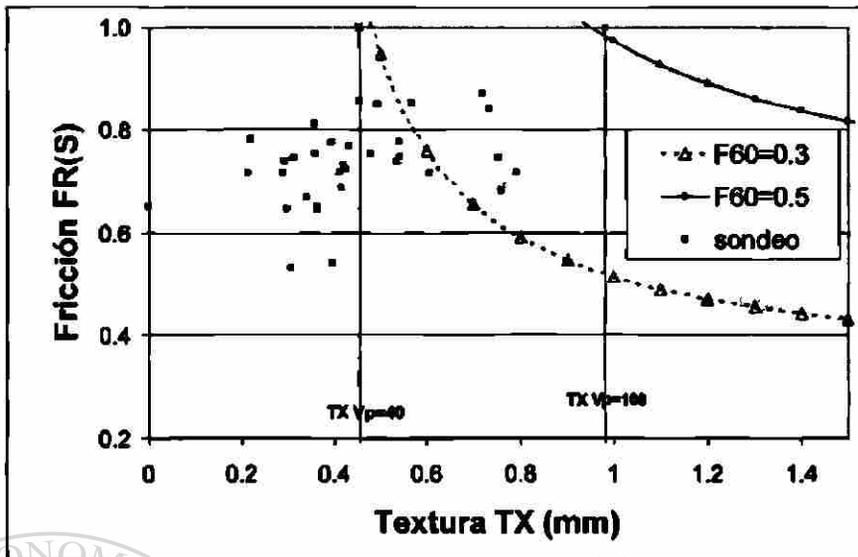


Figura 4.14. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 46.8 cm y de las lecturas del péndulo de 73.1

▪ **SANFANDILA – IMT**

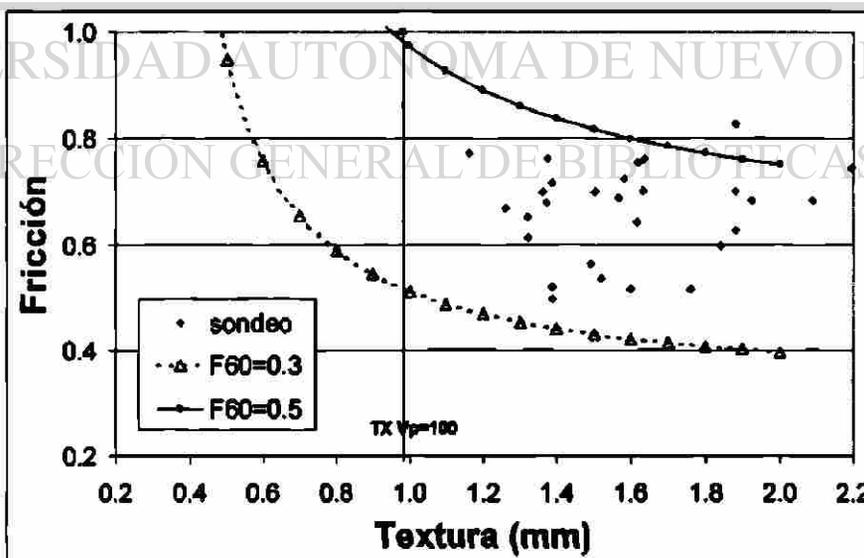


Figura 4.15. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 23.5 cm y de las lecturas del péndulo de 66.16

▪ **IMT - LA VENTA**

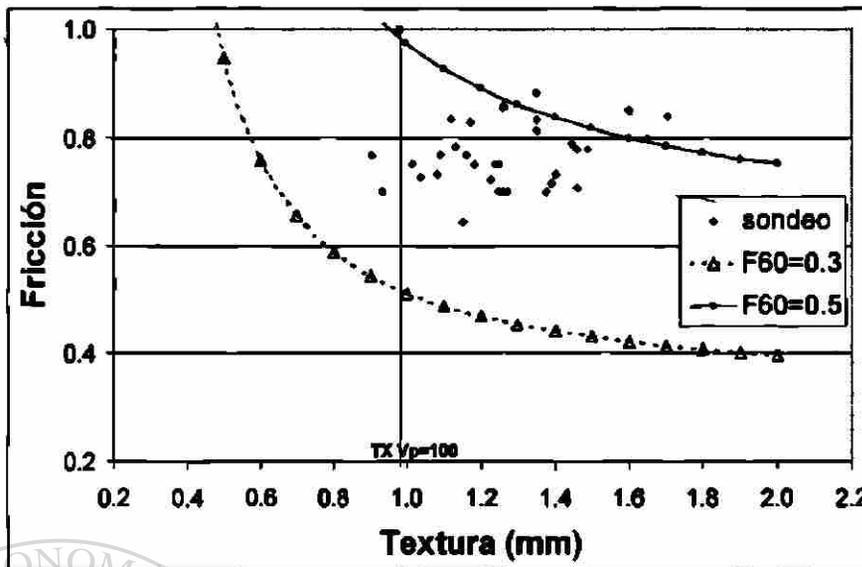


Figura 4.16. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 26.9 cm y de las lecturas del péndulo de 76.8

▪ **LA VENTA - PEDRO ESCOBEDO**

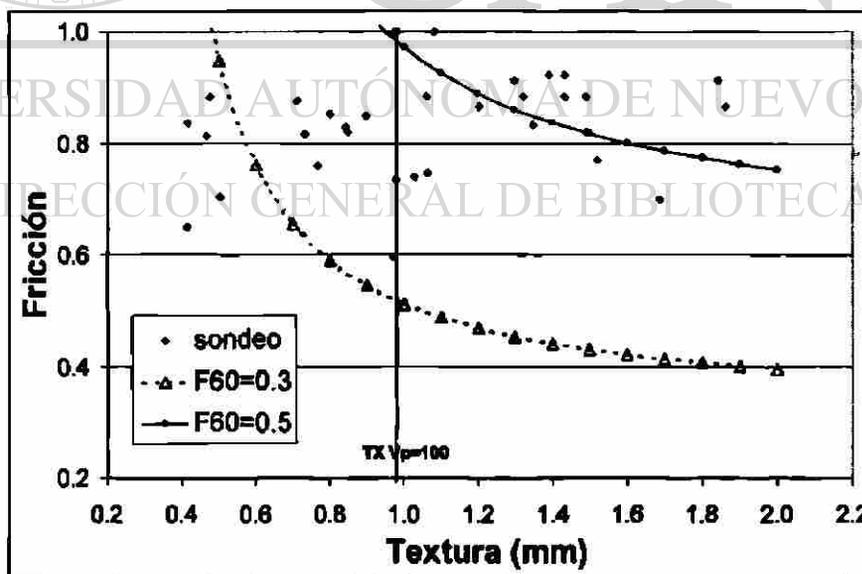


Figura 4.17. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 83.8 cm y de las lecturas del péndulo de 30.64

4.3.2. CASO MONTERREY.

▪ **MTY- CD. MIER**

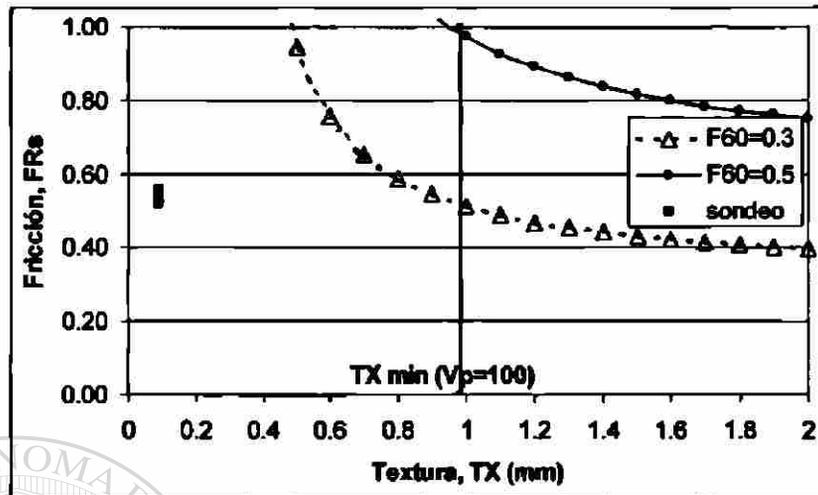


Figura 4.18. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 54.2 cm y de las lecturas del péndulo de 99.6

▪ **CD. VICTORIA-MTY: KM 268+000 (RUTA 85)**

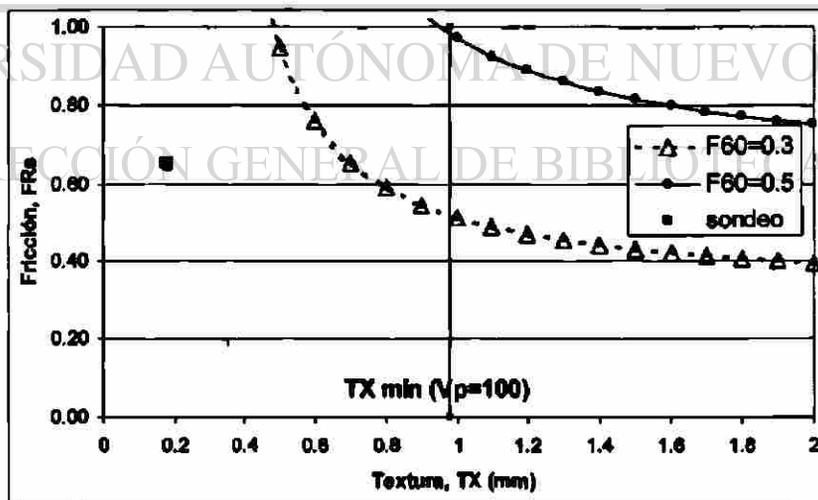


Figura 4.19. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 64.9 cm y de las lecturas del péndulo de 71.6

▪ **MTY-REYNOSA: KM 23+000 (RUTA 40)**

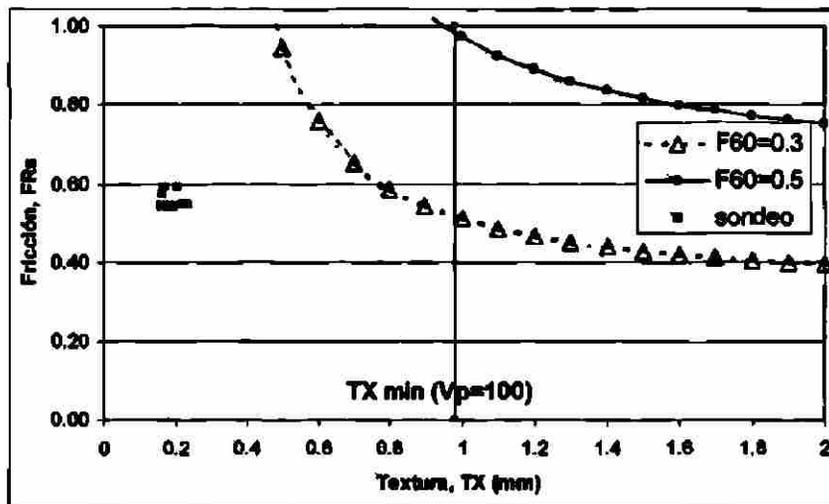


Figura 4.20. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 60.3 cm y de las lecturas del péndulo de 56.2

▪ **CD. VICTORIA - MTY: KM 211+000 (RUTA 85)**

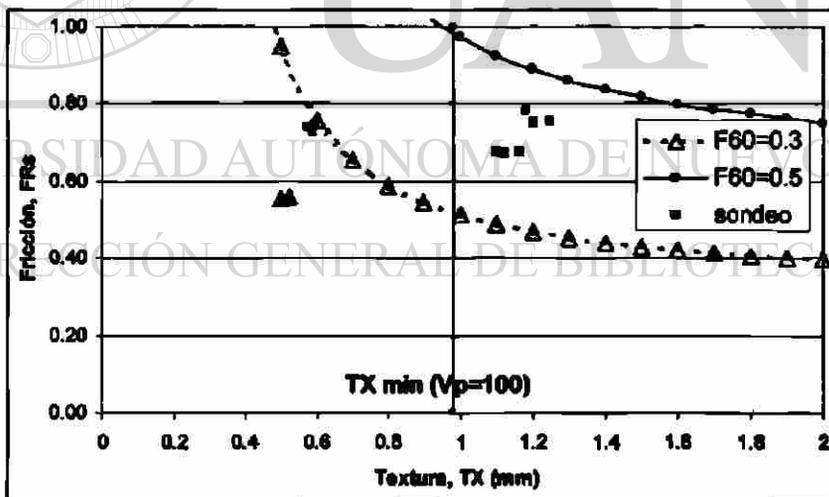


Figura 4.21. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 31.7 cm y de las lecturas del péndulo de 72.3 – para pavimento nuevo- y el diámetro promedio del círculo de arena fue de 42.3 y de las lecturas del péndulo 55.8 - para pavimento viejo -.

▪ **LIBRAMIENTO NW KM 1+000**

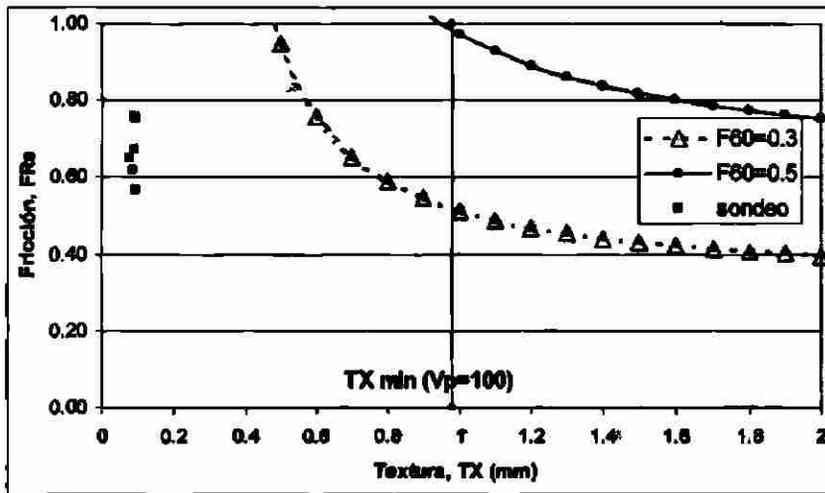


Figura 4.22. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 101 cm y de las lecturas del péndulo de 68.9

▪ **MATEHUALA-SALTILLO: KM 207 (RUTA 57)**

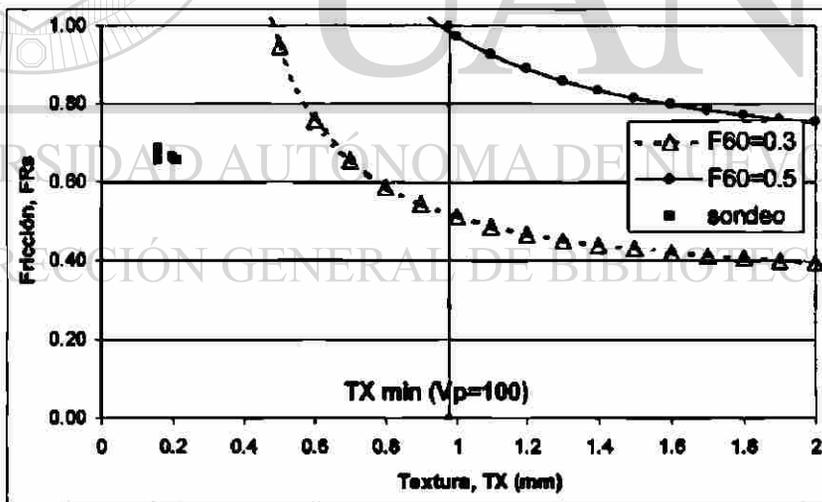


Figura 4.23. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue de 71.1 cm y de las lecturas del péndulo de 66.6

■ **MATEHUALA-SALTILLO: KM 126 (RUTA 57)**

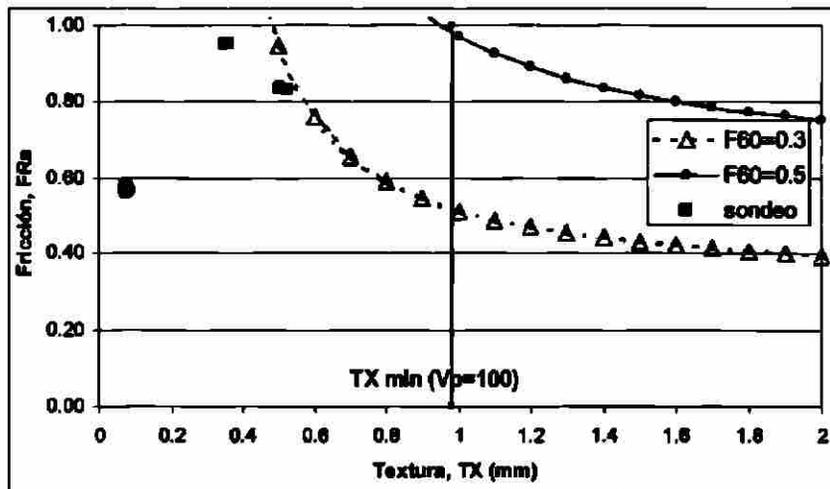
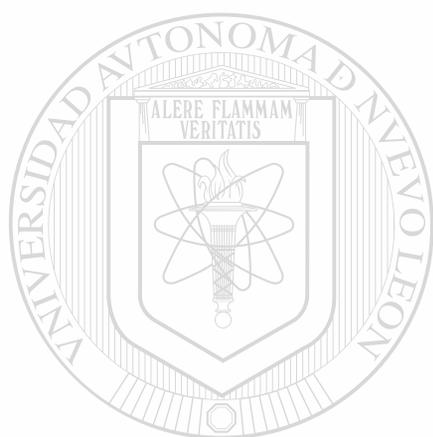


Figura 4.24. Curva de aceptación o rechazo. El diámetro promedio del círculo de arena fue 108.4 cm y de las lecturas del péndulo de 56.8 –para pavimento asfáltico- y un diámetro promedio de 4604 cm y la lectura del péndulo de 89.33 –par pavimento de concreto hidráulico-

Como se pudo observar en las Figuras anteriores (4.18 a la 4.24), las condiciones prevalecientes de los tramos estudiados en Monterrey, no cumplen con las características de textura consideradas por la metodología de PIARC, salvo el caso de la carretera CD. Victoria Monterrey (Figura 4.21), en donde ciertos puntos permanecen dentro del intervalo de aceptación, definido por los niveles de intervención establecidos de fricción y velocidad.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE NIVELES MÍNIMOS DE FRICCIÓN Y TEXTURA

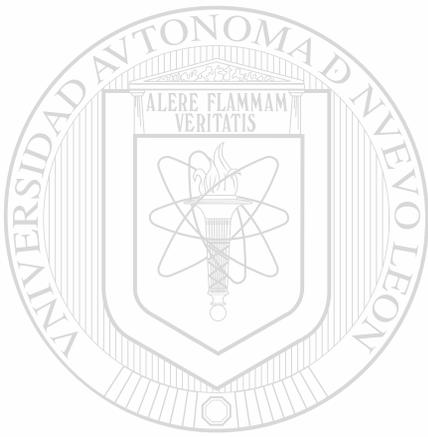
V.I. Consideraciones

En este capítulo se intentará aplicar los conceptos referentes al Índice de Fricción Internacional (IFI), presentados en capítulos anteriores, al establecimiento de valores mínimos estandarizados de fricción y textura que garanticen la seguridad operativa en las carreteras nacionales.

Las recomendaciones que se presentan corresponden a equipos que evalúan la fricción mediante un deslizamiento longitudinal, totalmente bloqueado (p. ej. Péndulo Británico TRRL). Esto último significa que el elemento de deslizamiento no gira (efecto de la zapata de goma). En este caso, se considera que la velocidad de dicho elemento (brazo del péndulo al caer libremente), es igual a la velocidad de deslizamiento (10 kph). Sólo se consideran los equipos anteriores, porque son los de uso más común en México.

A partir de este momento, se asume que la operación vehicular en los caminos será segura, si ésta es congruente con las condiciones (en este caso, de velocidad operativa y fricción tanto lateral como longitudinal) consideradas en el proyecto. Por esta razón, será necesario basar algunos desarrollos iniciales en este capítulo, en las consideraciones que sobre fricción longitudinal y lateral en su relación con la velocidad,

establecen los manuales de proyecto geométrico más utilizados en México .



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V.II Fricción Longitudinal

La distancia de visibilidad de frenado es uno de los elementos fundamentales del proyecto geométrico de carreteras, en los que más influye este parámetro. En su determinación para diferentes valores de velocidad de diseño, se asumen los valores conservadores de fricción longitudinal indicados en la **Tabla 5.1**. Los valores de fricción longitudinal en la tabla fueron generados a partir de pruebas realizadas con vehículos reales, al deslizarlos sobre las superficies mojadas de una gran diversidad de tipos de pavimentos.

La **Figura 5.1** muestra la gráfica que se obtiene al representar los valores de fricción longitudinal, contra velocidad de operación contenidos en la **Tabla 5.1**. La naturaleza decreciente de la fricción al aumentar la velocidad, ya ampliamente documentada en capítulos anteriores, es evidente en la Figura 5.1. Para una velocidad de 60 kph, tanto en la Tabla 5.1 como en la Figura 5.1 se obtiene un coeficiente de fricción idealizado longitudinal (F_{60}^*) de 0.34 en pavimento mojado. Es decir, el pavimento sustentará el 34% del peso del vehículo, a una velocidad de 60 kph, considerando que la fuerza de fricción es directamente proporcional al peso del vehículo.

Tabla 5.1.

Coefficientes de Fricción longitudinal en el frenado, asumidos en el Proyecto Geométrico de Carreteras (Pavimento Mojado)

Velocidad de Proyecto (Sp) en kph	Coefficiente de Fricción Longitudinal (F ^l)
30	0.400
40	0.380
50	0.360
60	0.340
70	0.325
80	0.310
90	0.305
100	0.300
110	0.295

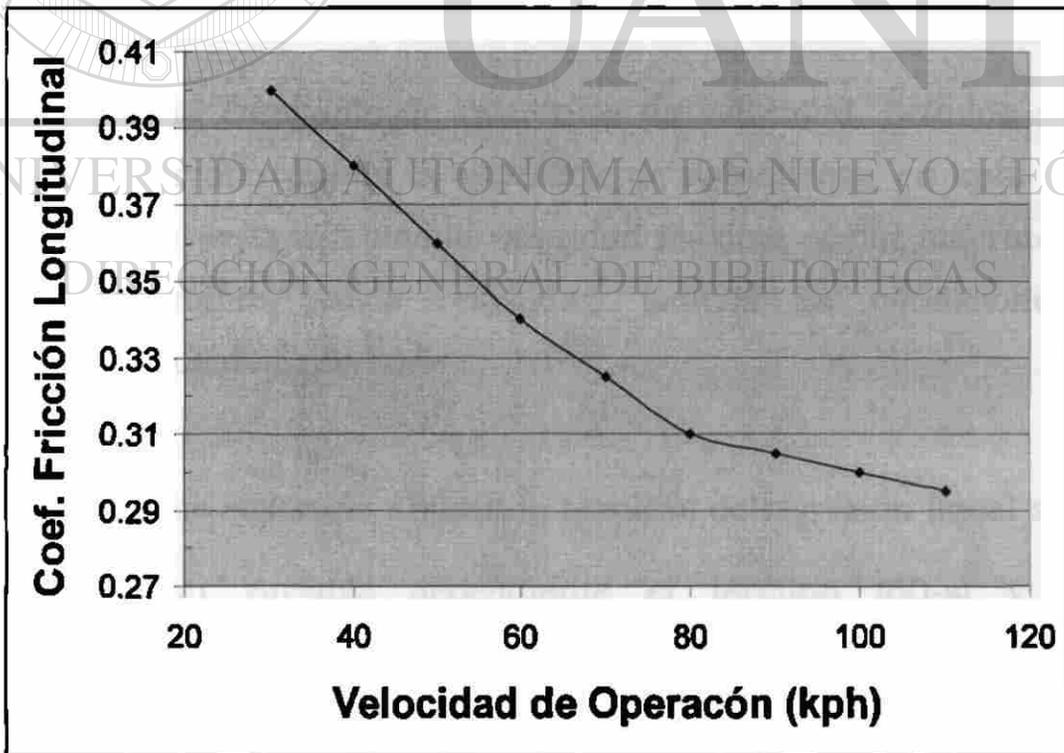


Figura 5.1. Coeficientes de Fricción longitudinal contra velocidades de proyecto (Pavimento Mojado)

Con el fin de generar estándares mínimos en carreteras para la fricción, aplicando los conceptos del Índice de Fricción Internacional (IFI) ya mencionados en capítulos anteriores, se realizó el ajuste de una curva del tipo correspondiente a los valores en la Tabla 5.1 (y la Figura 5.1):

$$F_{60} = F(s) * e^{\frac{s-60}{V_p}} \dots\dots\dots \text{Ecuación. 5.1}$$

donde:

F₆₀, es el valor de la fricción idealizada, a una velocidad de deslizamiento de 60 kph.

F(s), es el valor de la fricción idealizada, a una velocidad de deslizamiento (slip speed) "s" dada.

s, es la velocidad de deslizamiento (slip speed) referida en el párrafo anterior, en kph.

e, es la base de los logaritmos naturales y tiene un valor de 2.718182.

V_p, es la constante de referencia de velocidad, definida por la macrotextura de la superficie de rodamiento, en kph. Puede interpretarse como la velocidad máxima que la macrotextura existente puede respaldar, todavía en condiciones de seguridad adecuada.

Dicho ajuste fue realizado utilizando técnicas de regresión lineal simple, tomando como variable dependiente el término (60-s) y como independiente el logaritmo del cociente (FS/F60). Estos dos términos fueron obtenidos a partir de despejes algebraicos de la Ecuación 5.1. Al ajustar una línea recta a través del origen sobre las transformaciones de

los puntos en la Tabla 5.1, correspondientes a ambas variables anteriores, en la pendiente de la recta generada se obtiene la constante V_p . Al efectuar este proceso se obtuvo un valor de V_p igual a 253, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.92$. La cercanía con 1, de este último parámetro, indica que el ajuste efectuado resultó de muy buena calidad.

De los análisis antes efectuados se desprende que las especificaciones de fricción longitudinal mínima (pavimento mojado) utilizadas en el proyecto geométrico de carreteras mexicanas corresponden a un estándar IFI ($F60, V_p$) igual a (0.34,253). A partir de esta especificación pueden obtenerse los valores mínimos de fricción para los equipos específicos utilizados en la evaluación en campo de este parámetro. Una especificación adecuada para la textura mínima la proporciona el método de evaluación propuesto por PIARC, ya descrito en el Capítulo 3. Según éste, la textura mínima (TX_{min}) que puede respaldar una velocidad de operación S_p está dada por la siguiente relación (Ecuación 3.2):

$$TX_{min} = \frac{a + S_p}{b} \dots\dots\dots \text{Ecuación. 5.2}$$

donde:

a y **b**, son las constantes PIARC del equipo de medición de la textura.

V.III Fricción Lateral

Este parámetro influye de manera determinante en el proyecto geométrico de curvas horizontales, fundamentalmente en el radio (R) y la sobreelevación de las mismas (e). Estos dos elementos se definen de manera que el vehículo pueda conservar su estabilidad al transitar a una cierta velocidad (de proyecto), por una curva determinada.

Un vehículo es estable cuando no tiene tendencia a salirse de la trayectoria que le fija el conductor por medio del volante. La inestabilidad del vehículo procede de la fuerza transversal a que está sujeto; ya sea por asimetrías internas, tales como cargas mal distribuidas, neumáticos desinflados, mecanismos de suspensión defectuosos, o bien por la fuerza centrífuga que aparece cuando el vehículo describe una curva.

La inestabilidad debida a la fuerza centrífuga, puede manifestarse de dos maneras:

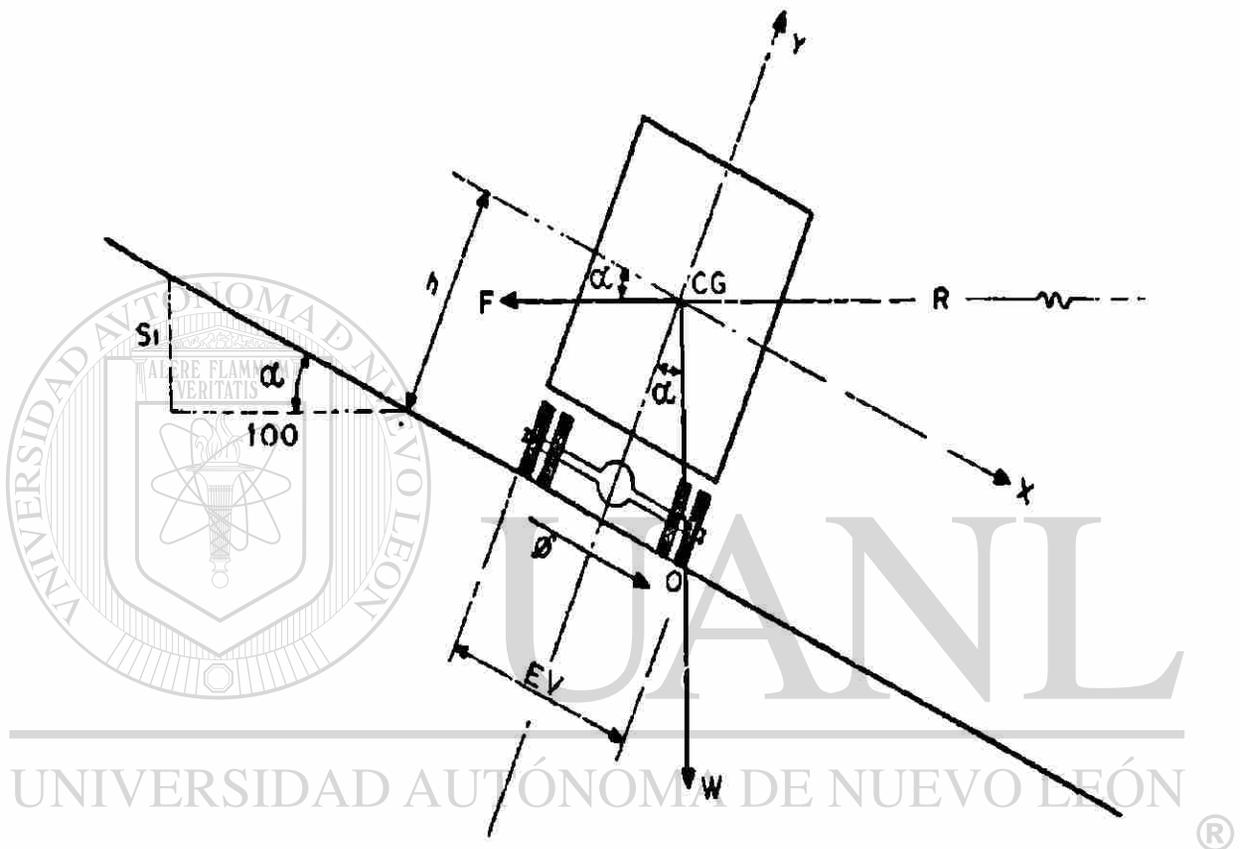
1. Por deslizamiento, o
2. Por volcamiento

Cuando las fuerzas que tienden a deslizar el vehículo son mayores que las fuerzas que mantienen al vehículo en su trayectoria, el vehículo se desliza (derrapa); cuando la resultante de la fuerza que actúa sobre el vehículo sale del polígono formado por los puntos de contacto de las ruedas con el pavimento, el vehículo se vuelca.

En lo que sigue sólo se hará referencia al problema del deslizamiento transversal, pues sólo en éste actúa de manera determinante la fricción lateral.

Considérese un vehículo que se mueve con una velocidad V (mps) sobre una curva circular horizontal de radio R (m) que forma un ángulo alfa (α°) con la horizontal (ver Figura 5.2). Las fuerzas que actúan sobre el vehículo, son el peso W (Kg.), la fuerza centrífuga F (Kg.) y la fuerza de fricción, entre las llanta y el pavimento (Kg.).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
Figura 5.2. Estabilidad del vehículo en las curvas

La condición necesaria y suficiente para que el vehículo no deslice, al transitar por la curva es:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_x + \phi = 0$$

En donde:

$$\phi = \mu W_y$$

$$\phi = \mu W \cos \alpha$$

Siendo μ el coeficiente de fricción lateral.

Como el valor de F_x ya se definió, se tiene que:

$$(W \tan \alpha - F) \cos \alpha + \mu W \cos \alpha = 0$$

Pero $F = \frac{WV^2}{gR}$

Por lo cual: $W \tan \alpha - \frac{WV^2}{gR} + \mu W = 0$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Si expresamos la velocidad en kph, determinamos la sobreelevación (e) con la tangente de α y sustituimos g por su valor (9.81 m/s), se tiene:

$$e + \mu = 0.00785 \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots \text{Ecuación. 5.3}$$

La ecuación anterior implica que en el proyecto geométrico de curvas horizontales, la fuerza centrífuga (término del lado derecho de la Ec. 5.3) será contrarrestada (para evitar el deslizamiento), en parte por la sobreelevación (e), y en parte por la fricción lateral (μ).

Los manuales de proyecto geométrico de carreteras más comúnmente utilizados por México disponen que la fricción lateral tome alrededor del 62% y la sobreelevación la parte restante. Esta consideración asume, en esencia, el conjunto de valores de fricción lateral contra la velocidad de proyecto mostrados en la Tabla 5.2 y la Figura 5.3. Como es evidente, a partir de esta última, en este caso también se considera una relación decreciente de la fricción lateral, al aumentar la velocidad (de proyecto). Esta relación se obtuvo en el campo, a partir de pruebas de deslizamiento transversal de vehículos reales (sobre pavimentos mojados), circulando por curvas de radio mínimo, correspondiente a la velocidad de proyecto dada.

Tabla 5.2.

Coefficientes de Fricción lateral asumidos en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (Pavimento Mojado)

Velocidad de Proyecto (Sp) en kph	Coefficiente de Fricción Lateral (μ^*)
30	0.280
40	0.230
50	0.190
60	0.165
70	0.150
80	0.140
90	0.135
100	0.130
110	0.125

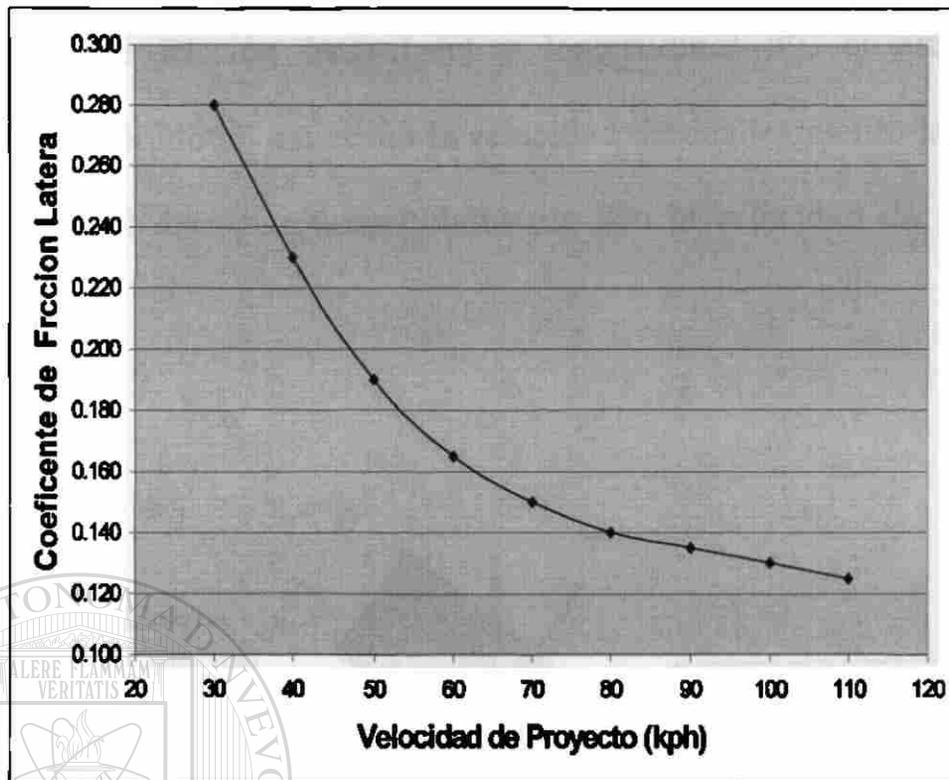


Figura 5.3. Coeficiente de fricción lateral para diferentes velocidades de proyecto

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Si se asume que un vehículo se desliza (o derrapa) tangencialmente, al circular por una curva de radio mínimo, correspondiente a una velocidad de proyecto dada y que al derrapar alcanza los coeficientes de fricción longitudinal y lateral máximos para esa velocidad de proyecto, indicados en las Tablas 5.1 y 5.2 respectivamente; entonces, entre los vectores de las fricciones longitudinal y transversal (véase Figura 5.4) están implicados los ángulos (de oblicuidad) indicados en la Tabla 5.3 para diferentes velocidades de proyecto. Como es evidente, en esta tabla

se muestran, para las distintas velocidades de proyecto (S_p), los coeficientes de fricción lateral (μ) y longitudinal (F), el ángulo de oblicuidad obtenido (θ) así como la velocidad de deslizamiento lateral de la llanta (S), al derrapar tangencialmente con la velocidad de proyecto S_p .

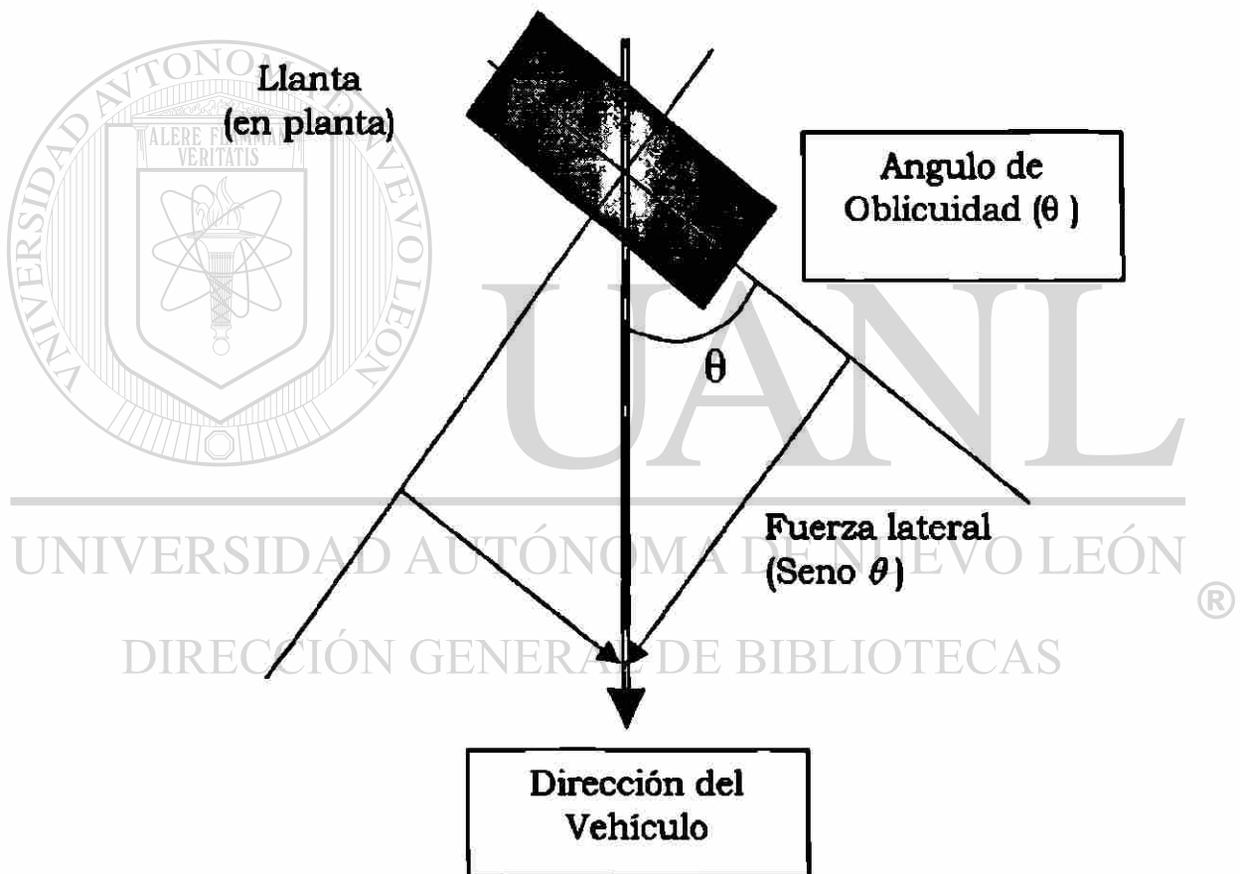


Figura 5.4 Angulo de oblicuidad y componente lateral de la velocidad en la dirección en que se mueve el vehículo.

A partir de los datos de velocidad de deslizamiento lateral (S) y fricción lateral (μ) en la Tabla 5.3 se siguió un procedimiento de ajuste mediante regresión lineal simple, similar al empleado para la fricción longitudinal; obteniéndose para este caso una constante de velocidad lateral V_{pt} igual a 39 y un coeficiente de fricción lateral para la velocidad de deslizamiento de 60 kph (μ_{60}) de 0.08. Para este ajuste se obtuvo un coeficiente de determinación $R^2 = 0.72$. De lo anterior se desprende que las especificaciones de fricción lateral mínima (pavimento mojado) utilizadas en el proyecto geométrico de carreteras mexicanas corresponden a un estándar IFI (μ_{60}, V_{pt}) igual a (0.08, 39).

Tabla 5.3.

— Coeficientes de Fricción lateral y longitudinal asumidos en el Proyecto Geométrico de Carreteras

Velocidad de Proyecto, S_p (kph)	Coefficiente de Fricción Lateral, μ_s	Coefficiente de Fricción Longitudinal, μ_l	Angulo de Oblicuidad, θ ($=\arcsin(\mu/F)$) (Grados)	Velocidad de Deslizamiento, S ($=S_p \times \text{Sen} \theta$) (kph)
30	0.280	0.400	34.99	17.20
40	0.230	0.380	31.18	20.71
50	0.190	0.360	27.82	23.33
60	0.165	0.340	25.88	26.19
70	0.150	0.325	24.77	29.33
80	0.140	0.310	24.30	32.92
90	0.135	0.305	23.87	36.42
100	0.130	0.300	23.42	39.76
110	0.125	0.295	22.96	42.91

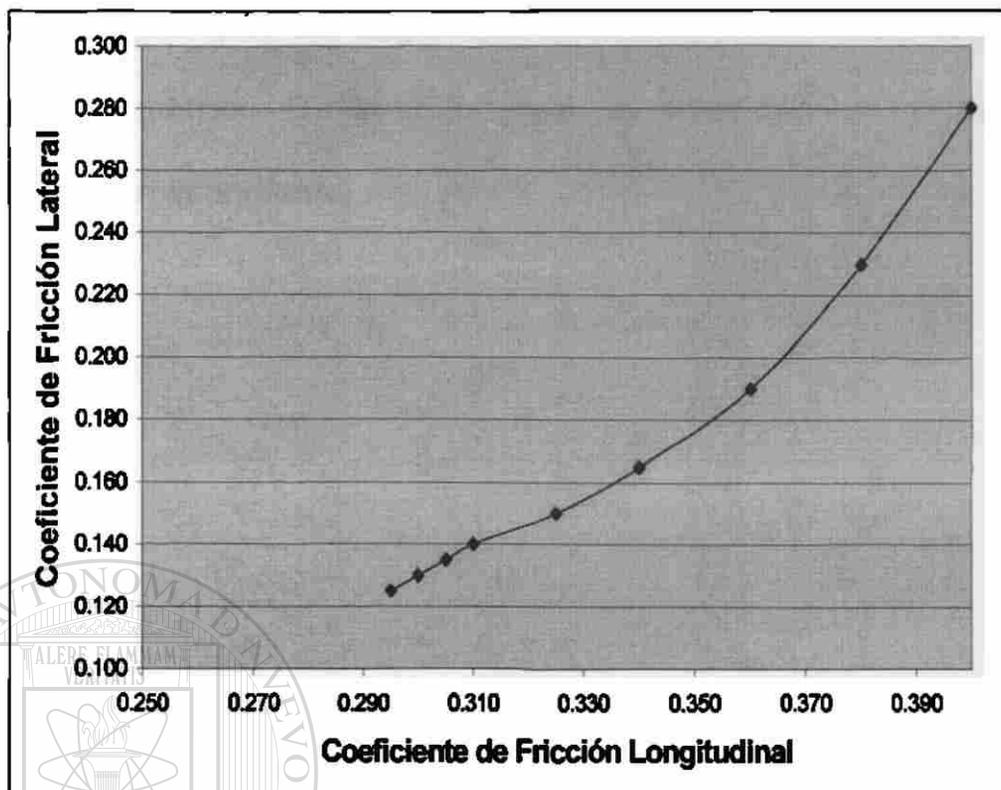
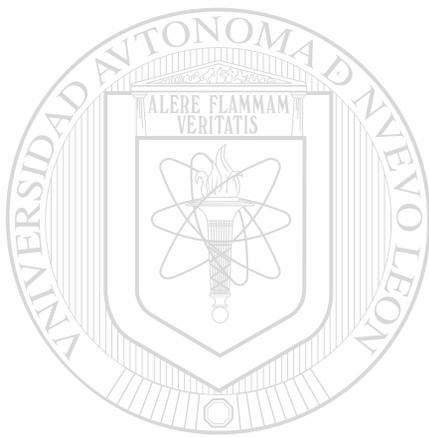


Figura 5.5. Relación entre los coeficientes de fricción lateral y longitudinal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dado que, como ya se indicó, en este trabajo sólo se consideran equipos que evalúan la fricción mediante deslizamiento longitudinal, se propone realizar mediciones en el sentido lateral con equipo longitudinal (utilizando cualquiera de los mencionados en capítulos anteriores) y, con las constantes **A** y **B** de dicho equipo, llevar el valor de fricción medido a la velocidad de deslizamiento S del equipo, a la componente S_{pt} ($= S_p \times \text{Seno } \theta$) de la velocidad de proyecto (u operación) S_p . El ángulo θ es el ángulo de oblicuidad en la Tabla 5.3 correspondiente a la velocidad de

proyecto Sp. Para considerar que la fricción transversal es adecuada, este último valor debe ser mayor que su correspondiente utilizado en el proyecto geométrico (Tabla 5.2, para la velocidad de proyecto u operación correspondiente) .



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V.IV. Recomendaciones

▪ *Fricción Longitudinal*

Con base en lo antes expuesto, se propone el siguiente procedimiento práctico para evaluar si las propiedades de fricción longitudinal (incluyendo la textura) de un sitio carretero determinado son adecuadas, desde los puntos de vista de la seguridad y la operación del tránsito:

- Primero se requiere medir la macrotextura (TX) y la fricción longitudinal (FRs, donde S es la velocidad de deslizamiento del aparato de medición de fricción, en condiciones de pavimento mojado) con los equipos con que se cuente. Posteriormente, se utilizan las ecuaciones indicadas en el Capítulo 3 (Ecs. 3.2 a 3.4) para, con las constantes a , b y A , B (PIARC) de dichos equipos, calcular los valores de V_p y F_{60} correspondientes al sitio carretero analizado.
- Posteriormente, habría que utilizar la Ecuación 3.5 para, con los valores de F_{60} y V_p del pavimento antes calculados, obtener $F(S_p)$ para la velocidad de operación S_p en el sitio carretero. Esta última habría que estimarla a partir de mediciones de campo; para los efectos de esta evaluación, se considera adecuado tomarla como el percentil 85 de las velocidades vehiculares medidas en el sitio (el cual

es también representativo de la velocidad de proyecto). Si el valor de $F(Sp)$ obtenido es mayor que el coeficiente de fricción longitudinal F^* para la velocidad de operación Sp en la Figura 5.1 (o en la Tabla 5.1), entonces la condición actual del pavimento en cuanto a fricción longitudinal es adecuada. Si el resultado es el opuesto, la condición en cuanto a fricción longitudinal se consideraría inadecuada y habría que tomar medidas correctivas para mejorar la microtextura. En el capítulo siguiente se presentan algunas recomendaciones prácticas dirigidas a mejorar este aspecto. Se reitera que la relación entre coeficiente de fricción y velocidad en la Figura 5.1 (o en la Tabla 5.1) corresponde a la especificación de IFI derivada a partir de los manuales de proyecto geométrico $[(F60, Vp) = (0.35, 253)]$.

Finalmente, habría que verificar si la textura que se tiene en el sitio considerado (TX) puede respaldar la velocidad de operación Sp . Para esto, habría que comparar TX con la TX^* (mínima) obtenida a partir de la Ecuación 5.2 (y las constantes a , b) para la velocidad de operación Sp . Si TX es mayor que TX^* , entonces la condición actual del pavimento en cuanto a textura es adecuada. Si el resultado es el opuesto, la condición en cuanto a textura se consideraría inadecuada y habría que tomar medidas correctivas para mejorar la macrotextura. De manera similar que para el caso de la fricción.

El procedimiento anterior es congruente con el método de evaluación propuesto por PIARC, descrito en el Capítulo 3. La Figura 5.6 pone el procedimiento antes sugerido en el formato en que suelen expresarse los criterios utilizados por el método de PIARC.

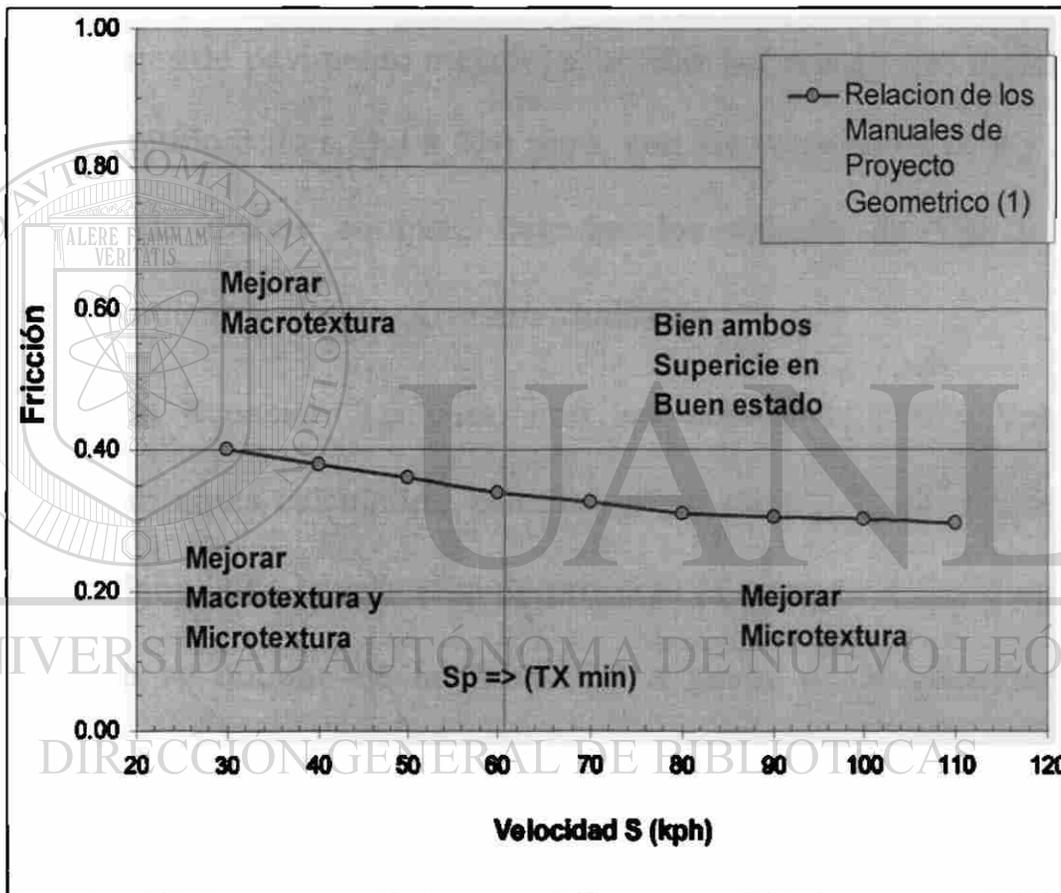


Figura 5.6. Criterio de evaluación sugerido por el método PIARC, en función de la Fricción longitudinal y la Velocidad.

▪ **Fricción Lateral**

Con base en lo ya señalado para la fricción lateral, se sugiere el siguiente procedimiento práctico, en este caso:

- Medir la macrotextura (TX) y la fricción lateral (μ_{RS} , a una velocidad de deslizamiento, S , del aparato de medición de fricción), esta última con el equipo longitudinal con que se cuente (por supuesto en condiciones de pavimento mojado) y utilizar las ecuaciones indicadas en el Capítulo 3 (Ecs. 3.2 a 3.4) para, con las constantes a , b y A , B (PIARC) de dichos equipos, calcular los valores de V_{pt} y μ_{60} correspondientes al sitio carretero analizado.
- Utilizar la Ecuación 3.5 para, con los valores de μ_{60} y V_{pt} del pavimento antes calculados, calcular $\mu(S_{pt})$ para la componente S_{pt} ($= S_p \times \text{Seno } \theta$) de la velocidad de proyecto (u operación) S_p , donde el ángulo θ se obtiene de la Tabla 5.3 a partir de la velocidad de proyecto S_p . Si el valor de $\mu(S_{pt})$ obtenido es mayor que el coeficiente de fricción lateral μ^* para la velocidad de operación S_p en la Figura 5.3 (o en la Tabla 5.2), entonces la condición actual del pavimento en cuanto a fricción lateral es adecuada. Si el resultado es el opuesto, la condición en cuanto a fricción lateral se consideraría inadecuada y habría que tomar medidas correctivas para mejorar la microtextura.
- Como generalmente la componente transversal (o lateral) de la velocidad de un vehículo que derrapa tangencialmente en curva a la

velocidad de operación S_p es menor que la componente longitudinal, la verificación de la textura para esta última es el caso que se controla. Como, a su vez, esta componente longitudinal es menor que la velocidad de operación (S_p), se recomienda utilizar el procedimiento sugerido para la textura en el caso de la fricción (basado en S_p).

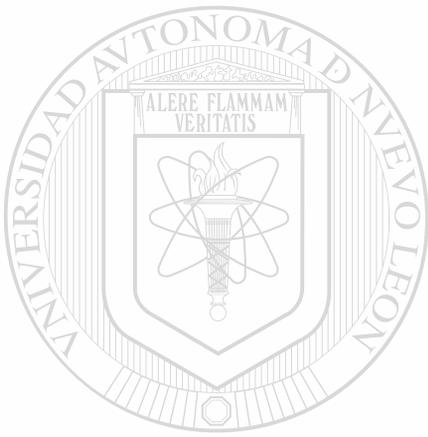
Otras Recomendaciones

Conviene también tomar en consideración lo siguiente, en aras de una seguridad y operación adecuadas:

- En el caso de la verificación longitudinal, será importante que la velocidad de operación (S_p) no exceda por mucho a la velocidad original de diseño. Lo contrario daría lugar a que las distancias de visibilidad de frenado proporcionadas fuesen insuficientes, en relación con la operación actual, para lo cual no bastaría, en general con mejorar la fricción longitudinal, sino que sería necesario implementar medidas de mayor envergadura (p. ej. actualización o modernización de alineamientos). En el caso de la verificación en curvas, lo anterior es también válido para el sentido longitudinal. Lo

es también para el caso lateral, en cuanto a que el grado de curvatura pudiese ser excesivo para la velocidad de operación actual.

- Cabe señalar que en el caso de las curvas, no sólo es importante verificar que las condiciones de fricción longitudinal y transversal sean adecuadas, sino también que en dichas curvas existan las sobreelevaciones ("e") necesarias (ver Ecuación 5.3).



UANL

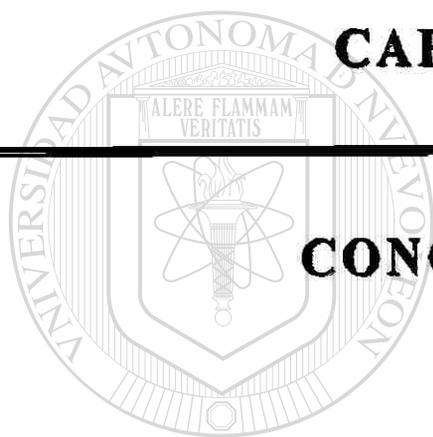
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

VI. CONCLUSIONES.

VII.I Generales.

- La principal ventaja es que de ahora en adelante se tendrá una escala común de valores de fricción denominado **IFI** en la que se engloben todos los resultados de medidas de fricción en pavimentos de carreteras y aeropuertos con una precisión aceptable
- Las administraciones de carreteras y aeropuertos podrán adoptar una escala universal sin tener que cambiar sus métodos actuales, su experiencia o sus datos históricos.
- Se podrán comparar los umbrales de intervención
- Los usuarios de aeropuertos y carreteras podrán recibir informes sobre las condiciones de fricción en una escala idéntica en cualquier región o país, así como tipo de pavimento (flexible o Rígido), lo que contribuirá a la mejora de la *seguridad*.
- ◆ Además de las diversas causas por la que se originan los accidentes, tales como la geometría de la vialidad, las altas velocidades de operación, las negligencias del conductor, la falta de señalamiento e iluminación, etc. existe el riesgo potencial debido al *Hidroplaneo* [1],

que se encuentra fundamentalmente asociado con la *macrotextura*. La incidencia de los accidentes por hidroplaneo nos hacen pensar que la *macrotextura* es más significativa que la *microtextura*; ya que al contar con una *textura* abierta, nos permitirá desalojar el agua superficial con mayor facilidad y por consiguiente, eliminar dicho efecto.

- ◆ Aun que por otro lado el objetivo principal de la *microtextura* radica en la influencia que tiene con la fricción



VII.II Limitantes del modelo

Para la aplicación del modelo PIARC, con los equipos utilizados para esta investigación en México, se encontraron las siguientes limitantes en el modelo:

- ◆ Con un valor de $TX < 0.2$ y cualquier valor de FRs el modelo no funciona, ya que los diámetros correspondientes serían demasiado grandes, lo cual indicaría superficies demasiado lisas (caso Monterrey). Además, conforme a las recomendaciones hechas en las normas internacionales, la profundidad media de la *textura* no debe ser menor a 0.7mm (España, NLT-335-92), o entre 0.4-1.2mm para velocidades mayores a los 80 kph (Québec, Referencia 17).

- ◆ Es posible tener la misma Profundidad de Textura ($H \rightarrow$ Diámetro Circulo de Arena) y al mismo tiempo tener diferente valor de fricción (BPT). Para que $V_p > 0$, $TX > 0.2$

VII.III Cuestiones pendientes

- Existe un IFI para cada punto donde se ha medido la fricción y la macrotextura, pero se debe establecer un criterio de obtención del IFI *por tramo*, y definirse por la medida de los IFI parciales obtenidos en cada punto, dependientes de la frecuencia de muestreo del equipo, *recomendándose al menos 5 valores del IFI para promediar.*

Otra cuestión fundamental es poder llegar a clasificar, por categorías de calidad, la fricción de un pavimento en función del IFI, de tal forma que en su momento se acuerde o establezca una política de *seguridad vial* y de mejora de los pavimentos.

Actualmente la utilización de este índice está en estudio en diversos países para la compatibilidad con la práctica de conservación de carreteras, quedando pendiente para convertirse en norma o recomendación de amplio uso internacional.

Por lo anterior expuesto, se recomienda que el Sector Comunicaciones y Transportes contemplen en su normatividad correspondiente los valores mínimos del Índice de Fricción Internacional en especial en las nuevas autopistas concesionadas y con el tiempo, analizar su aplicación en la red federal troncal de carreteras (principalmente en los corredores de transporte).

La necesidad de realizar una evaluación estructural puede ser señalada por otro tipo de evaluación, tales como la revisión de la calidad de servicio de la superficie, la supervisión de los daños sobre la misma o la resistencia al deslizamiento (derrapamiento) al caer por debajo de un cierto nivel aceptable o de intervención, indicando esto la necesidad de mantenimiento o rehabilitación, un buen administrador de pavimentos realizará una evaluación estructural antes de proceder al diseño, con el fin de asegurar que el dinero se gaste convenientemente. Sería absurdo proporcionar una delgada superficie con buena resistencia al derrapamiento para restaurar la seguridad, sin antes verificar la condición estructural, ya que el pavimento existente pudiese ser inadecuado para resistir las cargas pronosticadas del tránsito. De esta manera, podría requerirse una sobre carpeta gruesa o aún una reconstrucción, en lugar de sólo una simple capa para restaurar la fricción, a menos que ésta sea parte de un mejoramiento planeado por etapas.

REFERENCIAS

1. Pennsylvania Transportation Institute

SKID RESISTANCE MANUAL

U.S.A. (Julio 1990)

2. Transportation Research Record No. 1311

**MATHEMATICAL MODEL OF SKID RESISTANCE AS A
FUNCTION OF SPEED**

TRB, National Research Council

U.S.A. (1991)

3. Secretaria de Comunicaciones y Transportes

MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA CARRETERO TRONCAL

Programa Nacional de Carreteras

México (1998)

4. Asociación Internacional Permanente de Congreso de Carreteras

(Draft 3) Reporte final

**EXPERIMENTO INTERNACIONAL P.I.A.R.C. DE COMPARACIÓN
Y ARMONIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE TEXTURA Y
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

Agosto de 1994

5. Instituto Mexicano del Transporte S.C.T.

**DIAGNOSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE
LOS PAVIMENTOS**

Publicación técnica No.111

México (1998)

6. AEPO S.A. Ingenieros consultores

INTRODUCCIÓN A LA AUSCULTACIÓN DE FRIMES

Cuaderno AEPO 4

7. Achútegui Francisco y Ramón Crespo R. (1996)

EL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL

Revista Ruta (IFI)

Madrid, España, Marzo - Abril.

8. Henry J. J. y M. Marasteanu (1992)

**MODELS TO HARMONIZE METHODS FOR MEASURING ROAD
FRICTION**

9. Norma ASTM E-1960-98

**ESTÁNDAR PRACTICE FOR CALCULATING INTERNATIONAL
FRICTION INDEX OF A PAVIMENT SURFACE**

U.S.A. (1998)

10. Secretaria de Comunicaciones y Transporte

**MANUAL DE DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO
EN CALLES Y CARRETERAS**

México (1986)

11. Secretaria Asentamientos Humanos y Obras Públicas

MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

México (1977)

**American Association of State Highway and Transportation
Officials (AASHTO)**

GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS

U.S.A., 1990

**12. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
(CEDEX)**

NORMAS NLT, ENSAYOS DE CARRETERAS

España, 1993

13. Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC)

**CARACTERÍSTICAS DE ROZAMIENTO EN LA SUPERFICIE
DE PAVIMENTOS DE PISTAS.**

México, 1993

14. Normas y Métodos Recomendados Internacionales

AERÓDROMOS

Volumen I, Anexo 14, Adjunto "A".

1999

15. Cal y Mayor Rafael y James Cárdenas (1994)

INGENIERÍA DE TRANSITO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES

México

16. Crespo Villalaz Carlos (1994)

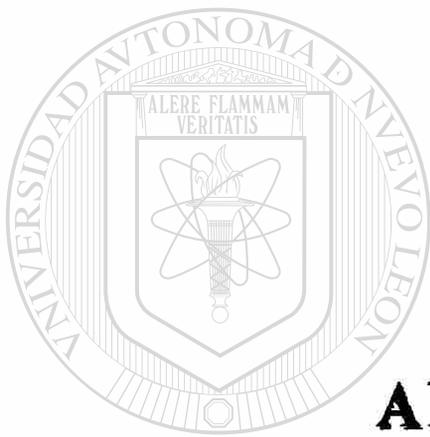
VIAS DE COMUNICACIÓN

México

17. Gouvernement du Québec, Ministère des Transports

**CONTRIBUTION Á L'ÉTUDE DE L'ANTIDÉRAPANCE DES
CHAUSSÉES**

Québec, 1988



U A N L

APÉNDICE "A"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla A.1.- Equipos Participantes en el Experimento de Armonización de PIARC

Sistemas Móviles			
Clave	Equipo	País	Medida
A1	FHWA Texturómetro	USA	Textura
A2	Perfilómetro Láser del VTI	S	Textura
A3B	ARAN	NL	Textura
A3E	RST	E	Textura
A4	Perfilómetro Láser del CRR	B	Textura
Sistemas en seco de baja velocidad y estacionarios			
A5	Perfilómetro estático del CRR	B	Textura
A8	Circulo de arena ASTM E965 MTD	USA	Textura
Sistemas en húmedo de baja velocidad y estacionarios			
A12	ROSAN	USA	Textura y Fricción
A13	DF Tester	J	Fricción
A14	Péndulo Ingles BPT	USA	Fricción
Equipos de Medición de Fricción			
Clave	Equipo	País*	Medida *
B1	Stuttgarter Reibungsmesser	CH	ABS, LKD, SLP
B2	Skiddometer	CH	LKD, SLP
B3	BV - 11	S	Fricción
B4E	NorseMeter Oscar	N	SLP, SWP
B5	Stuttgarter Reibungsmesser	A	ABS, LKD, SLP
B6	ASTM E 274 Tester	USA	501, 524, CHP, ULT
B7	Péndulo Ingles SRT	CH	Fricción
B8	Drenómetro	CH	Textura
B10E	Mu Meter	E	Fricción
B11E	Drenómetro	USA	Textura
C1	Equipo de fricción polaco	PL	Fricción
C3B	SCRIM	B	Fricción
C4	SCRIM (CEDEX)	E	Fricción
C5	KOMATSU, Skid tester	J	Fricción
C6E	DWW Trailer	NL	Fricción
C8	SCRIM (MOPTMA)	E	Fricción
C9	Stradograph	DK	Fricción
C10	Odoliograph	B	Fricción
D1E	Odoliograph (CRR)	B	Fricción
D2	SCRIM / SRM	D	Fricción y Textura
D3	SCRIM (GEOCISA)	E	Fricción y Textura
D4	SCRIM	F	Fricción y Textura
D5	SCRIM	UK	Fricción y Textura
D6	Remolque LCPC	F	Fricción
D7B	DAGMAR/PETRA	D	Fricción
D8	Griptester	UK	Fricción

TABLA A.2 Regresiones para predecir gf_{60} usando el modelo PIARC (f_{60}) con Microtextura y medidas de Macrotextura

LAS MEDIDAS DE MACROTEXTURA ESTAN EN MPD									
Microtextura	S	N	A	B	C	Max /E/	AVE /E/	RMSE	R
A13.20	20	65	0.081136	0.73158	0	0.069	0.026	0.0307	0.96
A14	10	68	0.056262	0.007564	0	0.109	0.043	0.0526	0.874
B7	10	62	0.043601	0.009531	0	0.173	0.030	0.0454	0.913
D8.5	0.7	23	0.058515	0.920356	0	0.065	0.022	0.0263	0.968

(a)

LAS MEDIDAS DE MACROTEXTURA ESTAN EN MTD									
Microtextura	S	N	A	B	C	Max /E/	AVE /E/	RMSE	R
A13.20	20	65	0.092691	0.78191	0	0.072	0.025	*	0.96
A14.BPN	10	68	0.07784	0.007087	0	0.123	0.042	*	0.875
B7	10	62	0.054077	0.009174	0	0.157	0.033	*	0.923
D8.5	0.7	23	0.083167	0.846386	0	0.081	0.029	*	0.935

(b)

TABLA A.3 Recomendaciones Canadienses de Textura¹⁷ en función de la velocidad

ALTURA DE ARENA (H.S.) mm	Velocidad del Trafico kph
menor = 0.2	Falta de Revestimiento
0.2-0.4	80
0.4-0.8	80-120
0.8-1.2	120
mayor = 1.2	para zonas peligrosas

Caso Querétaro

Tablas de Datos de campo y Valores del IFI

Factores de Armonización		
(A4) PENDULO BRITANICO	A= 0.0778	B= 0.00708
(A8) CIRCULO DE ARENA	a= -11.59	b= 113.63

Valores de Intervención	
F60*=	0.3
F60*=	0.5

PB	10	Km / Hr
Vp	100	Km / Hr
MPG	F 60	0.3 s / unidades

Pendulo Britanico
Manual de Proyecto Geometrico

TX min	FRs Vara	Vp (km/h)
0.982	1.0	100
0.982	0.0	
0.454	1.0	40
0.454	0.0	

Textura	FRmin (F60*)	
	Fmin (0.3)	Fmin (0.5)
0.20	27.97	53.14
0.30	2.90	5.50
0.40	1.37	2.61
0.50	0.95	1.80
0.60	0.76	1.44
0.70	0.66	1.24
0.80	0.59	1.12
0.90	0.54	1.04
1.00	0.51	0.97
1.10	0.49	0.93
1.20	0.47	0.89
1.30	0.45	0.86
1.40	0.44	0.84
1.50	0.43	0.82
1.60	0.42	0.80
1.70	0.41	0.79
1.80	0.41	0.77
1.90	0.40	0.76
2.00	0.40	0.75

$$TX_{min} = \frac{(Vp^*) - A}{B}$$

$$FR_{min} = \frac{(F60^*) - A}{B} * e^{\frac{60-S}{a+(b*TX)}}$$

□ Ecuaciones para Obtener el IFI

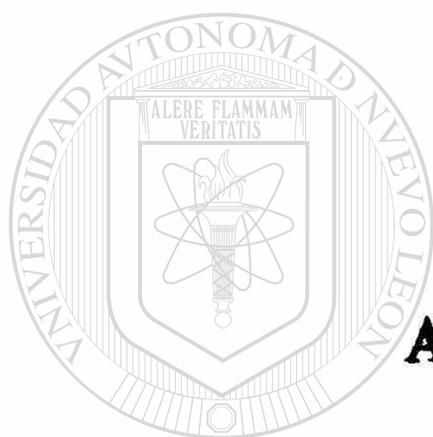
$$Vp = a + (b*TX)$$

$$FR_{60} = FR_s * e^{\frac{S-60}{Vp}}$$

$$F60 = A + (B * FR_{60})$$

$$F60 = A + (B * FR_s * e^{\frac{S-60}{Vp}})$$

$$F(S) = F60 * e^{\frac{60-S}{Vp}}$$



APÉNDICE "B"

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TRAMO

PARQUE INDUSTRIAL BERNARDO QUINTANA

Diámetro: 46 mm 4.5
 Altura: 46 mm 4.5
 Volumen: 71999 mm³ 71.6 cm³

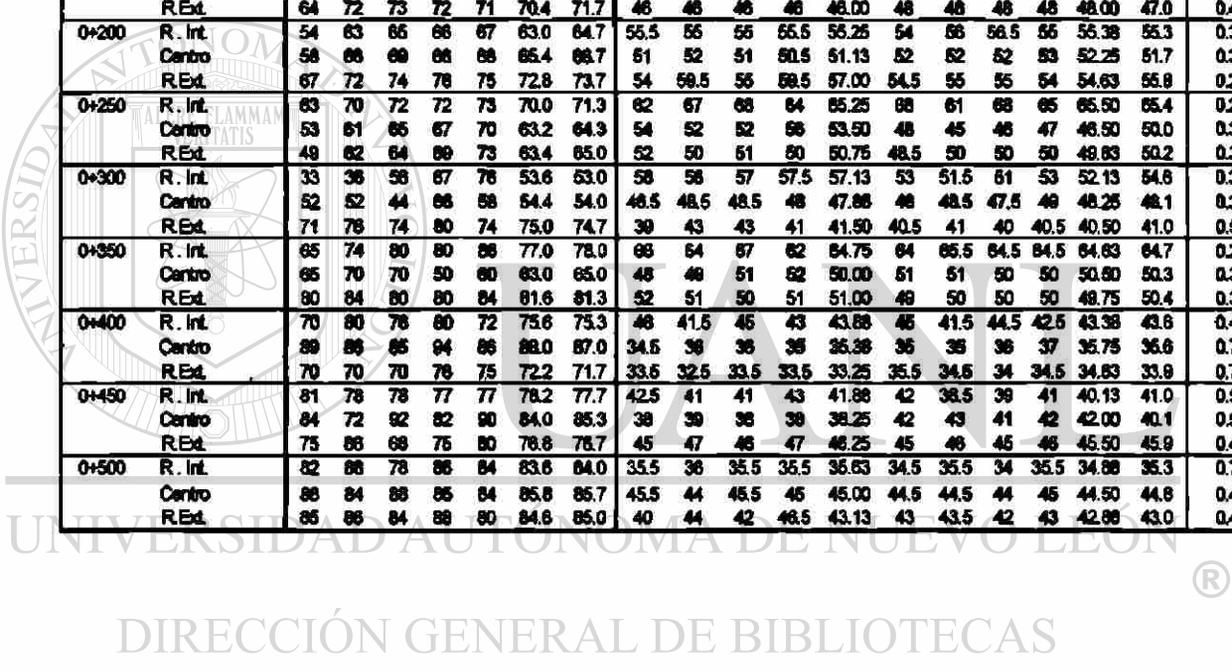
$$H = \frac{4V}{\pi D^3}$$

Fecha: 23/03/00

Pendiente de Fricción

Circulo de arena (CM)

Sección		Pendiente de Fricción								Circulo de arena (CM)								Tot.			
0+000	R. Int.	70	73	74	73	73	72.6	73.0	44	44	43	43	43.5	48.5	50.5	48	51	49.50	46.5	0.42	
	Centro	71	76	78	78	79	76.4	77.3	46	46.5	46	46	46.63	50.5	50	48	48.6	49.25	47.9		0.40
	R.Ext.	61	67	67	70	70	70.0	69.0	33.5	34	33	33.5	33.50	36.5	36	36.5	36	36.75	34.6		
0+050	R. Int.	73	75	79	78	73	75.8	75.3	50	48	50	50	49.50	53.5	51	48	52	51.13	50.3	0.36	
	Centro	72	72	74	70	73	72.2	72.3	49	50	49	50	49.60	44	42	43	43	43.00	46.3		0.43
	R.Ext.	66	72	73	78	78	73.4	74.3	33	32	33	34	33.00	37	36	37	37	36.50	34.8		
0+100	R. Int.	66	71	75	73	70	71.0	71.3	56	56	57	57	57.00	66.5	57	66	51	55.13	56.1	0.29	
	Centro	63	67	67	72	72	68.2	68.7	48.5	46	47	46	46.88	47.5	46	47	46	46.63	46.8		0.42
	R.Ext.	64	72	67	75	75	70.6	71.3	40.5	41	41	36	39.38	38	39	37.5	38.5	38.25	38.8		
0+150	R. Int.	70	73	76	76	75	73.8	74.3	53	52	54	51	52.50	58.5	52.5	59	54	55.50	54.0	0.31	
	Centro	67	73	74	76	74	72.8	73.7	43	42	43	43	42.75	40	38	41	40	39.75	41.3		0.64
	R.Ext.	64	72	73	72	71	70.4	71.7	46	46	46	46	46.00	46	46	46	46	46.00	47.0		
0+200	R. Int.	54	63	66	66	67	63.0	64.7	55.5	56	55	55.5	55.25	54	66	56.5	55	55.38	55.3	0.30	
	Centro	58	66	66	66	66	65.4	66.7	51	52	51	50.5	51.13	52	52	52	53	52.25	51.7		0.34
	R.Ext.	67	72	74	78	75	72.8	73.7	54	59.5	55	59.5	57.00	54.5	55	55	54	54.63	55.8		
0+250	R. Int.	63	70	72	72	73	70.0	71.3	62	67	68	64	65.25	68	61	68	65	65.50	65.4	0.21	
	Centro	53	61	65	67	70	63.2	64.9	54	52	52	56	53.50	48	45	46	47	46.50	50.0		0.38
	R.Ext.	49	62	64	69	73	63.4	65.0	52	50	51	50	50.75	48.5	50	50	50	49.83	50.2		
0+300	R. Int.	33	36	36	67	76	53.6	53.0	58	58	57	57.5	57.13	53	51.5	61	53	52.13	54.6	0.31	
	Centro	52	52	44	66	68	54.4	54.0	48.5	48.5	48.5	48	47.88	46	48.5	47.5	49	48.25	48.1		0.39
	R.Ext.	71	76	74	80	74	75.0	74.7	39	43	43	41	41.90	40.5	41	40	40.5	40.50	41.0		
0+350	R. Int.	65	74	80	80	86	77.0	78.0	68	64	67	62	64.75	64	65.5	64.5	64.5	64.63	64.7	0.22	
	Centro	65	70	70	50	60	63.0	65.0	48	48	51	52	50.00	51	51	50	50	50.60	50.3		0.36
	R.Ext.	80	84	80	80	84	81.6	81.3	52	51	50	51	51.00	49	50	50	50	49.75	50.4		
0+400	R. Int.	70	80	78	80	72	75.6	75.3	46	41.5	46	43	43.88	46	41.5	44.5	42.5	43.38	43.6	0.48	
	Centro	89	86	85	84	86	88.0	87.0	34.5	38	36	36	36.38	36	36	36	37	35.75	36.6		0.72
	R.Ext.	70	70	70	76	75	72.2	71.7	33.5	32.5	33.5	33.5	33.25	35.5	34.5	34	34.5	34.63	33.9		
0+450	R. Int.	81	78	78	77	77	78.2	77.7	42.5	41	41	43	41.88	42	38.5	39	41	40.13	41.0	0.54	
	Centro	84	72	92	82	90	84.0	85.3	38	39	38	38	38.25	42	43	41	42	42.00	40.1		0.57
	R.Ext.	75	66	68	75	80	76.8	76.7	45	47	46	47	46.25	45	46	45	46	45.50	45.9		
0+500	R. Int.	82	86	78	86	84	83.6	84.0	35.5	36	35.5	35.5	35.63	34.5	35.5	34	35.5	34.88	35.3	0.73	
	Centro	86	84	86	85	84	85.8	85.7	45.5	44	45.5	45	45.00	44.5	44.5	44	45	44.50	44.8		0.46
	R.Ext.	85	86	84	88	80	84.6	85.0	40	44	42	46.5	43.13	43	43.5	42	43	42.88	43.0		



Coefficientes

Péndulo de fricción A4: A= 0.078
 Péndulo de fricción B7: A= 0.054
 Círculo de Arena A8: A= -11.58

B= 0.0107
 B= 0.0092
 B= 113.88

Rangos de medicas:

Para el péndulo: 30 <FRa < 80
 Para el círculo de arena: 0,5 < Tx < 3 mm

$$F(S) = F_{60} * e^{\frac{a-s}{b}}$$

onde s = FR60	Vp	F60(A4)	F60(B7)
18.4	36.298	0.275	0.223
17.4	33.469	0.264	0.214
34.6	74.778	0.451	0.375
13.7	29.315	0.225	0.180
18.6	36.817	0.277	0.226
37.9	74.157	0.484	0.402
6.9	21.355	0.151	0.117
17.0	35.787	0.260	0.210
29.7	57.146	0.396	0.328
9.2	23.919	0.178	0.139
26.7	49.263	0.364	0.300
17.4	35.284	0.264	0.214
6.8	22.254	0.151	0.117
10.6	27.168	0.191	0.151
7.3	21.651	0.156	0.121
1.4	12.637	0.093	0.067
12.0	29.828	0.207	0.166
11.9	29.519	0.206	0.164
6.1	23.111	0.143	0.110
12.0	33.235	0.206	0.164
27.5	50.007	0.372	0.307
1.7	13.155	0.087	0.070
11.9	29.417	0.206	0.163
14.7	29.214	0.235	0.189
23.43	42.82	0.33	0.270
42.71	70.28	0.54	0.447
37.85	78.31	0.48	0.402
28.6	50.007	0.384	0.317
33.1	52.723	0.432	0.358
20.3	37.612	0.295	0.241
41.6	71.742	0.526	0.439
24.6	40.118	0.342	0.281
27.6	44.411	0.373	0.308

S	F(S)	F(S)
0	1.437	1.167
20	0.828	0.672
40	0.477	0.388
60	0.275	0.223
80	0.159	0.129
100	0.091	0.074
120	0.053	0.043
140	0.030	0.025

pendulo
 Vp=36.298kp
 F60=0.275

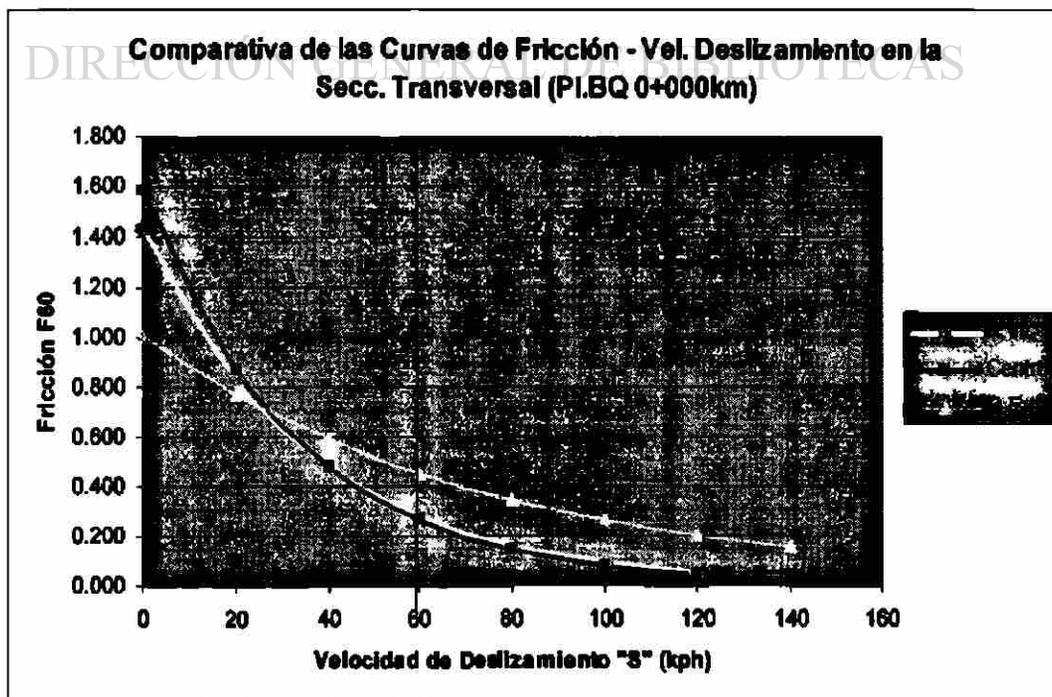
S	F(S)	F(S)
0	1.585	1.284
20	0.872	0.708
40	0.480	0.388
60	0.264	0.214
80	0.146	0.118
100	0.080	0.065
120	0.044	0.036
140	0.024	0.020

pendulo
 Vp=33.469kp
 F60=0.264

S	F(S)	F(S)
0	1.008	0.836
20	0.770	0.639
40	0.590	0.466
60	0.451	0.375
80	0.345	0.287
100	0.264	0.219
120	0.202	0.168
140	0.155	0.128

pendulo
 Vp=74.778kp
 F60=0.451

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



TRAMO
PARQUE INDUSTRIAL BERNARDO QUINTANA

Círculo de Arena A8: $\alpha = -11.58$ $B = 113.63$
 $A = 0.078$ $B = 0.0107$

Fecha: 23/03/00

Volumen: 71569 mm³.

Velocidad del péndulo S=10

$$F(S) = F60 \cdot e^{\frac{S-10}{10}}$$

Categoría	Tipo	CAMPO		F60		CAMPO		F60		F60		F60		F60	
		D.P.T.	h (mm)	F60	F60	F60	F60	F60	F60	F60	F60	F60	F60	F60	F60
0+000	R. Int.	46.50	0.4214	38.30	0.2750	73.00	18.41	1.436	0.828	0.477	0.275	0.159	0.091	0.053	
	Centro	47.94	0.3965	33.47	0.2638	77.33	17.36	1.584	0.871	0.479	0.264	0.146	0.080	0.044	
	R.Ext.	34.63	0.7801	74.78	0.4508	88.00	34.84	1.006	0.770	0.589	0.451	0.346	0.264	0.202	
0+050	R. Int.	50.31	0.3600	29.32	0.2244	75.33	13.99	1.738	0.878	0.444	0.224	0.113	0.057	0.029	
	Centro	48.25	0.4260	36.82	0.2770	72.33	16.80	1.413	0.821	0.477	0.277	0.161	0.089	0.054	
	R.Ext.	34.75	0.7546	74.16	0.4833	74.33	37.88	1.085	0.829	0.633	0.483	0.369	0.262	0.215	
0+100	R. Int.	46.75	0.4169	36.79	0.2597	68.67	16.08	1.369	0.794	0.454	0.260	0.146	0.085	0.049	
	Centro	38.81	0.6049	57.15	0.3662	71.33	29.74	1.132	0.798	0.562	0.366	0.279	0.197	0.139	
	R.Ext.	54.00	0.3125	23.92	0.1763	74.33	9.19	2.166	0.939	0.407	0.176	0.076	0.033	0.014	
0+150	R. Int.	41.25	0.5365	49.28	0.3637	73.67	26.70	1.229	0.819	0.548	0.364	0.242	0.161	0.106	
	Centro	47.00	0.4125	35.28	0.2639	71.67	17.37	1.445	0.820	0.465	0.264	0.150	0.085	0.048	
	R.Ext.	55.31	0.2978	22.25	0.1512	64.67	8.64	2.241	0.912	0.371	0.151	0.082	0.025	0.010	
0+200	R. Int.	51.69	0.3411	27.17	0.1912	66.67	10.58	1.741	0.834	0.399	0.191	0.082	0.044	0.021	
	Centro	60.00	0.3645	29.83	0.2068	64.33	12.03	1.546	0.790	0.404	0.207	0.166	0.054	0.028	
	R.Ext.	50.19	0.3618	29.52	0.2058	65.00	11.95	1.571	0.798	0.405	0.206	0.105	0.053	0.027	
0+300	R. Int.	54.63	0.3054	23.11	0.1432	53.00	8.09	1.920	0.808	0.340	0.143	0.080	0.025	0.011	
	Centro	48.06	0.3945	33.23	0.2064	54.00	12.00	1.255	0.868	0.377	0.208	0.113	0.062	0.034	
	R.Ext.	41.00	0.5421	50.01	0.3720	74.67	27.47	1.235	0.828	0.556	0.372	0.249	0.187	0.112	
0+350	R. Int.	50.25	0.3609	29.42	0.2051	65.00	11.88	1.577	0.799	0.405	0.205	0.164	0.053	0.027	
	Centro	50.38	0.3591	29.21	0.2052	61.33	14.88	1.834	0.925	0.466	0.235	0.119	0.080	0.030	
	R.Ext.	43.63	0.4768	42.82	0.3287	75.33	23.43	1.335	0.837	0.524	0.329	0.208	0.129	0.081	
0+400	R. Int.	35.56	0.7205	70.28	0.5350	67.00	42.71	1.256	0.945	0.711	0.535	0.403	0.303	0.228	
	Centro	33.94	0.7912	78.31	0.4830	71.67	37.85	1.039	0.805	0.623	0.483	0.374	0.290	0.224	
	R.Ext.	41.00	0.5421	50.01	0.3638	77.67	28.58	1.274	0.854	0.572	0.384	0.257	0.172	0.118	
0+450	R. Int.	40.13	0.5660	52.72	0.4317	85.33	33.06	1.347	0.922	0.631	0.432	0.265	0.202	0.138	
	Centro	45.88	0.4330	37.61	0.2851	78.67	20.29	1.455	0.855	0.502	0.295	0.173	0.102	0.060	
	R.Ext.	35.25	0.7334	71.74	0.5257	84.00	41.84	1.213	0.918	0.685	0.526	0.398	0.301	0.228	
0+500	R. Int.	44.75	0.4550	40.12	0.3418	85.67	24.63	1.524	0.928	0.562	0.342	0.207	0.126	0.077	
	Centro	43.00	0.4828	44.41	0.3730	85.00	27.57	1.440	0.918	0.585	0.373	0.236	0.152	0.097	
	R.Ext.														

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TRAMO

SANFANDILA - IMT

Fecha: 24/03/00

Volumen: 71500 mm3. Velocidad del péndulo S=10

$$F(S) = F60 \cdot e^{\frac{S-10}{7}}$$

Caden.	Secc.	CAMPO		F60		CAMPO		Velocidad											
		D.P.T.	Ts (mm)	Fp	F60	FRs	FR60	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
0+000	R. Int.	28.25	1.32	138.88	0.5859	65.33	45.56	0.872	0.755	0.654	0.568	0.480	0.424	0.367					
	Centro	23.88	1.60	170.06	0.4904	51.87	38.51	0.808	0.620	0.552	0.490	0.436	0.388	0.345					
	R.Ext.	21.75	1.93	207.28	0.8530	68.33	53.69	0.872	0.792	0.719	0.653	0.593	0.538	0.489					
0+050	R. Int.	28.00	1.18	120.48	0.8248	77.33	51.07	1.028	0.871	0.738	0.625	0.529	0.448	0.380					
	Centro	24.75	1.49	157.45	0.5172	56.33	41.01	0.757	0.667	0.587	0.517	0.455	0.401	0.353					
	R.Ext.	19.63	2.37	257.26	0.6071	60.00	49.40	0.767	0.709	0.658	0.607	0.562	0.520	0.481					
0+100	R. Int.	24.50	1.82	180.91	0.4863	63.87	39.33	0.725	0.640	0.565	0.499	0.441	0.389	0.344					
	Centro	25.83	1.39	146.10	0.4735	52.00	36.93	0.714	0.623	0.543	0.474	0.413	0.360	0.314					
	R.Ext.	19.88	2.31	250.54	0.5254	51.00	41.77	0.868	0.818	0.509	0.525	0.485	0.448	0.414					
0+150	R. Int.	24.63	1.50	159.17	0.6256	70.00	51.13	0.912	0.804	0.706	0.628	0.552	0.487	0.429					
	Centro	26.63	1.39	146.10	0.4558	49.67	35.27	0.687	0.669	0.523	0.458	0.397	0.347	0.302					
	R.Ext.	22.75	1.76	188.47	0.5024	51.87	39.63	0.891	0.821	0.559	0.502	0.452	0.406	0.365					
0+200	R. Int.	23.75	1.62	171.98	0.5832	64.33	48.10	0.841	0.749	0.686	0.593	0.528	0.470	0.418					
	Centro	22.00	1.88	202.36	0.6022	62.67	48.95	0.810	0.734	0.665	0.602	0.546	0.494	0.448					
	R.Ext.	26.25	1.32	138.88	0.5360	61.33	42.77	0.826	0.715	0.618	0.536	0.464	0.402	0.348					
0+250	R. Int.	25.75	1.37	144.57	0.6565	76.33	54.01	0.964	0.868	0.754	0.657	0.572	0.498	0.434					
	Centro	22.00	1.88	202.36	0.7895	62.67	44.57	1.035	0.938	0.849	0.770	0.697	0.631	0.572					
	R.Ext.	25.75	1.37	144.57	0.5833	68.00	48.12	0.899	0.782	0.681	0.593	0.517	0.450	0.392					
0+300	R. Int.	24.00	1.58	168.18	0.6561	72.67	53.98	0.937	0.832	0.739	0.656	0.583	0.517	0.459					
	Centro	20.38	2.20	237.83	0.7261	74.67	60.51	0.934	0.859	0.790	0.726	0.667	0.614	0.564					
	R.Ext.	24.13	1.57	166.32	0.6251	69.00	51.08	0.897	0.795	0.705	0.625	0.554	0.491	0.436					
0+350	R. Int.	25.63	1.39	146.10	0.6231	71.87	50.90	0.940	0.819	0.715	0.623	0.543	0.474	0.413					
	Centro	20.00	2.26	247.27	0.7342	75.00	61.27	0.936	0.863	0.798	0.734	0.677	0.625	0.576					
	R.Ext.	22.25	1.84	197.57	0.5741	59.67	46.33	0.778	0.703	0.635	0.574	0.519	0.468	0.424					
0+400	R. Int.	23.75	1.62	171.98	0.6839	75.67	56.58	0.969	0.863	0.768	0.684	0.609	0.542	0.483					
	Centro	20.13	2.25	244.07	0.7237	74.00	60.29	0.925	0.853	0.788	0.724	0.667	0.614	0.566					
	R.Ext.	25.88	1.36	143.07	0.6066	70.00	49.35	0.923	0.802	0.698	0.607	0.527	0.459	0.399					
0+450	R. Int.	23.63	1.63	173.93	0.6431	70.33	52.78	0.908	0.809	0.721	0.643	0.573	0.511	0.455					
	Centro	19.50	2.40	260.72	0.6874	66.67	55.03	0.840	0.778	0.721	0.667	0.618	0.572	0.530					
	R.Ext.	26.88	1.26	131.77	0.5690	67.00	45.84	0.897	0.771	0.682	0.589	0.489	0.420	0.361					
0+500	R. Int.	23.63	1.63	173.93	0.6913	76.33	57.26	0.976	0.870	0.778	0.691	0.618	0.549	0.490					
	Centro	20.68	2.09	226.03	0.6846	68.33	54.77	0.967	0.793	0.726	0.665	0.608	0.557	0.510					
	R.Ext.	22.00	1.86	202.36	0.6836	70.00	54.67	0.893	0.809	0.732	0.664	0.601	0.545	0.493					

TRAMO IMT - La VENTA

Fecha: 31/03/00

Volumen: 71500 mm3. Velocidad del péndulo S=10

$$F(S) = F60 \cdot e^{\frac{S-10}{7}}$$

Caden.	Secc.	CAMPO		F60		CAMPO		Velocidad											
		D.P.T.	Ts (mm)	Fp	F60	FRs	FR60	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
0+000	R. Int.	85.00	1.599	170.06	0.7565	85.00	63.35	1.076	0.957	0.851	0.756	0.673	0.598	0.532					
	Centro	73.33	1.094	111.93	0.5796	73.33	48.84	0.993	0.830	0.693	0.580	0.484	0.405	0.338					
	R.Ext.	83.33	1.348	141.98	0.7050	83.33	58.54	1.077	0.935	0.812	0.705	0.612	0.531	0.461					
0+050	R. Int.	70.00	1.374	144.57	0.8085	70.00	49.53	0.922	0.802	0.699	0.609	0.530	0.461	0.402					
	Centro	78.00	1.458	154.08	0.6819	78.00	56.39	1.007	0.894	0.778	0.682	0.599	0.526	0.462					
	R.Ext.	88.33	1.348	141.98	0.7428	88.33	62.05	1.134	0.985	0.855	0.743	0.645	0.560	0.488					
0+100	R. Int.	79.00	1.444	152.44	0.6875	79.00	56.91	1.019	0.894	0.784	0.687	0.603	0.529	0.464					
	Centro	81.33	1.348	141.98	0.6899	81.33	57.13	1.084	0.915	0.795	0.690	0.599	0.520	0.452					
	R.Ext.	78.33	1.132	117.02	0.6252	78.33	51.08	1.044	0.880	0.742	0.625	0.527	0.444	0.374					
0+150	R. Int.	70.00	1.273	133.11	0.5929	70.00	48.06	0.931	0.801	0.689	0.593	0.510	0.439	0.378					
	Centro	73.33	1.401	147.86	0.6378	73.33	52.27	0.958	0.836	0.730	0.638	0.557	0.486	0.425					
	R.Ext.	70.00	0.933	94.44	0.5195	70.00	41.23	0.981	0.794	0.642	0.520	0.420	0.340	0.275					
0+200	R. Int.	85.67	1.262	131.77	0.7058	85.67	58.62	1.113	0.958	0.821	0.708	0.608	0.521	0.448					
	Centro	75.00	1.193	122.87	0.6127	75.00	49.93	0.908	0.848	0.721	0.613	0.521	0.442	0.376					
	R.Ext.	75.00	1.250	130.45	0.8255	75.00	51.12	0.991	0.850	0.729	0.626	0.537	0.460	0.395					
0+250	R. Int.	83.67	1.122	115.89	0.6801	83.67	54.35	1.108	0.932	0.784	0.680	0.585	0.487	0.393					
	Centro	83.00	1.173	121.87	0.6874	83.00	55.03	1.063	0.927	0.787	0.667	0.568	0.480	0.408					
	R.Ext.	72.33	1.227	127.85	0.6019	72.33	48.92	0.982	0.823	0.704	0.602	0.515	0.440	0.376					
0+300	R. Int.	77.00	1.093	112.80	0.6070	77.00	49.39	1.034	0.866	0.725	0.607	0.508	0.425	0.356					
	Centro	80.00	1.650	175.91	0.7226	80.00	60.21	1.017	0.907	0.810	0.723	0.645	0.576	0.514					
	R.Ext.	70.00	1.262	131.77	0.5910	70.00	47.90	0.932	0.801	0.688	0.591	0.506	0.436	0.375					
0+350	R. Int.	77.00	0.904	91.13	0.5544	77.00	44.48	1.071	0.860	0.690	0.554	0.445	0.357	0.287					
	Centro	75.00	1.239	128.14	0.6234	75.00	50.92	0.992	0.850	0.728	0.623	0.534	0.457	0.392					
	R.Ext.	75.33	1.013	103.46	0.5756	75.33	46.46	1.028	0.847	0.698	0.578	0.474	0.391	0.322					
0+400	R. Int.	64.33	1.152	119.31	0.5311	64.33	42.31	0.878	0.743	0.628	0.531	0.449	0.380	0.321					
	Centro	70.67	1.458	154.08	0.6251	70.67	51.08	0.923	0.810	0.712	0.625	0.549	0.482	0.423					
	R.Ext.	70.00	1.250	130.45	0.5890	70.00	47.71	0.933	0.800	0.687	0.589	0.505	0.433	0.372					
0+450	R. Int.	72.67	1.038	106.39	0.5644	72.67	45.42	0.992	0.822	0.681	0.564	0.468	0.388	0.321					
	Centro	78.00	1.488	157.45	0.6861	78.00	56.78	1.004	0.885	0.779	0.686	0.60							

TRAMO

La VENTA-PEDRO ESCOBEDO

Fecha: 12/05/00

Volumen: 71589 mm3.

Velocidad del péndulo S=10

$$F(S) = F_{60} \cdot e^{\frac{S-10}{10}}$$

Caudal	CAMPO	T ₁		T ₂		T ₃		T ₄		T ₅		T ₆		T ₇	
		D.B.T.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0+000	R. Int.	22.88	1.741	186.29	0.9133	102.00	77.99	1.260	1.132	1.017	0.913	0.820	0.737	0.662	
	Centro	46.88	0.415	35.53	0.2485	65.00	16.82	1.344	0.708	0.436	0.248	0.142	0.081	0.048	
	R.Ext.	43.88	0.473	42.20	0.3673	88.33	27.01	1.522	0.949	0.580	0.367	0.229	0.142	0.089	
0+050	R. Int.	33.75	0.800	79.31	0.8085	85.33	45.43	1.267	1.006	0.783	0.609	0.473	0.367	0.288	
	Centro	44.25	0.465	41.29	0.6819	81.33	24.23	2.916	1.798	1.107	0.882	0.420	0.250	0.159	
	R.Ext.	34.50	0.788	75.40	0.7426	78.00	38.16	1.846	1.262	0.968	0.743	0.570	0.437	0.335	
0+100	R. Int.	30.63	0.972	98.81	0.6875	59.67	35.97	1.262	1.031	0.842	0.887	0.562	0.459	0.375	
	Centro	36.75	0.713	69.43	0.6699	87.67	42.66	1.637	1.227	0.920	0.690	0.517	0.398	0.291	
	R.Ext.	35.25	0.733	71.74	0.6252	81.67	40.68	1.443	1.082	0.826	0.625	0.473	0.358	0.271	
0+150	R. Int.	42.50	0.504	45.74	0.5929	70.33	23.57	2.202	1.422	0.918	0.593	0.383	0.247	0.160	
	Centro	32.88	0.843	84.22	0.6378	83.00	46.84	1.300	1.029	0.809	0.638	0.503	0.397	0.313	
	R.Ext.	46.88	0.415	35.53	0.5195	83.97	20.49	2.811	1.601	0.912	0.520	0.296	0.189	0.098	
0+200	R. Int.	32.75	0.850	84.85	0.7058	82.00	45.52	1.430	1.130	0.883	0.708	0.558	0.441	0.348	
	Centro	29.75	1.030	105.40	0.8127	74.00	46.05	1.068	0.896	0.741	0.613	0.507	0.419	0.347	
	R.Ext.	30.50	0.960	96.72	0.6265	73.33	44.42	1.142	0.934	0.784	0.628	0.512	0.419	0.343	
0+250	R. Int.	31.88	0.897	90.32	0.6601	85.00	48.87	1.263	1.028	0.824	0.660	0.529	0.424	0.340	
	Centro	24.50	1.518	180.81	0.6674	77.00	56.43	0.969	0.850	0.756	0.667	0.589	0.520	0.460	
	R.Ext.	29.25	1.065	109.44	0.6019	74.67	47.28	1.042	0.868	0.723	0.602	0.501	0.418	0.348	
0+300	R. Int.	26.25	1.322	138.88	0.6070	86.33	61.59	0.936	0.810	0.701	0.607	0.525	0.455	0.394	
	Centro	25.25	1.429	180.82	0.7228	82.33	66.28	1.076	0.942	0.825	0.723	0.633	0.564	0.488	
	R.Ext.	25.25	1.429	150.82	0.5910	88.33	63.41	0.880	0.770	0.675	0.591	0.516	0.453	0.397	
0+350	R. Int.	29.00	1.084	111.53	0.5544	100.00	63.67	0.949	0.794	0.683	0.554	0.463	0.387	0.324	
	Centro	23.25	1.686	179.96	0.6234	70.00	53.02	0.670	0.779	0.697	0.623	0.568	0.499	0.447	
	R.Ext.	26.00	1.348	141.58	0.5756	83.33	58.54	0.879	0.764	0.663	0.578	0.500	0.434	0.377	
0+400	R. Int.	29.25	1.065	106.44	0.5311	88.67	56.15	0.919	0.765	0.639	0.531	0.442	0.369	0.307	
	Centro	24.75	1.488	157.46	0.6251	82.00	59.69	0.915	0.808	0.710	0.625	0.551	0.486	0.427	
	R.Ext.	25.63	1.388	146.10	0.5890	92.33	65.57	0.888	0.775	0.675	0.589	0.514	0.448	0.391	
0+450	R. Int.	22.25	1.841	197.57	0.5644	91.33	70.91	0.765	0.691	0.625	0.564	0.510	0.461	0.417	
	Centro	22.13	1.862	199.94	0.6881	88.67	67.49	0.928	0.838	0.758	0.688	0.621	0.562	0.508	
	R.Ext.	27.50	1.205	125.33	0.6231	88.67	58.16	1.006	0.857	0.731	0.623	0.531	0.453	0.386	
0+500	R. Int.	28.50	1.298	135.88	0.6226	91.33	83.21	0.968	0.838	0.721	0.623	0.537	0.464	0.400	
	Centro	24.63	1.503	159.17	0.7616	106.33	77.67	1.110	0.979	0.864	0.762	0.672	0.592	0.522	
	R.Ext.	24.75	1.488	157.45	0.7082	88.33	64.30	1.037	0.913	0.804	0.708	0.624	0.549	0.484	

Lecturas de Campo

Pt. B. QUINTANA		SANFANDIE - IMT		IMT LA VENTA		LA VENTA PESCOBEDO	
Lx (mm)	FRs	Lx (mm)	FRs	Lx (mm)	FRs	Lx (mm)	FRs
0.421	0.730	1.322	0.653	1.599	0.850	1.741	1.020
0.397	0.773	1.599	0.517	1.084	0.733	0.415	0.650
0.760	0.680	1.926	0.683	1.348	0.833	0.473	0.883
0.360	0.753	1.162	0.773	1.374	0.700	0.800	0.853
0.426	0.723	1.488	0.583	1.458	0.780	0.465	0.813
0.755	0.743	2.366	0.600	1.348	0.883	0.766	0.760
0.290	0.713	1.518	0.537	1.444	0.790	0.972	0.597
0.417	0.887	1.388	0.520	1.348	0.813	0.713	0.877
0.605	0.713	2.307	0.510	1.132	0.783	0.733	0.817
0.313	0.743	1.503	0.700	1.273	0.700	0.504	0.703
0.536	0.737	1.388	0.497	1.401	0.733	0.843	0.830
0.413	0.717	1.761	0.517	0.933	0.700	0.415	0.837
0.298	0.647	1.616	0.643	1.262	0.857	0.850	0.820
0.341	0.687	1.883	0.627	1.183	0.750	1.030	0.740
0.293	0.737	1.322	0.613	1.250	0.750	0.980	0.733
0.213	0.713	1.374	0.763	1.122	0.837	0.897	0.850
0.365	0.643	1.883	0.827	1.173	0.830	1.518	0.770
0.362	0.650	1.374	0.680	1.227	0.723	1.065	0.747
0.305	0.530	1.582	0.727	1.093	0.770	1.322	0.883
0.394	0.540	2.195	0.747	1.650	0.800	1.429	0.923
0.542	0.747	1.566	0.690	1.262	0.700	1.429	0.883
0.218	0.780	1.388	0.717	0.904	0.770	1.084	1.000
0.000	0.650	2.278	0.750	1.239	0.750	1.686	0.700
0.359	0.813	1.841	0.597	1.013	0.753	1.348	0.833
0.479	0.753	1.616	0.757	1.152	0.643	1.065	0.887
0.721	0.870	2.250	0.740	1.458	0.707	1.486	0.820
0.791	0.717	1.361	0.700	1.250	0.700	1.388	0.923
0.542	0.777	1.633	0.703	1.038	0.727	1.841	0.913
0.566	0.853	2.396	0.667	1.488	0.780	1.862	0.867
0.433	0.767	1.262	0.670	1.388	0.717	1.205	0.867
0.733	0.840	1.633	0.763	1.162	0.770	1.298	0.913
0.455	0.857	2.091	0.683	1.704	0.840	1.503	1.063
0.493	0.850	1.883	0.700	1.262	0.860	1.488	0.883

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Caso Monterrey

Tablas de Datos de campo y Valores del IFI

TRAMO

1 Carr. Mty - Cd. Mier Km 10+000 de la Ruta 54

TDPA

30000 Vehículos

Diámetro: 45 mm 4.5
 Altura: 45 mm 4.5
 Volumen: 71589 mm³. 71.6 cm³

Fecha: 18/07/00

Aden	Pav	Pendiente de Fricción					PFA	Circulo de arena					Prom. V _z	donde S=10			
		1	2	3	4	5		From	a	b	c	d		Tot	H(mm)	FR60	Vp
0+000	R	56	52	52	51	50	52.2	0.5	100	100	100	100	100.0	0.09	1.9E+17	-1.24	1.4E+15
	C																
	RE	55	55	55	55	55	55.0	0.8	100	100	100	100	100.0	0.09	2.1E+17	-1.24	1.5E+15
0+050	R	53	54	55	54	55	54.2	0.5	99	98	100	99	99.0	0.09	8.2E+20	-1.03	5.8E+18
	C																
	RE	55	56	56	55	56	55.6	0.6	99	100	99	100	99.5	0.09	8.8E+18	-1.13	6.2E+16
								0.5					99.8				

TRAMO

2 Carr. Cd. Victoria - Mty Km 268+000 de la Ruta 85

TDPA

10865 Vehículos

Fecha: 18/07/00

Aden	Pav	Pendiente de Fricción					PFA	Circulo de arena					Prom. V _z	donde S=10			
		1	2	3	4	5		From	a	b	c	d		Tot	H(mm)	FR60	Vp
0+000	R	62	65	64	64	65	64.0	0.6	73	70	70	70	70.8	0.18	0.003	9.10	0.078
	C																
	RE	65	65	66	65	66	65.4	0.7	70	73	72	73	72.0	0.18	0.002	8.38	0.078
0+050	R	64	66	65	65	66	65.2	0.7	71	70	70	71	70.5	0.18	0.003	9.24	0.078
	C																
	RE	66	65	65	65	65	65.2	0.7	72	73	72	73	72.5	0.17	0.001	8.11	0.078
0+100	R	63	64	65	65	66	64.6	0.6	69	71	70	70	70.0	0.19	0.003	9.54	0.078
	C																
	RE	66	65	65	65	64	65.0	0.7	73	73	72	73	72.8	0.17	0.001	7.97	0.078
0+150	R	64	65	64	65	66	64.8	0.6	70	71	70	72	70.8	0.18	0.003	9.10	0.078
	C																
	RE	65	65	65	65	65	65.0	0.7	74	72	73	74	73.3	0.17	0.001	7.71	0.078
								0.6					71.6				

TRAMO

3 Carr. Mty - Raynoza Km 23+000 de la Ruta 40

TDPA

14570 Vehiculos

Fecha: 19/07/00

Caden	C	Péndulo de Fricción					FRs	Cálculo de arena					Prom. T ₁	donde S=10			
		2	3	4	5	6		7	8	9	10	11		12	FR60	Vp	F60
0+000	RI	55	55	55	55	50	54.0	0.6	63	60	63	63	62.3	0.24	0.020	15.13	0.078
	C																
	RE	45	54	55	55	55	52.8	0.6	74	72	73	72	72.8	0.17	0.001	7.97	0.078
0+050	RI	56	55	55	55	55	55.2	0.6	64	63	65	64	64.0	0.22	0.014	13.69	0.078
	C																
	RE	59	59	59	60	60	59.4	0.8	72	75	72	73	73.0	0.17	0.001	7.84	0.078
0+100	RI	58	59	60	58	60	59.0	0.6	66	67	66	66	66.3	0.21	0.009	12.00	0.078
	C																
	RE	57	58	58	57	59	57.8	0.6	75	75	73	73	74.0	0.17	0.001	7.32	0.078
0+150	RI	53	54	54	55	56	54.4	0.5	68	68	68	67	67.8	0.20	0.006	10.97	0.078
	C																
	RE	58	54	55	55	54	54.8	0.5	75	75	76	75	75.3	0.16	0.000	6.70	0.078
						0.6						60.3					

TRAMO

4 Carr. Cd. Victoria - Mty Km 211+000 de la Ruta 85

TDPA

6140 Vehiculos

Fecha: 19/07/00

Caden	C	Péndulo de Fricción					FRs	Cálculo de arena					Prom. T ₁	donde S=10			
		2	3	4	5	6		7	8	9	10	11		12	FR60	Vp	F60
0+000	RI	67	67	67	67	65	66.6	0.7	29	28	29	28	28.5	1.12	0	115.89	0.081
	C	76	72	75	71	70	72.8	0.7	41	37	41	38	39.3	0.59	0	55.62	0.060
	RE	80	75	75	75	72	75.4	0.8	29	27	26	28	27.5	1.20	1	125.33	0.081
0+050	RI	67	67	68	67	68	67.4	0.7	28	27	29	28	28.0	1.16	0	120.48	0.081
	C	74	75	74	75	75	74.8	0.7	39	40	38	39	39.0	0.60	0	56.49	0.080
	RE	75	76	75	75	77	75.6	0.8	27	28	27	26	27.0	1.25	1	130.45	0.081
0+100	RI	66	67	68	67	67	67.4	0.7	29	29	28	29	28.8	1.10	0	113.68	0.081
	C	72	72	75	74	75	73.6	0.7	39	40	40	40	39.8	0.58	0	53.94	0.080
	RE	77	78	78	78	78	77.8	0.8	28	28	27	28	27.8	1.18	1	122.87	0.082
						0.7						31.7					
0+000	RI	53	55	56	57	57	55.8	0.6	42	42	43	40	41.8	0.52	0	47.81	0.079
	C																
	RE	55	56	56	55	56	55.6	0.6	43	43	42	43	42.6	0.50	0	45.07	0.079
						0.6						42.3					

TRAMO

5 Libramiento NW Mty. Km 1+000 de la Ruta Mex-ML

TDPA

8150 Vehiculos

Fecha: 20/07/00

Caden	C	Péndulo de Fricción					FRs	Cálculo de arena					Prom. T ₁	donde S=10				
		2	3	4	5	6		7	8	9	10	11		12	FR60	Vp	F60	
0+000	RI	35	74	75	75	76	76	75.2	0.8	102	100	97	95	98.5	0.09	3.5E+23	-0.92	2.5E+21
	C																	
	RE	67	60	65	80	60	62.4	0.6	104	99	101	102	101.5	0.09	7.9E+13	-1.54	5.6E+11	
0+050	RI	65	55	55	60	55	58.0	0.6	97	96	96	102	98.3	0.09	8.1E+24	-0.86	5.7E+22	
	C																	
	RE	65	65	65	65	66	65.2	0.7	108	107	111	109	108.8	0.08	3.0E+07	-2.83	2.1E+05	
0+100	RI	67	67	68	67	68	67.4	0.7	100	98	99	100	99.3	0.09	9.2E+19	-1.08	6.5E+17	
	C																	
	RE	75	76	76	75	76	75.6	0.8	99	100	100	99	99.5	0.09	1.2E+19	-1.13	8.4E+16	
						0.7						101.0						

TRAMO

6 Carr. Matehuala - Saltillo Km.207 Ruta:57 (Despues de Caseta)

TDPA

8900 Vehiculos

Fecha: 22/07/00

Caden	Periodo de Frecion	P.R.s				Inicio de arena				Tol	I _x (mm)	donde S=10					
		1	2	3	4	1	2	3	4			FR60	Vp	F80			
0+000	RI	67	68	68	68	70	68.2	0.7	76	76	75	77	76.0	0.16	0.000	6.34	0.078
	C																
	RE	65	65	67	65	67	65.8	0.7	66	65	64	66	65.3	0.21	0.013	12.73	0.078
0+050	RI	65	65	65	67	68	66.0	0.7	77	77	75	75	76.0	0.16	0.000	6.34	0.078
	C																
	RE	63	64	66	66	67	65.2	0.7	65	66	66	66	65.8	0.21	0.011	12.36	0.078
0+100	RI	68	68	68	70	70	68.8	0.7	77	76	76	76	76.3	0.16	0.000	6.22	0.078
	C																
	RE	65	67	67	65	68	66.4	0.7	67	67	68	67	67.3	0.20	0.008	11.31	0.078
								0.7					71.1				

TRAMO

7 Carr. Matehuala - Saltillo Km.126 Ruta:57 (Frente Gasolinera)

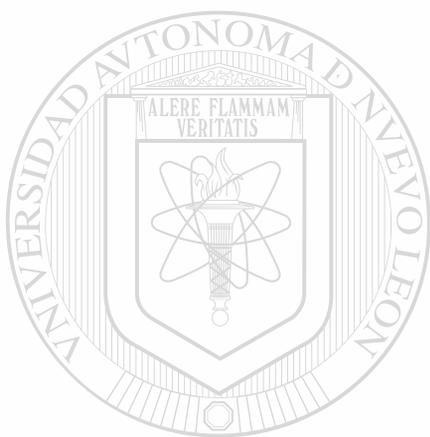
TDPA

7710 Vehiculos

Fecha: 22/07/00

Caden	Periodo de Frecion	P.R.s				Inicio de arena				Tol	I _x (mm)	donde S=10					
		1	2	3	4	1	2	3	4			FR60	Vp	F80			
0+000	RI	90	95	94	98	96	94.2	1.0	51	50	51	50	50.5	0.36	0.170	29.01	0.079
	C																
	RE	80	85	85	80	85	83.0	0.83	43	41	42	41	41.8	0.52	0.293	47.81	0.080
0+050	RI	91	95	95	98	97	94.8	0.95	51	51	51	51	51.0	0.35	0.162	28.22	0.079
	C																
	RE	82	84	83	84	84	83.4	0.84	42	43	42	43	42.5	0.50	0.260	45.74	0.080
	RI	60	58	55	56	55	56.8	0.56	110	110	108	110	109.5	0.08	1.3E+07	-2.95	8.9E+04
	C																
	RE	55	56	57	57	60	57.0	0.57	106	106	105	108	106.3	0.08	5.4E+08	-2.42	3.8E+06
	RI	56	58	57	59	59	57.8	0.58	110	111	110	111	110.5	0.07	5.6E+06	-3.11	3.9E+04
	C																
	RE	55	55	57	57	60	56.8	0.56	107	108	108	107	107.5	0.08	1.0E+08	-2.63	7.2E+05
								0.893					0.434				
								0.6					0.078				

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



