

**MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL, IFI,  
EN SUPERFICIES DE RODAMIENTO DEL ÁREA METROPOLITANA DE  
MONTERREY PARA DEFINIR LAS ÁREAS CON MAYOR ÍNDICE DE ACCIDENTES.**

**Dr. Carlos Humberto Fonseca Rodríguez**

ITESM, Campus Monterrey

Director de la Carrera de Ingeniero Civil

CP 64849, Monterrey, Nuevo León, México

Tel y Fax: +52 81 8358 2000 ext 5451

[carlos.fonseca@itesm.mx](mailto:carlos.fonseca@itesm.mx)

**RESUMEN**

Actualmente en la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey, México, ubicada en la zona noreste del país se está tratando de proveer a la superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles de una textura que proporcione a los pavimentos nuevos y existentes de una alta resistencia al deslizamiento y con esto disminuir el alto índice de accidentes automovilísticos en días de lluvia. El proyecto de investigación realizado nace de una iniciativa del Gobierno del Estado de Nuevo León cuyas autoridades de Obras Públicas encargan al Centro de Diseño y Construcción y al Departamento de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey investigar el tópico de deslizamiento en pavimentos con el fin de poder dar alternativas de solución para la problemática existente. El proyecto inicia con el diseño de tres microaglomerados en caliente, tres carpetas de graduación abierta y un tratamiento superficial, empleando materiales pétreos de formación calizas, dolomitas y escorias y cementos asfálticos modificados con SBS, con una duración de siete meses. Posteriormente se construyen tres tramos de prueba con diferente carga vehicular en tres sitios de la zona metropolitana de Monterrey, y en cada uno de ellos se emplean los tres materiales pétreos. A partir de la construcción de los tramos de prueba se dió seguimiento mediante campañas de auscultación tratando de observar la evolución de los parámetros de microtextura y macrotextura, empleando el péndulo de fricción inglés (ASTM E 303-93) y el método volumétrico del círculo de arena (ASTM E 965-96), respectivamente. Adicional a estos tratamientos se le ha dado seguimiento a otras superficies y de todos los resultados obtenidos hemos podido formar una base de datos de valores que servirán de apoyo estadístico para poder elaborar conclusiones.

**PALABRAS CALVE:** Microtextura. Macrotextura. Microaglomerados. Índice de Fricción Internacional, IFI.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cualquier tipo de pavimento en vialidades urbanas y rurales debe de tener como el objetivo primordial proveer a los usuarios de la infraestructura vial de superficie cómoda y segura, para transitar de una manera rápida y económica. Las texturas de la superficie del pavimento proporcionan características funcionales al pavimento que pueden garantizar o no el cumplimiento de este objetivo primordial, y su incumplimiento puede ser responsable en buena parte de cifras o estadísticas de accidentes fatales en la red de calles y carreteras de un país.

Desde el punto de vista del ingeniero, siempre ha sido de mucho interés al momento de proyectar la estructura de un pavimento conocer cuánto va a resistir, se le da mucha importancia a las características estructural y poca importancia a las funcionales. Como ya se mencionó, al ser la capa rodamiento del pavimento la responsable en parte de la seguridad, su construcción debe ser hecha con materiales que presenten una buena adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, alta macrotextura, baja reflexión de la luz, buena absorción del ruido interior y exterior del vehículo por rodamiento, baja proyección del agua por lluvia, bajo desgaste de neumáticos y reducción del envejecimiento y consumo de combustible de vehículos.

Estas características funcionales se han asociado con factores como la textura y la regularidad superficial de la capa de rodamiento de los pavimentos y ambos factores pueden ser definidos de acuerdo a variables inherentes a ellos. Dentro de la textura, se tienen variables como microtextura, macrotextura y megatextura, con estos tres tipos de irregularidades se pueden definir la textura de un pavimento y por lo tanto clasificarlo. La microtextura define el grado de aspereza de la superficie del pavimento, la macrotextura su rugosidad y la megatextura está asociada con el desprendimiento del agregado grueso (peladuras) y baches.

Para lograr una buena adherencia entre el neumático y el pavimento a bajas velocidades, la aspereza o microtextura juega un papel muy importante, por otro lado, la

macrotextura es necesaria para mantener esa adherencia a altas velocidades y con pavimento mojado, por lo tanto, es recomendable tener un pavimento con macrotextura suficientemente gruesa y con microtextura áspera. Sin embargo, hay que tener en cuenta que pavimentos con fuerte macrotextura, muy rugosos, inciden en un mayor desgaste de los neumáticos y son más ruidosos. La alta macrotextura y la falta de regularidad superficial son condiciones no deseables para el usuario ya que inciden negativamente en comodidad y gastos de mantenimiento de los vehículos.

Conociendo los valores de **Macrotextura**, método volumétrico del círculo de arena (ASTM E 965-96) y **Microtextura**, método del péndulo de fricción inglés (ASTM E 303-93), se procede a determinar los parámetros que definen al **Índice de Fricción Internacional, IFI**, empleando la Norma ASTM E 1960-07. Mediante la evolución del IFI en el tiempo, evaluado en diferentes sitios y períodos de tiempo de 6 meses, es posible determinar los sitios de una red vial o de un proyecto determinado, donde se necesite aplicar técnicas de rehabilitación que eleven el nivel de seguridad en términos de fricción en la superficie de un pavimento.

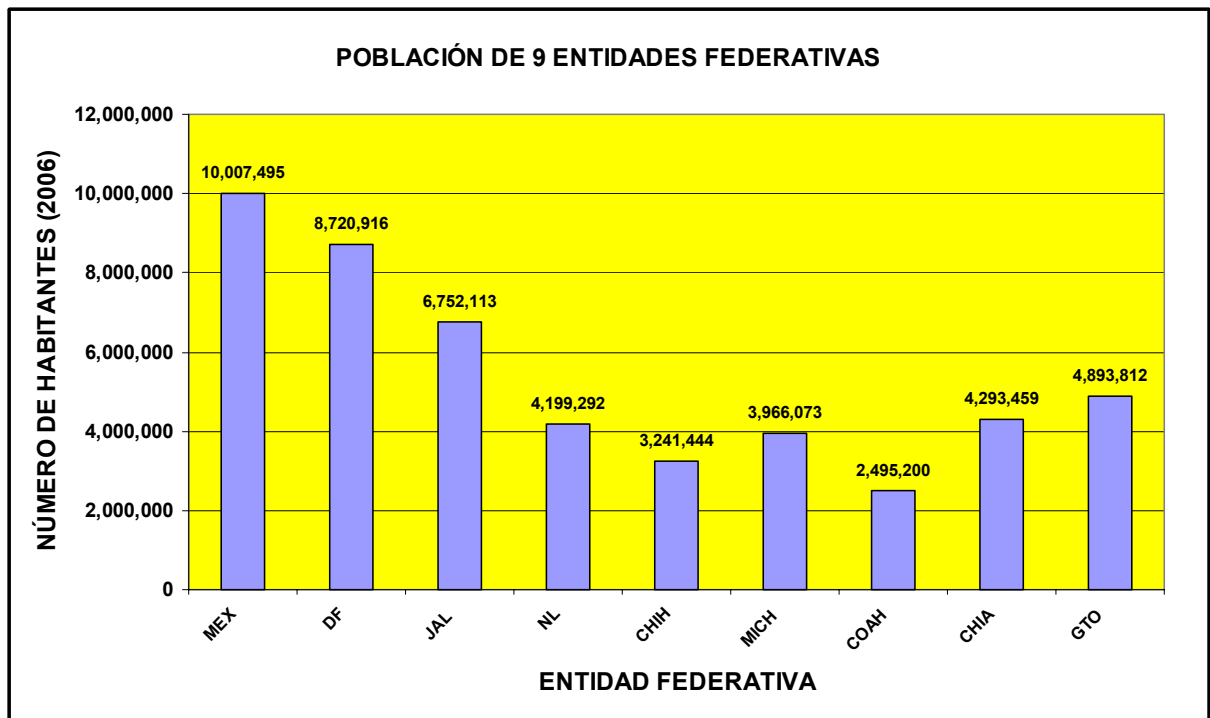
## 2. ANTECEDENTES

En la zona noreste del país, Figura 1, en la entidad federativa de Nuevo León se encuentra la Zona Metropolitana de Monterrey, ZMM, constituida por la conurbación de 6 Municipios: Monterrey, San Pedro Garza García, Guadalupe, San Nicolás de los Garza, Santa Catarina y Apodaca, en cuyas calles, avenidas y carreteras de acceso al área metropolitana, la construcción de las capas de rodamiento de los pavimentos se han realizado mediante mezclas asfálticas tradicionales que presenta deficiencias en los materiales y en su diseño.



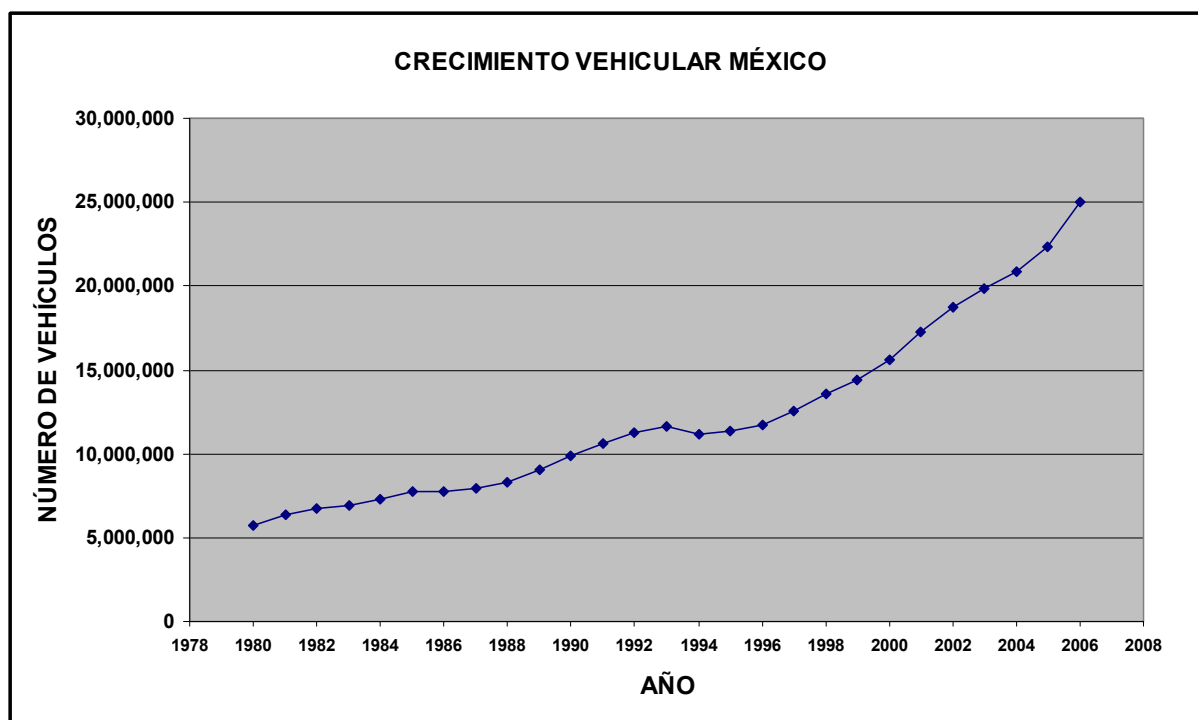
**Figura 1.** Ubicación de la ZMM en el mapa de México.

Para el año 2005 la población del país era de 103'263,388 habitantes, de acuerdo a censos realizados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, [1], que para fines prácticos serán empleados con datos de accidentalidad del año 2006, los más recientes publicados. De esta población nacional, existe una porcentaje del 47% distribuida en nueve (9) entidades federativas: México, MEX, Distrito Federal, DF, Jalisco, JAL, Guanajuato, GTO Chiapas, CHIA, Nuevo León, NL, Michoacán, MICH, Chihuahua, CHIH, y Coahuila, COAH, como puede apreciarse en la Figura 2 a continuación.



**Figura 2.** Población de nueve entidades federativas en 2005.

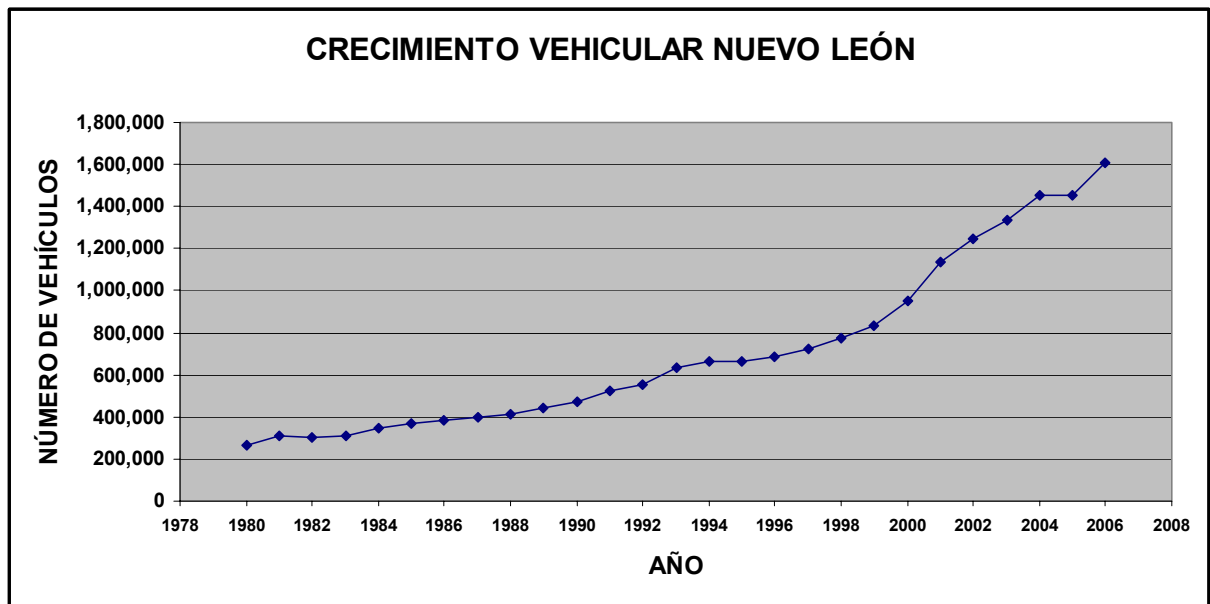
Por otro lado, el crecimiento de parque vehicular de México, ha seguido un comportamiento de acuerdo al desarrollo económico del país en las dos últimas décadas y media. En ellas se puede observar el lento crecimiento vehicular en la década de los 80 y la recesión económica de 1994, posteriormente. A partir del año 1996 hasta la fecha se ha tenido un crecimiento vehicular muy acelerado, siendo este incremento del 112.5% hasta el año 2006. Lo anterior se puede observar en la Figura 3 a continuación.



**Figura 3.** Crecimiento vehicular en la República Mexicana.

En el caso específico, el estado de Nuevo León, donde se encuentra la ZMM, tiene una población de 4'199,292 personas y está catalogado como uno de las entidades federativas de mayor crecimiento y empuje económico en el país. En crecimiento vehicular de Nuevo León ha tenido un comportamiento similar al del México, como se puede apreciar en la Figura 4, sin embargo, este crecimiento acelerado de esta demanda vehicular no ha ido acompañada de un incremento de la oferta en infraestructura para dar un nivel de servicio adecuado a las actividades económicas de la comunidad.

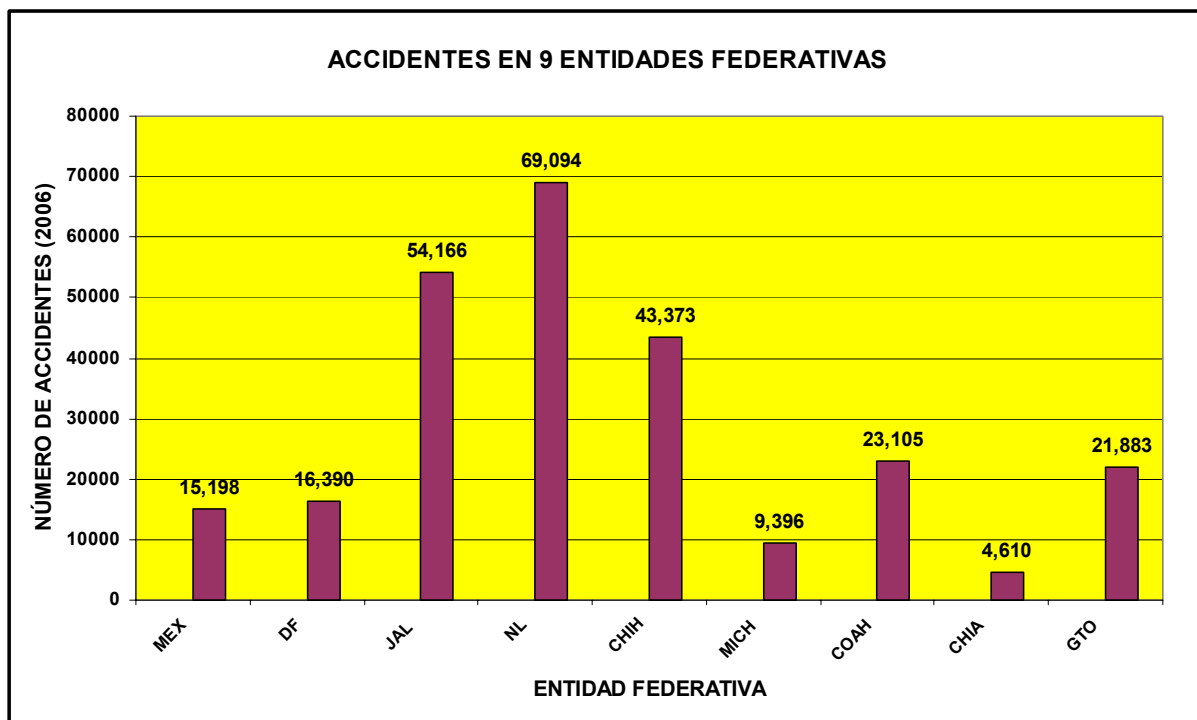
Esta situación aunada a las condiciones físicas de los pavimentos de la zona, ha generado condiciones de seguridad desfavorables para los usuarios de calles y avenidas en los municipios conurbados de la ZMM. En el año 2006 se registraron en todo el país un total de 462,505 accidentes terrestres con el parque vehicular de 24'970,897 vehículos.



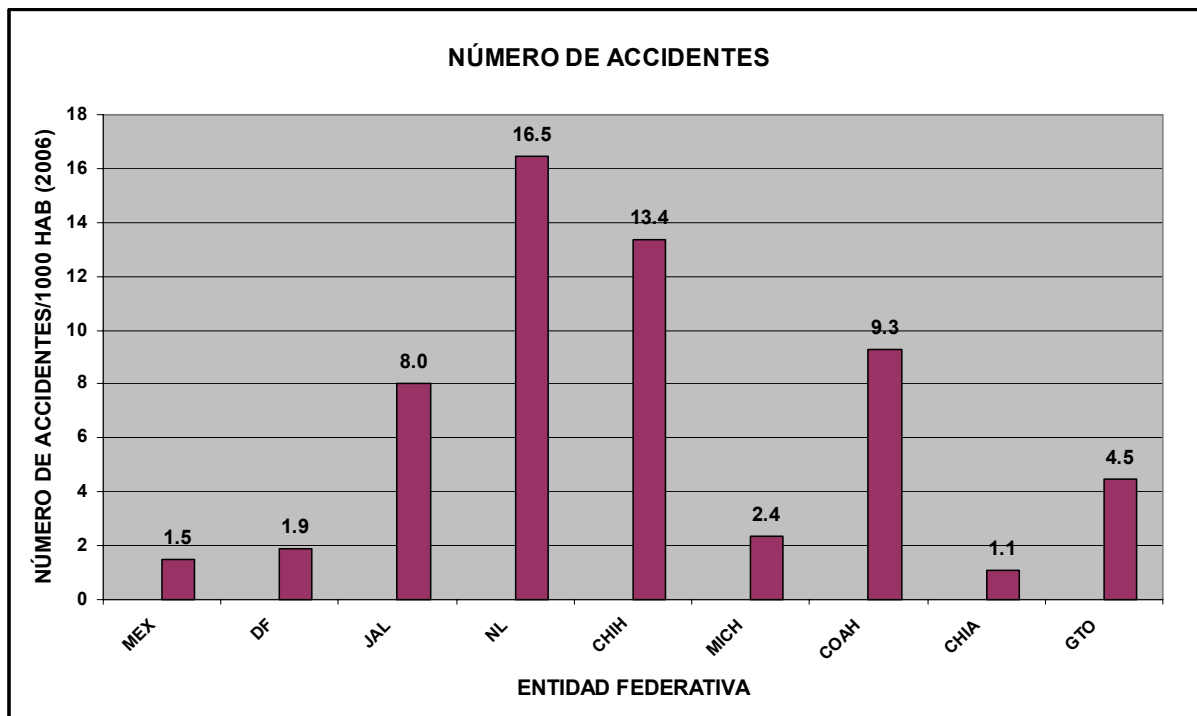
**Figura 4.** Crecimiento vehicular de la entidad federativa de Nuevo León.

En las 9 entidades federativas mencionadas, de las 32 existentes en México, se concentra el 56% de los accidentes (257,215 accidentes), como se puede apreciar en la Figura 5, y se tiene en esta misma población el 54% de los automóviles (13'391,134 automóviles).

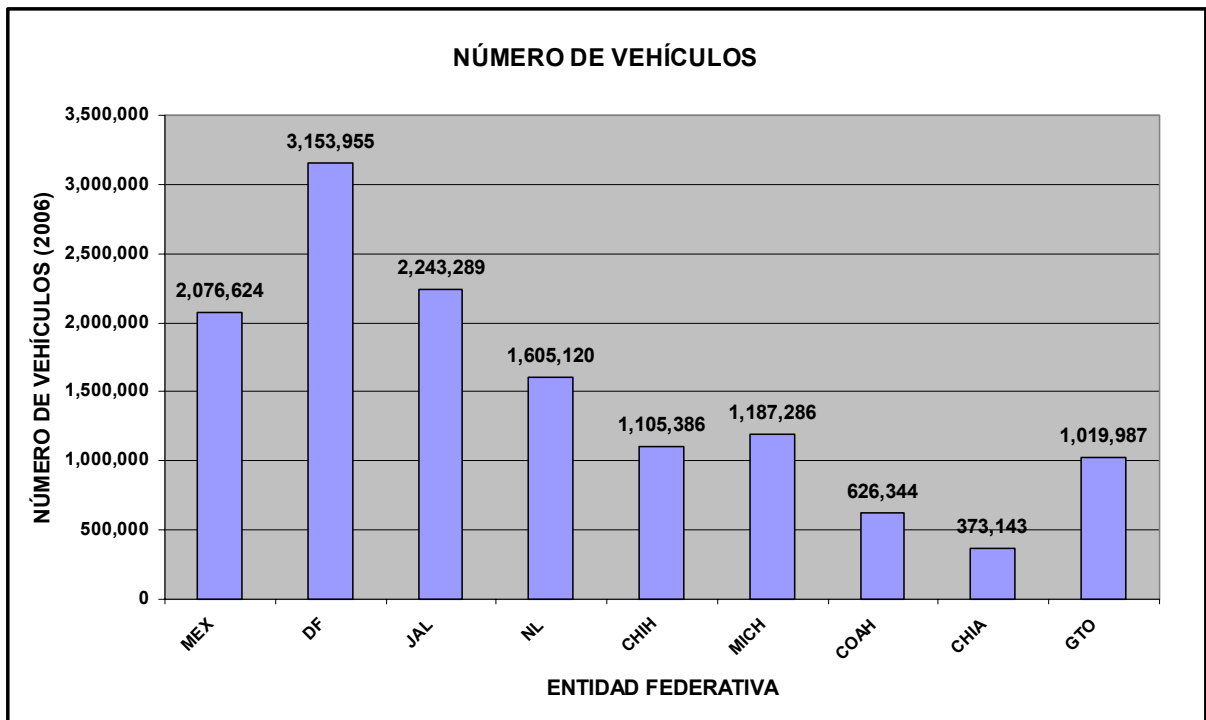
Es importante hacer notar que el número de accidentes en el estado de Nuevo León (69,094 accidentes) es el más alto del país, situación que preocupa ya que conlleva a pérdidas de vidas y de recursos materiales de manera importante y que es urgente atender. Lo anterior se puede también apreciar en la Figura 6 donde se muestra el número de accidentes por cada 1000 habitantes, cifra alarmante en el estado de Nuevo León (16.5 accidentes/1,000 habitantes) seguido por Chihuahua, y comparativamente el Distrito Federal tiene un número de accidentes por cada 1,000 habitantes muy bajo (1.9), con índices de motorización similares. El índice de motorización puede apreciarse en la Figura 8.



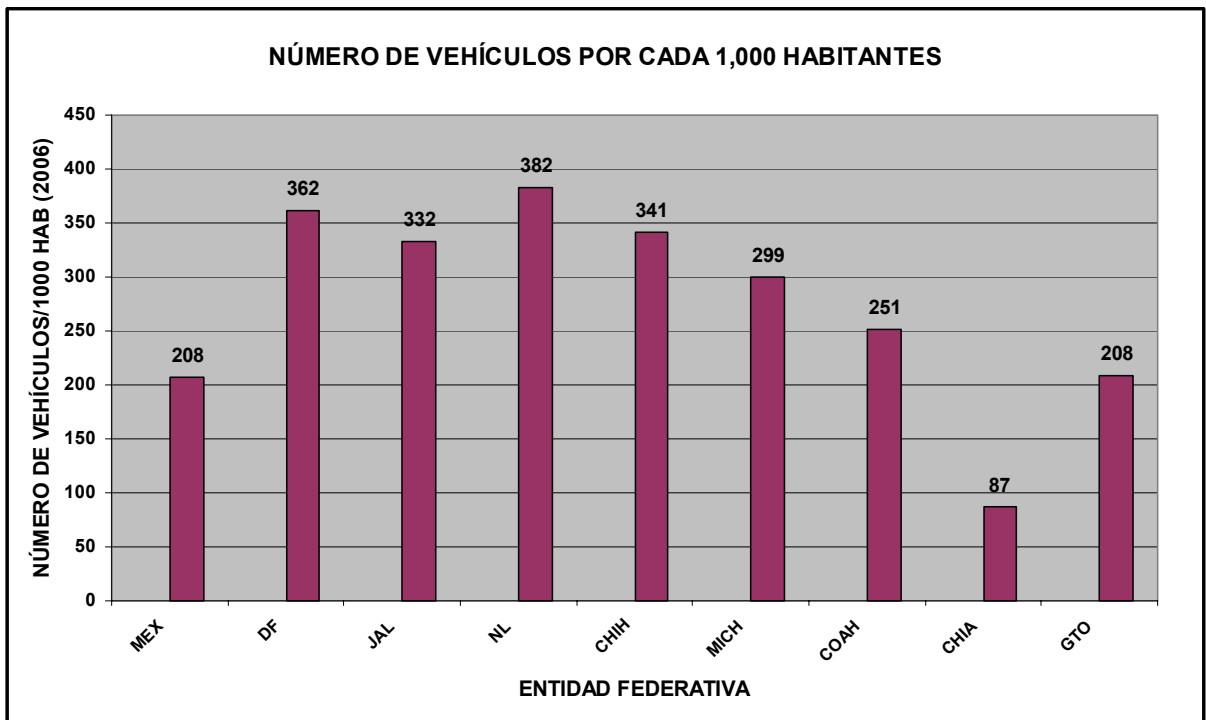
**Figura 5.** Distribución de accidentes en 9 entidades federativas.



**Figura 6.** Números de accidentes por cada 1000 habitantes.



**Figura 7.** Distribución de vehículos en 9 entidades federativas.



**Figura 8.** Índice de motorización por entidad federativa.

### 3. GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN

Como ya se mencionó con los valores promedios de las mediciones obtenidas del péndulo de fricción y corregidas a una temperatura de 20°C y de las alturas promedio del círculo de arena, se procede a determinar los parámetros que definen al Índice de Fricción Internacional, IFI, empleando la Norma ASTM E 1960. A continuación se presenta de manera breve el procedimiento establecido por esta norma.

#### 3.1 Determinación del parámetro **Sp**.

La constante de velocidad **Sp** puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la *macrotectura* (*Tx*) siendo este la profundidad media del perfil, tal que:

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

Donde los valores de las constantes a y b para cada uno de los diferentes equipos de medidas de fricción se presentan en la Tabla 1 a continuación:

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14.2	89.7
MTD por ASTM E 965	-11.6	113.6

**Tabla 1.** Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad tomada de la Norma ASTM E 1960.

#### 3.2 Determinación del parámetro **F60**.

Para la estimación de **F60** se establece el tipo de equipo a emplear y se realiza la medición de la fricción FRS en una sección de un pavimento dado. Se determina la velocidad S que depende del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 2.

<b>Tipo de Equipo</b>	<b>Ecuación para determinar S</b>
Con rueda bloqueada	$S = V$
Con rueda parcialmente bloqueada	$S = V$ por el % de deslizamiento
Con rueda oblicua	$S = V$ por el $\text{Sen } \delta$ , donde $\delta =$ ángulo de esviaje

**Tabla 2.** Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S a partir de la ecuación

$$FRS = FR_{60} * e^{\frac{60 - S}{S_P}}$$

de donde despejando FR60 se obtiene:

$$FR_{60} = FRS * e^{\frac{S - 60}{S_P}}$$

Finalmente se obtiene el valor buscado de F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento AIPCR:

$$F60 = A + (B * FR60)$$

Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores se muestran en la tabla dada por la Norma ASTM E 1960.

Con esta metodología se determinó el IFI en varios sitios de la ZMM y en tres tramos de prueba contruidos para probar nuevo diseño de mezclas asfáltica para capas de rodamiento y nuevos materiales pétreos, atendiendo a aquellos resistentes al pulimento acelerado o de alto Coeficiente de Pulimento Acelerado, CPA.

#### 4. TRABAJOS REALIZADOS

En este proyecto se realizaron trabajos encaminados al diseño de nuevas mezclas asfálticas y a la construcción de tramos de prueba. De estos últimos se obtuvieron resultados importantes que dieron lugar a nuevos reglamentos de pavimentos para el estado de Nuevo León.

##### 4.1 Diseño de mezclas asfálticas antiderrapantes para la superficie de rodamiento.

En el Laboratorio de Asfaltos del ITESM, Campus Monterrey, se diseñaron nueve soluciones de las cuales tres fueron del tipo microaglomerado en caliente, (M1, M2 y M3), [2], con alta macrotextura y empleando en el material pétreo grueso, mayor de malla No. 4, de procedencia caliza, escorias de acería y dolomitas, según se describe a continuación:

- M1** Mezcla asfáltica con granulometría tipo SMA, con tamaño máximo de agregado de 12 mm. El material pétreo es su fracción gruesa (> Malla No. 4) es una combinación de grava dolomita y grava caliza, en su fracción fina (< Malla No. 4) es 100% arena calizas y el rellenedor (< Malla No. 200) es 100% calizo.
- M2** Mezcla asfáltica con granulometría tipo SMA, con tamaño máximo de agregado de 12 mm. El material pétreo es su fracción gruesa (> Malla No. 4) es una combinación de grava escoria de acería y grava caliza, en su fracción fina (< Malla No. 4) es 100% arena calizas y el rellenedor (< Malla No. 200) es 100% calizo.
- M3** Mezcla asfáltica con granulometría tipo SMA, con tamaño máximo de agregado de 12 mm. El material pétreo es su fracción gruesa (> Malla No. 4) es 100% grava caliza, en su fracción fina (< Malla No. 4) es 100% arena calizas y el rellenedor (< Malla No. 200) es 100% calizo.

Los parámetros obtenidos del diseño de estos tres microaglomerados se muestran en la Tabla 3, 4 y 5, a continuación.

<b>Parámetro Medido</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Contenido de Cemento Asfáltico, en %	4.6	4.7	4.6
Densidad aparente, en g/cm <sup>3</sup>	2.415	2.522	2.371
Estabilidad Marshall, en Kg	960	1067	831
Flujo Marshall, en mm	4.3	4.5	4.4
Vacíos en la Mezcla Asfáltica, en %	5.5	7.0	3.9
Vacíos en el Agregado Pétreo, en %	15.8	18.0	14.0
Estabilidad Marshall tras inmersión, 24 horas a 60°C, en Kg	970	1152	966
Estabilidad retenida, en %	100	100	100
Resistencia a tensión indirecta, 25°C, en kg/cm <sup>2</sup>	6.8	8.0	6.6
Resistencia a tensión indirecta, 25°C, tras inmersión 24 h a 60°C, en Kg/cm <sup>2</sup>	6.6	8.3	6.4
Tensión indirecta retenida, en %	97	100	97

**Tabla 3.** Parámetros de diseño de microaglomerados M1, M2 y M3. [2].

<b>Parámetro Medido</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Deformación plástica, en mm, a 8520 pasadas	4.4	5.2	7.1
Velocidad de Deformación, en mm/min, entre 6390 y 8520 pasadas	0.059	0.025	0.135
Densidad aparente, en g/cm <sup>3</sup>	2.126	2.201	2.126
Densidad aparente con relación a la densidad Marsahll, en %	88	87	90

**Tabla 4.** Parámetros de diseño para todos los microaglomerados. [2].

<b>Parámetro Medido</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Coficiente de Resistencia al Deslizamiento, CRD (NLT – 175/88) (ASTM E303-93), 25°C.	0.77	0.83	0.77

**Tabla 5.** Parámetros de diseño para todos los microaglomerados. [2].

#### 4.2 Construcción de tramos de prueba para su auscultación.

En Noviembre del 2001 se construyeron tres tramos de prueba ubicados en las Avenidas Ignacio Morones Prieto, Colón y Fidel Velásquez. El tránsito existente en cada uno de los tres tramos es muy diferente y en cada uno de los sitios se construyeron los tres tipos de mezclas asfálticas, M1, M2 y M3. En la Foto 1 se muestra la textura que presentaron los tramos de prueba después de su construcción.



**Foto 1.** Textura de microaglomerados construidos en los tres tramos de prueba.

Las dimensiones de cada uno de los tres tramos eran de 200 metros de longitud y 3.50 metros de ancho. Se escarificaron con una máquina fresadora 30 centímetros de la capa de rodamiento existente, reponiéndola en el mismo espesor con los microaglomerados M1, M2 y M3 compactos.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

De los tramos de prueba se obtuvieron resultados como los que se muestran a continuación, relacionados con el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, CDR, Figura 9, altura promedio de macrotextura, Figura 10, y distancia de parada (frenado), Figura 11.

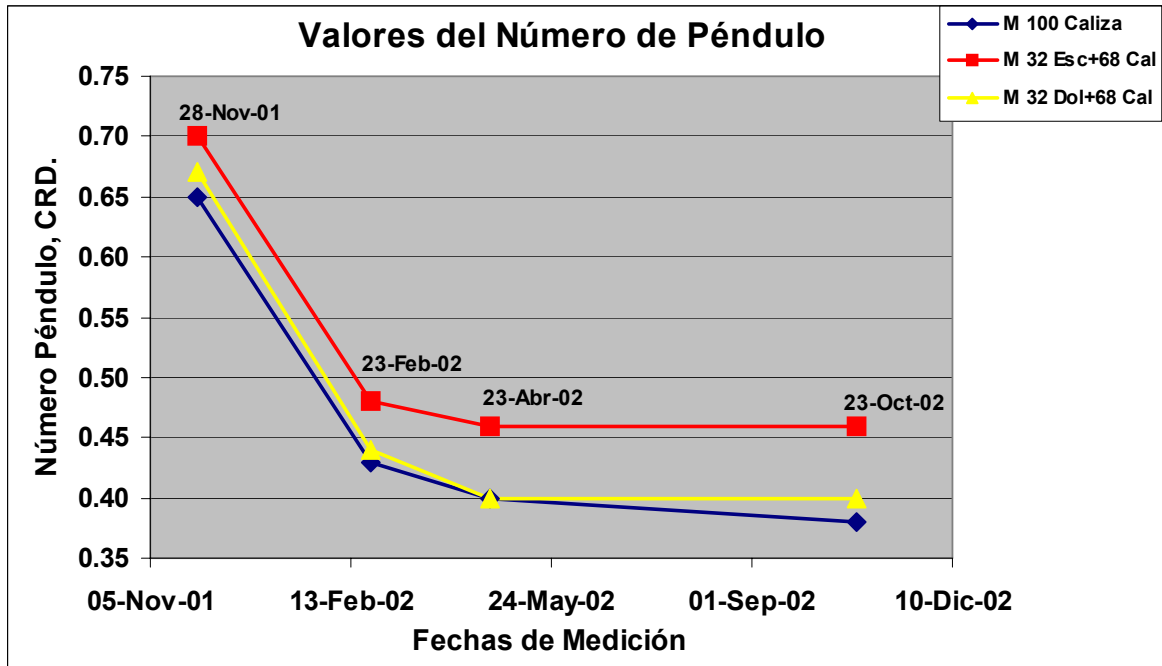


Figura 9. Valores de número del péndulo, CRD, a 20 °C. [3].

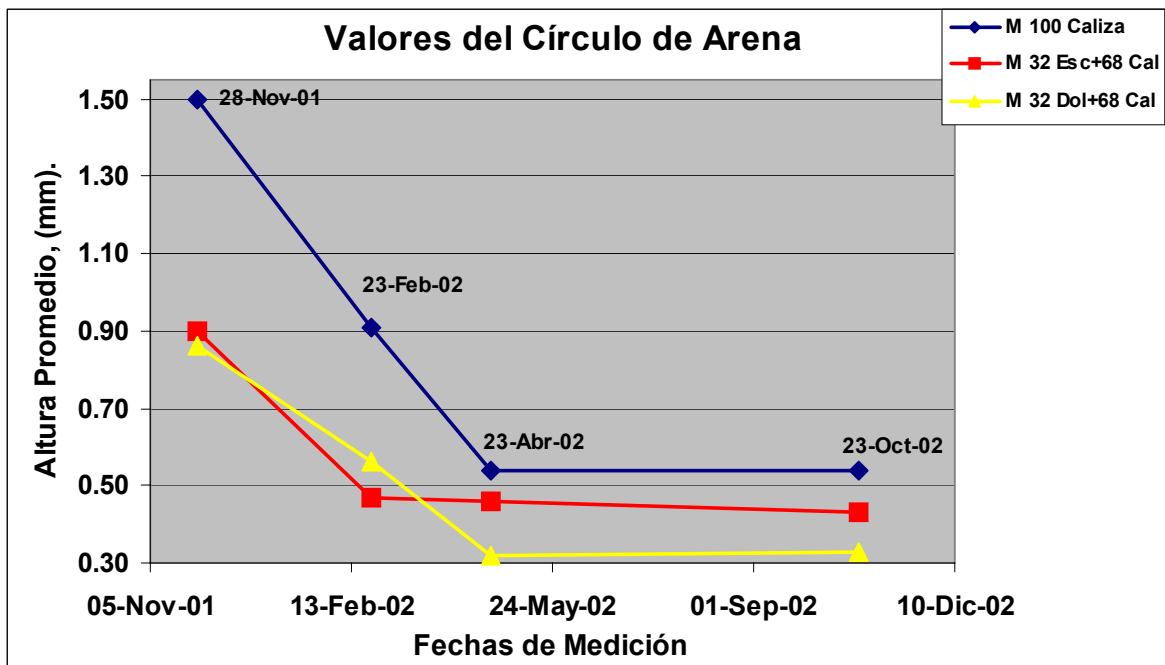
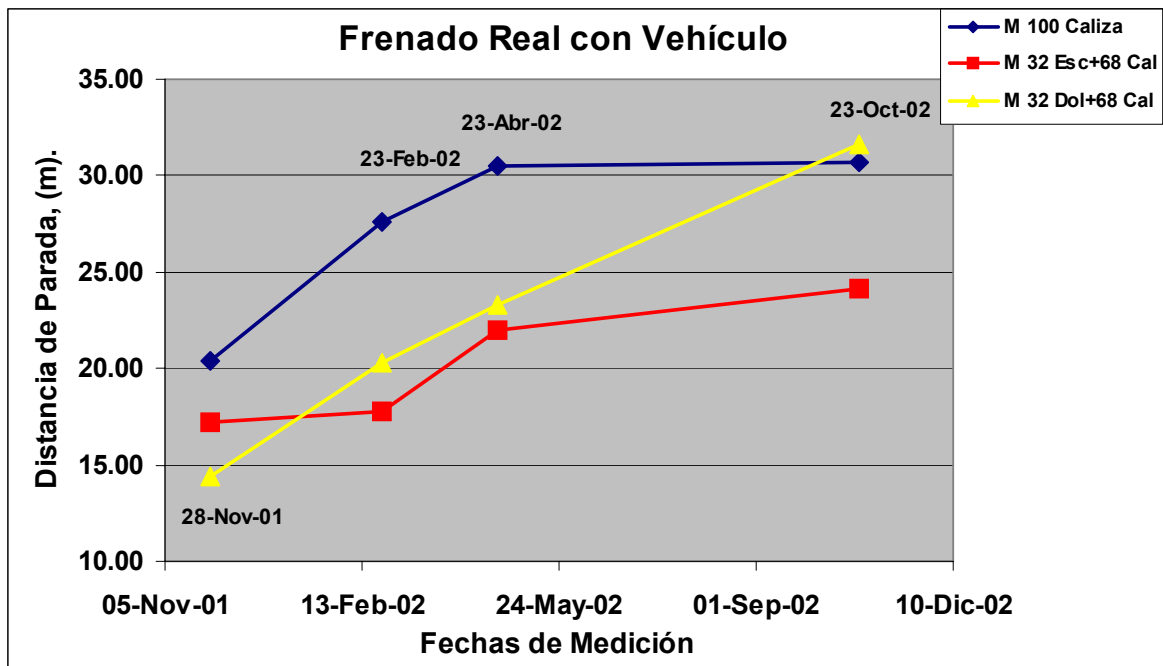


Figura 10. Valores de la altura promedio de la macrotextura en mm. [3].

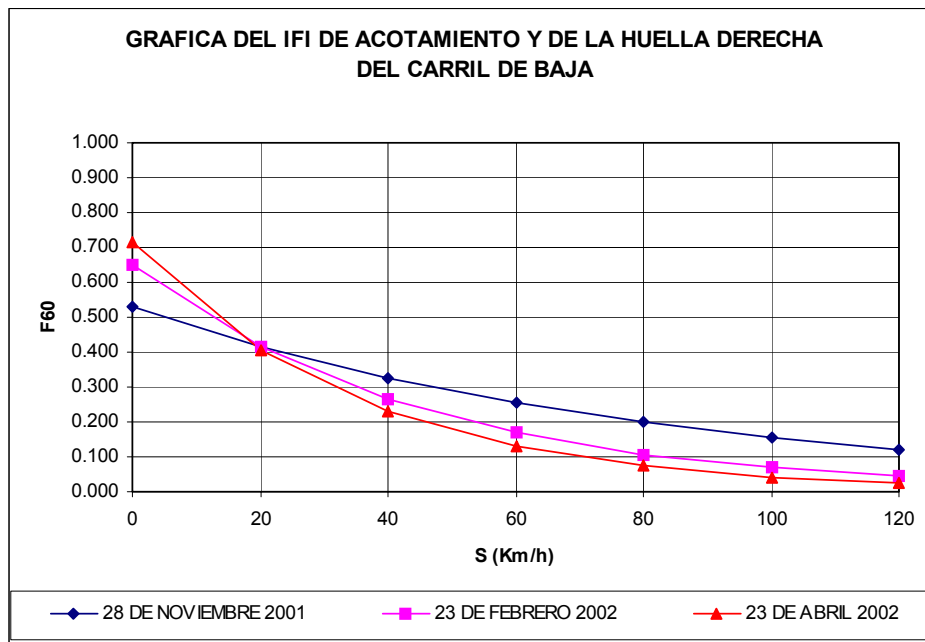


**Figura 11.** Valores de la distancia de frenado en metros. [2].

Adicionalmente se obtuvieron curvas del IFI en diferentes tiempos, para diferentes tramos de prueba, para diferentes texturas y para diferentes materiales pétreos empleados en las capas de rodamiento, como la mostrada en la Figura 12 por ejemplo.

Como producto final de los trabajos realizados desde 2001 hasta la fecha se obtuvieron valores límites de microtextura y macrotextura para la entidad federativa de Nuevo León, como los mostrados en la Tabla 6, los cuales fueron empleados en el nuevo Reglamento de Pavimentos, publicado en el periódico oficial del estado de Nuevo León No. 129 del 06 de Octubre de 2003. Actualmente se trabaja en el Reglamento para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos para el Estado de Nuevo León.

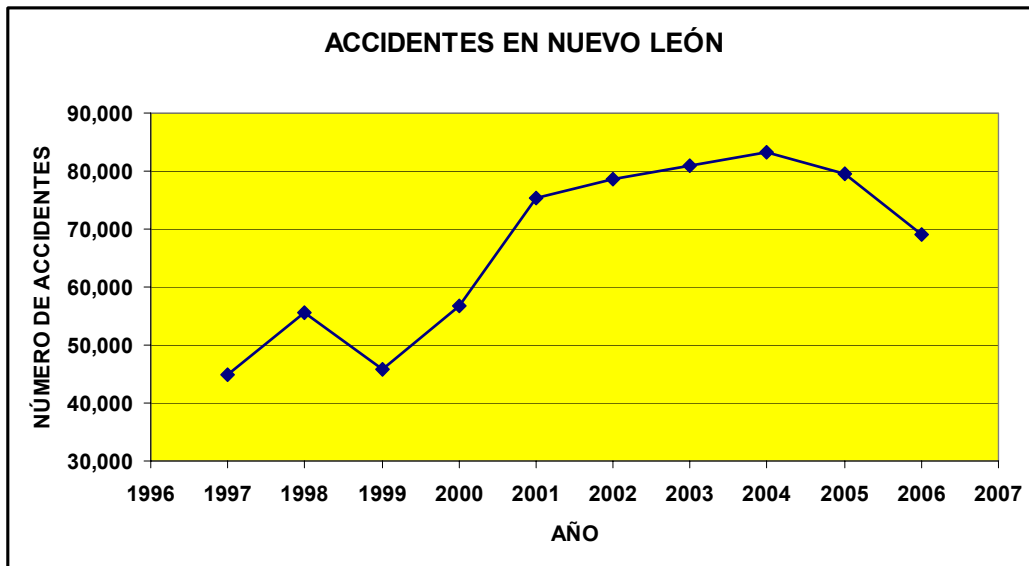
Con estas aportaciones en las texturas de la superficies de rodamiento se pretende abatir en buena medida los accidentes y aportar para que el gráfico mostrado en la Figura 13 siga una tendencia a la baja.



**Figura 12.** Curvas del IFI para la Avenida Colón con mezcla asfáltica caliza-escoria. [3].

Fricción, Valor de CDR	EVALUACIÓN	Textura (mm)	EVALUACIÓN
< 0.32	PROHIBIDO	< 0.43	PROHIBIDO
0.32 – 0.42	MALO	0.43 – 0.63	MALO
0.42 – 0.52	BUENO	0.63 – 0.83	BUENO
> 0.52	MUY BUENO	>0.83	MUY BUENO

**Tabla 6.** Valores de microtextura y macrotextura propuestos como norma para la entidad federativa de Nuevo León.



**Figura 13.** Accidentes en la entidad federativa de Nuevo León.

## 6. CONCLUSIONES

Con los resultados finales de este trabajo es posible definir para el área conurbana de Monterrey los valores límites inferiores del IFI que puedan garantizar a mediano plazo superficies cómodas y seguras para los usuarios. De esta forma se puede contribuir a reducir tasa de hasta 250 accidentes por hora al inicio de una lluvia en el área metropolitana, así como los valores totales de accidentes anuales, lo mayores en México.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 2005, "Estadísticas de población y Vivienda 2005, <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est>
- [2] Fonseca, C.H. y Serment, V.A., 2001, "Mezclas Asfálticas Antiderrapantes como Solución a las Superficies de Rodamiento del Área Metropolitana de Monterrey", 11° Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto, CILA, Lima, Perú.

- [3] Fonseca, C.H., 2003, "Auscultación de tramos de prueba construidos con mezclas asfálticas resistentes al deslizamiento propuestas como solución a las superficies de rodamiento del área metropolitana de Monterrey. 12° Congreso Iberoamericano del Asfalto, CILA, Quito, Ecuador.
- [4] Asphalt Institute, 1995, "Métodos de Ligantes Asfálticos" Publicación No. FHWA-SA-94-068 Versión en Español traducida en Agosto de 1996, Washington, D.C.
- [5] "American Society for Testing Material", 2000, "Manual of Specification", USA.
- [6] Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., 1999, "*Estudio Comparativo In Situ de Diferentes Alternativas de Tratamientos Superficiales en la Región Noreste de México*". Publicado y presentado en el 10 Congreso Iberoamericano del Asfalto. Asociación Española de Carreteras. Sevilla, España.
- [7] Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., 1999, "*Estudio Experimental en Laboratorio Aplicando el Método UCL en la Caracterización de Cementos Asfálticos en México*". Publicado y presentado en el 10 Congreso Iberoamericano del Asfalto. Asociación Española de Carreteras. Sevilla, España.
- [8] Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., 1999, "*Dosificación de Mezclas Asfálticas Abiertas y Drenantes Empleando el Método de Ensayo Cántabro de Pérdidas por Desgaste*". Memorias del Primer Congreso Nacional del Asfalto. México. pp. 145-154.
- [9] Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., 1999, "*Empleo del Método UCL en la Caracterización de Cementos Asfálticos en México*". Memorias del Primer Congreso Nacional del Asfalto. México. pp. 221-233.