

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN CAPAS DE
RODADURA MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN
INTERNACIONAL (IFI), CASO MICHOACÁN.**

Por:

ING. EDDER LUA GÓMEZ

**Como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA
EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES.**

Asesor:

DR. MARIO SALAZAR AMAYA

Morelia, Michoacán, Agosto de 2014.

AGRADECIMIENTOS.

Doy gracias a mis padres Rigoberto y Maribel, por su gran apoyo durante toda mi vida, por todo lo que de ellos he aprendido y los valores que me han inculcado, por haber sido un ejemplo a seguir en mi vida y por haberme dado la oportunidad de tener una educación excelente. Algunas veces están lejos de mí pero siempre están en mi corazón.

A mi hermana Nora, que me ha acompañado durante toda mi vida, que siempre me ha mostrado cariño y paciencia, que ha me ha dado alegrías y amor cuando lo he necesitado y que junto a mis padres representan la unión de la familia.

Con todo mi amor para ti Wendoline, mi querida esposa, que has llenado de paz mi vida, me has dado la fortaleza para seguir adelante, que eres un ejemplo de perseverancia y determinación y me has dado luz y esperanza desde el día que te conocí.

Agradezco a mi asesor de tesis el Dr. Mario Salazar por la sugerencia de este tema de tesis, por su apoyo con información invaluable, por su orientación durante todos estos meses y sobre todo por su amistad, consejos y paciencia.

A los ingenieros José Manuel Córdova, Javier Linares, Emilio Barriga y Dante Díaz que me apoyaron durante todo el proceso de elaboración del trabajo, me mostraron gran comprensión. Han actuado más allá del compañerismo y me han brindado una sincera amistad.

En general a todos mis amigos y familiares especialmente a Deybe, Jesús, Jorge, Berenice, Leonel, Alfredo, Felipe, Luis, Marcelo, Wilberth, Servando, Javier, Ana Silvia, Jessica y Cindy que han moldeado parte de mi camino y a los cuales agradezco.

Agradezco también a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y a la Maestría en Infraestructura del Transporte de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por las facilidades para la utilización de equipo e instalaciones, por su ayuda económica y sobre todo por el apoyo de su personal.

Contenido

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA	5
1.2. OBJETIVOS	6
1.3. CONTENIDO DE LA TESIS	7
CAPITULO 2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS CAPAS DE RODADURA	
2.1. ANTECEDENTES	8
2.1.1 Tipos de Pavimentos	9
2.1.2 Mezclas asfálticas.....	11
2.1.3. Clasificación de las mezclas asfálticas	12
2.2. CARACTERISTICAS FUNCIONALES.....	15
2.2.1. Interacción vehículo-carretera	17
2.2.2. Resistencia al deslizamiento (fricción)	19
2.2.2.1. Adherencia neumático-pavimento	21
2.2.2.2. Influencia de la micro y macro textura	22
2.2.2.3 Equipos de medida de la fricción	24
2.3. MEDIDAS DE LA FRICCIÓN EN MÉXICO	28
2.3.1. Descripción del equipo.....	29
2.3.2. Resumen del procedimiento de medida de la fricción	31
2.3.3. Normativa mexicana	33
2.4. MEDIDAS DE LA TEXTURA	34
2.5. ÍNDICES DE FRICCIÓN Y TEXTURA	36
2.5.1. Experimento Internacional Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR).....	37
2.5.2. Modelo AIPCR.....	38
2.6. ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)	39
CAPITULO 3. TRABAJOS REALIZADOS	

3.1. ANTECEDENTES	42
3.2. EL ESTADO DE MICHOACÁN	45
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS EVALUADOS	47
3.4. TÉCNICAS DE MEDICIÓN.....	50
3.4.1. Ensayo del círculo de arena.....	50
3.4.2. Medición con el Mu-Meter	52
3.5 RESULTADOS OBTENIDOS	53
CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)	56
4.2. TEXTURA Y LA FRICCIÓN DESEABLES EN EL PAVIMENTO.....	69
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. CONCLUSIÓN	73
ANEXOS	
ANEXO 1: PRUEBAS DE LABORATORIO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO.	75
BIBLIOGRAFÍA.....	89

RESUMEN

La red viaria de un país constituye un elemento fundamental para el desarrollo de las relaciones sociales y económicas de sus habitantes, de ahí, que las condiciones de servicio que dicha red presta supone un factor fundamental en su calidad de vida. En una vía de comunicación terrestre, la parte más costosa y que más recursos naturales consume es el pavimento y dentro de éste, las capas de rodadura son a las que se les exige mayor calidad y durabilidad. Dado los avances tecnológicos de estos tiempos, los usuarios de las carreteras en los países industrializados y el elevado grado de motorización demandan cada vez más unas superficies de rodadura con suficiente resistencia al deslizamiento en condiciones de pavimento mojado a alta velocidad, con buena capacidad de escorrentía superficial para evitar proyecciones de agua, una lisura que no provoque oscilaciones desagradables o peligrosas, sin roderas y una circulación económica y suficientemente silenciosa. En México, tradicionalmente, en lo que se refiere a la seguridad, se ha venido caracterizando el pavimento por el valor de un solo coeficiente de fricción, determinado mediante equipos y/o ensayos más o menos modernos y calibrados, y mejor o peor adaptados a las condiciones actuales de la circulación y de los pavimentos, es decir no se considera la medición de otros parámetros como la textura que cada obra vial presenta. El análisis que se ha llevado a cabo en este trabajo, pretende ser una contribución al conocimiento de los efectos que la resistencia al deslizamiento tiene sobre las características de un pavimento a partir del análisis de variables como la textura y el coeficiente de fricción. De igual manera, se propone la implementación en el país, del Índice de Fricción Internacional (IFI) como parámetro estándar para uniformizar criterios a nivel internacional.

Palabras clave: Seguridad, pavimento, fricción, textura, deslizamiento.

ABSTRACT

The road network of a country is fundamental to the development of social and economic relations of its inhabitants element, hence, the conditions of service that the network provides is a key factor in quality of life. In a terrestrial communication channel, the more expensive the part and consume more natural resources is the pavement and within it, wearing courses are those required higher quality and durability. Given the technological advances of our time, the road users in industrialized countries and high degree of motorization increasingly demanding road surfaces with sufficient slip resistance on wet pavement at high speed, with good surface runoff prevent water, a smoothness that does not cause unpleasant or dangerous oscillations without ruts and economic circulation and enough silent. In Mexico, traditionally, in regard to safety, has been characterized by the floor value of a single coefficient of friction, determined by equipment and / or more or less modern and calibrated and better or essays less well adapted to the current traffic conditions and pavements, that is not considered the measurement of other parameters such as texture each road work presents. The analysis carried out in this work is a contribution to the knowledge of the effects that has on slip resistance characteristics of a pavement from the analysis of variables such as texture and coefficient of friction. Similarly, the proposed implementation in the country, the International Friction Index (IFI) as a standard parameter to standardize criteria internationally.

Key words: Security, pavement, friction, texture, skid resistance.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA

La red viaria de un país constituye un elemento fundamental para el desarrollo de las relaciones sociales y económicas de sus habitantes, de ahí, que las condiciones de servicio que dicha red presta supone un factor fundamental en su calidad de vida. Aunado a esto, la construcción de nuevas infraestructuras así como la conservación de las existentes, consume una cantidad considerable de recursos económicos y principalmente de recursos no renovables, los cuales dada su naturaleza limitada y el deterioro medioambiental que su uso genera, han provocado que una gran parte de los sectores productivos mundiales y la población en general tomen en consideración esta realidad.

En una vía de comunicación terrestre, la parte más costosa y que más recursos naturales consume es el pavimento y dentro de éste, las capas de rodadura son a las que se les exige mayor calidad y durabilidad. En el caso de ser un pavimento flexible, esta capa de rodadura es una mezcla asfáltica constituida básicamente, por pétreos y ligantes asfálticos, la cual debe proporcionar una superficie cómoda y segura para la circulación de los vehículos, debiendo mantenerse estas características lo máximo posible cuando las condiciones atmosféricas y climatológicas resultan adversas. Las cualidades que se han de exigir a una capa de rodadura para que cumpla satisfactoriamente su función tienen que ver con:

La adherencia neumático-pavimento (seguridad de rodadura)

La regularidad superficial (comodidad y seguridad de rodadura) f

EL ruido de rodadura (comodidad e impacto ambiental)

La visibilidad (seguridad y comodidad de circulación)

Dado los avances tecnológicos de estos tiempos, los usuarios de las carreteras en los países industrializados y el elevado grado de motorización se demanda cada vez más unas superficies de rodadura con suficiente resistencia al deslizamiento en condiciones de pavimento mojado a alta velocidad, con buena capacidad de escorrentía superficial para evitar proyecciones de agua, una lisura que no provoque oscilaciones desagradables o

peligrosas, sin roderas y una rodadura económica y suficientemente silenciosa. Así mismo, es importante distinguir entre las características estructurales (resistencias, deformaciones, módulos) y las funcionales, pues mientras las primeras se estudian a partir de ensayos de laboratorio, las de carácter funcional, son únicamente medibles en tramos de prueba contruidos específicamente para este fin.

En México, la mayoría de las carreteras son de pavimentos flexibles, en la cual, la superficie de rodamiento está constituida por una mezcla asfáltica. Tradicionalmente, en lo que se refiere a la seguridad, se ha venido caracterizando el pavimento por el valor de un solo coeficiente de fricción, determinado mediante equipos y/o ensayos más o menos modernos y calibrados, y mejor o peor adaptados a las condiciones actuales de la circulación y de los pavimentos, es decir no se considera la medición de otros parámetros como la textura que cada obra vial presenta. Por otro lado, la implementación en México de un índice que permita el intercambio de información entre agencias y administraciones de carreteras a nivel mundial es casi una obligación en estas épocas de globalización.

1.2. OBJETIVOS

El análisis que se ha llevado a cabo en este trabajo, pretende ser una contribución al conocimiento de los efectos que la resistencia al deslizamiento tiene sobre las características de un pavimento a partir del análisis de variables como la textura y el coeficiente de fricción. Para cumplir con ello se establecieron los siguientes objetivos.

Objetivo general:

“Estudiar la resistencia al deslizamiento en un pavimento flexible”

Objetivos específicos:

- 1.- Evaluar el coeficiente de rozamiento
- 2.-Medición de la textura
- 3.- Cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI)
- 4.- Aplicación del IFI en tramos carreteros del Estado de Michoacán

1.3. CONTENIDO DE LA TESIS

El tema dentro del cual se enmarca esta tesis es el estudio de características superficiales de un pavimento flexible. Para abordar este tema se inicia el capítulo 2 comentando lo relacionado a las Características Funcionales de la Capa de Rodadura, se señalan las distintas mezclas asfálticas que se usan como capa de rodadura así como la importancia que las características funcionales tienen durante la operación de la vía, tanto del lado de la seguridad como del confort, mencionando algunas de las características más importantes como son: el nivel de ruido, la textura y el coeficiente de rozamiento, también se menciona la manera de cómo se miden y/o valoran los distintos parámetros funcionales.

En el capítulo 3, Trabajos Realizados, se expone la descripción detallada de las tareas ejecutadas para resolver cada uno de los objetivos planteados, incluido lo relacionado a la descripción de los tramos de estudio en el estado de Michoacán.

El capítulo 4, Análisis de Resultados, se enfoca en el análisis detallado de cada una de las propiedades que se midieron, obteniendo correlaciones entre ellas.

Finalmente en el capítulo 5 de conclusiones y recomendaciones, se presentan las más importantes obtenidas en este trabajo.

CAPITULO 2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS CAPAS DE RODADURA

2.1. ANTECEDENTES

Un pavimento es una estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se construyen sobre capas de terracerías obtenidas por el movimiento de tierras y han de soportar las cargas de tráfico que se aplican en la superficie, trasmitiéndolas hasta las capas de terracerías y al terreno natural en magnitud tal que sea posible que este las soporte. Esto debe de cumplirse durante un periodo de varios años sin que los deterioros y deformaciones producidas por las fuerzas actuantes afecten la capacidad estructural del pavimento ni a la seguridad o a la comodidad de los usuarios.

Por todo ello, las funciones de un pavimento son básicamente tres:

1. Soportar las cargas del tráfico previsto a lo largo la vida útil del pavimento y transmitir las cargas verticales a las capas inferiores, de manera que a las capas de terracerías y al terreno natural sólo llegue una pequeña fracción de las mismas, compatible con la capacidad de carga de estas capas. Las deformaciones temporales o permanentes que se produzcan tanto en las terracerías como en las diferentes capas del pavimento deberán ser admisibles, considerando la periodicidad de las cargas así como la resistencia a la fatiga de los materiales que la integran.
2. Las capas de pavimento además deben servir de protección a las terracerías de las incidencias climatológicas, y más concretamente de las precipitaciones, debido a los efectos que éstas tienen sobre la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.
3. Dar lugar a una superficie de rodadura segura, confortable y de características fijas bajo las cargas periódicas del tráfico a lo largo de un periodo de tiempo lo suficientemente largo (vida útil) durante el cual solo sería precisa alguna acción de mantenimiento.

En el diseño y proyecto de un pavimento, tenemos que tener en cuenta, dos aspectos fundamentales. Por una parte, su resistencia estructural, que nos determinará los

materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción y, por otra parte, su función y finalidad, que nos definirá las condiciones de textura y acabado que debemos de exigir a las capas superiores del pavimento para que éstas resulten seguras y confortables.

El fallo de un pavimento se produce cuando la calidad de rodadura desciende por debajo de unos límites, en que el tránsito de los vehículos no se puede hacer de forma segura ni confortable, es decir no cumple los requisitos para lo que fue construida.

El deterioro del pavimento se inicia, justo en el momento en que la vialidad se pone en servicio y empiezan a circular los vehículos. Este deterioro se ve afectado por la acción de los agentes climatológicos (lluvia, hielo, aire, sol, etc.) que incluso sin tráfico pueden deteriorar el pavimento y que potencian la acción del tráfico.

Un diseño de pavimento adecuado, considera sus aspectos funciones, utilizando adecuadamente materiales, espesores y acabados, y son estos aspectos funcionales los que hemos de mantener durante toda su vida de servicio, mediante las oportunas técnicas de conservación y rehabilitación. En lo que se refiere al comportamiento estructural del pavimento así como de su resistencia al proceso de deterioro, estos dependen de los materiales que los componen y de sus mecanismos de deterioro. Los métodos de dimensionamiento de pavimentos estudian y analizan los mecanismos de fallo y determinan los materiales y espesores adecuados para evitar que estos fallos ocurran dentro del periodo de proyecto considerado.

La vida útil de un pavimento suele ser mayor que la que se considera en su proyecto y mediante las actuaciones de conservación y refuerzo es posible alargar la vida del pavimento y reparar sus posibles fallos.

2.1.1 Tipos de Pavimentos

La técnica actual cuenta con una gran variedad de pavimentos que suelen clasificarse en dos grandes grupos:

Los llamados pavimentos flexibles formados por una serie de capas constituidas por materiales granulares que transmiten al suelo las cargas aplicadas en la superficie. En este tipo de pavimentos son las capas granulares las que deben resistir fundamentalmente las acciones del tráfico. La capa de rodadura sirve para impermeabilizar el firme, soportar los efectos abrasivos del tráfico y proporcionar una capa de rodadura cómoda y segura. El

reparto de cargas que se consigue, es menor que en el caso de los pavimentos rígidos, por lo que las deformaciones localizadas tienen una magnitud mayor, sin embargo estas se recuperan en su mayor parte al cesar la aplicación de la carga. Por otra parte, es conveniente que las capas inferiores de los pavimentos flexibles sean lo más permeables posible con objeto de dar fácil salida al agua infiltrada. Son pavimentos cuyas capas granulares se caracterizan de abajo a arriba por una capacidad soporte creciente y una permeabilidad decreciente. El modo de producirse el fallo en este tipo de pavimentos es por deformaciones excesivas. Como consecuencia de las sucesivas aplicaciones de cargas el pavimento va deformándose principalmente en la zona de rodadura, hasta alcanzar unos límites intolerables.

También puede producirse el fallo estructural por fisuración por fatiga de su capa de rodadura, por ejemplo, un pavimento cuya capa de rodadura tenga un espesor de 5cm, que este trabaje a flexotracción y las capas granulares resulten excesivamente flexibles y elásticas. En este caso la repetición de cargas acabará produciendo por fatiga la fisuración en malla fina de la capa de rodadura al mismo tiempo que aparecerán baches y fisuras longitudinales en los bordes del pavimento.



Figura 2.1. Ejemplos de fallas en pavimentos flexibles.

Los pavimentos rígidos poseen elementos estructurales de gran rigidez, por lo que distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Un pavimento de rígido está constituido por una losa de concreto que puede ser colocada directamente sobre las bases o bien intercalando una capa soporte que puede o no estar tratada. En este tipo de pavimento la losa de concreto actúa al mismo tiempo como capa de rodadura y como capa de base. La capa soporte no tiene un fin estructural sino el de

proporcionar una superficie de apoyo adecuada a la losa de hormigón y facilitar la construcción de ésta.

El fallo estructural de estos pavimentos es por fisuración por fatiga. Sin embargo, no es éste su fallo más frecuente, sino que éstos suelen ser superficiales, afectando fundamentalmente la calidad de rodadura del pavimento. Estos defectos provienen del estado de las juntas, del estado de la superficie de la losa y de la situación relativa entre losas (escalonamiento). Los defectos anteriores inciden negativamente sobre la comodidad y aumentan el ruido de rodadura, los gastos de mantenimiento de los vehículos y los gastos de conservación de la vía.

No obstante la clasificación tradicional de los pavimentos en rígidos y flexibles, actualmente se están considerando otro tipo de pavimentación como los de adoquín. Los pavimentos de adoquín, por su comportamiento estructural se asemejan a los flexibles. Sin embargo, según la mayor o menor rigidez de las capas inferiores se puede conseguir que el comportamiento global del pavimento se asemeje más a los pavimentos rígidos o los flexibles, es decir una base de concreto magro hará que el pavimento de adoquín se asemeje a un pavimento rígido, mientras que una base granular hará que éste se asemeje a uno más flexible. Aunque los adoquines son elementos de gran rigidez, el hecho de la ausencia de ligantes entre ellos hace que las cargas aplicadas afecten a un número limitado de piezas, por lo que las deformaciones pueden considerarse localizadas. La transmisión de las cargas verticales entre los bloques se realiza por rozamiento a través de una arena fina situada entre las juntas (arena de sellado). Debido a esto, determinados aspectos constructivos, como la separación entre los adoquines o el grado de colmatación de las juntas, afectarán al comportamiento del pavimento.

2.1.2 Mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas, están formadas por una combinación de pétreos y un material asfáltico, mezclados de tal manera que los pétreos quedan cubiertos por una película continua de material asfáltico.

El uso de los pavimentos hechos con materiales asfálticos se remonta al año de 1810 cuando en Burdeos y en Lyon, Francia, se emplearon asfaltos naturales para algunas pavimentaciones. Hacia 1850, algunas calles de Londres se pavimentaron utilizando unas mezclas de pétreo con alquitrán realizadas en el lugar. En Estados Unidos en 1870, se empezaron a aplicar mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales.

En esta misma década y como consecuencia del desarrollo de la industria del petróleo, se comienzan a emplear los asfaltos de destilación, un subproducto de esta novel industria que durante la segunda guerra mundial y propiciada por las necesidades de construcción acelerada de aeródromos militares lo que potencia el desarrollo tecnológico de las mezclas asfálticas como actualmente las concebimos.

Para fabricar las mezclas asfálticas, los pétreos se clasifican en unas fracciones, a partir de las cuales se compone la granulometría elegida. Se suelen considerar por separado el material fino (pasa 63 μm). Los ligantes intervienen en las mezclas en proporciones diferentes según el tipo de pavimento a construir: entre el 3% y el 10% sobre la masa de los pétreos. Cualquier tipo de asfalto podría emplearse para la fabricación de las mezclas, pero se prefiere los materiales asfálticos de penetraciones intermedias (40/50 y 60/70, 10^{-1} mm).

La regularidad superficial y la comodidad que pueden proporcionar los pavimentos de mezcla asfáltica constituyen una de sus grandes ventajas. Respecto a la seguridad, si se utilizan unos pétreos con tamaños máximos elevados y no pulimentables, las resistencias al deslizamiento que se alcanzan se asemeja a la que se consiguen con los pavimentos de concreto hidráulico. Una ventaja de las mezclas asfálticas estriba en la posibilidad de su extensión en espesores diversos, desde 1 o 2 cm hasta 15 cm, pudiendo tener rigideces muy diferentes, desde 1000 MPa a más de 10000 MPa a la temperatura ambiente, lo que permite su adaptación a una gran diversidad de condiciones, sin embargo, la rigidez de una mezcla asfáltica varía sensiblemente con la temperatura.

Las mezclas asfálticas usadas en la capa de rodadura, presentan el inconveniente de una durabilidad inferior a la vida útil de todo el pavimento. Ello es debido al envejecimiento del asfalto, pero también, en algunos casos puede ser por una inadecuada formulación de la mezcla o incluso a un mal proceso constructivo.

2.1.3. Clasificación de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas han ido evolucionando con el fin de mejorar su diseño y funciones. Dependiendo de su uso y aplicación, las mezclas asfálticas han ido variando sus características y composición para adaptarse mejor a la función que han de cumplir. Esto ha dado lugar a mezclas diferentes, pero todas ellas tienen el común el estar formados por un ligante asfáltico y un material pétreo de diferente granulometría, formas o tamaños. Se comentan a continuación las mezclas más empleadas:

Mezclas asfálticas en caliente: Son las más generalizadas. Se fabrican con asfaltos tradicionales o modificados. Las proporciones del asfalto están en función de la granulometría, aunque las más empleadas para capa de rodadura son mezclas densas. Su pequeña proporción de huecos hace que sean prácticamente impermeables, sin embargo puede suceder que existan infiltraciones debida a grietas que se forman. Otra vertiente de estas mezclas son las mezclas semiabiertas, cuya diferencia estriba en sus curvas granulométricas, un menor contenido de material fino y por tanto menores contenido de asfalto. Aunque menos impermeables, las mezclas semiabiertas presentan algunas ventajas sobre las cerradas: son menos críticas frente a las deformaciones plásticas (a raíz de los menores contenidos de asfalto) además de que resultan en un menor precio. No se utiliza en las capas de rodadura por su insuficiente impermeabilidad, que las hace menos resistentes al envejecimiento, por lo que su campo de aplicación es en las capas inferiores. Así mismo, las mezclas asfálticas en caliente, son mezclas de granulometría continua, es decir, las partículas más finas rellenan los huecos que dejan las más gruesas y todas ellas están recubiertas por una película continua de asfalto. Un inconveniente de algunas de las granulometrías continuas es su sensibilidad al contenido de asfalto, ya que unas pequeñas variaciones pueden producir unos cambios importantes en su comportamiento.

Mezclas en frío: Son mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas. Principalmente se aplican en la construcción y conservación de carreteras secundarias. Se distinguen dos grandes grupos: Las mezclas abiertas en frío, formadas por una granulometría gruesa y por una emulsión asfáltica de rompimiento medio, con una baja proporción de pétreo fino (lo que conlleva a una elevada proporción de huecos), de manera que hay en ellas una estructura mineral que resiste fundamentalmente por rozamiento interno. Este tipo de mezcla están recomendadas para capas de rodadura de pequeño espesor (< 5 cms) colocadas sobre capas granulares en unos pavimentos que en general soportan bajas intensidades de tráfico, adicionalmente y para retrasar su envejecimiento es recomendable sellar esta superficie con un mortero asfáltico y se caracterizan por su trabajabilidad. Otro tipo de mezcla en frío, mucho menos utilizado, está formado por las mezclas densas en frío. Se fabrican con unas emulsiones de rompimiento lento sin ningún tipo de fluidificante. Conviene colocarlas en obra cuando todavía son trabajables, pero no pueden abrirse a la circulación hasta que han alcanzado una resistencia suficiente. Este proceso de aumento paulatino de la resistencia se suele denominar fraguado y consiste básicamente en la evaporación del agua procedente del rompimiento de la emulsión con el consiguiente incremento de la cohesión de la mezcla y es relativamente lento debido a que la granulometría cerrada del pétreo hace que la mezcla tenga una pequeña cantidad de huecos.

Mezclas drenantes: Se emplean como capas de rodadura principalmente en autopistas o en vías de circulación rápida, en estos casos se fabrica usando asfaltos modificados, cuando se fabrican con asfaltos puros, su aplicación se reduce a vías secundarias o vías urbanas. Estas mezclas tienen una proporción muy elevada de huecos (20-30%) lo que les confiere una gran permeabilidad. Cuando es utilizada en espesores de unos 4 cm, se consigue que el agua de lluvia que cae sobre la capa de rodadura se evacúe rápidamente por infiltración. La porosidad se consigue empleando unas granulometrías con contenidos reducidos del pétreo fino (entre 63 μm y 2mm) por debajo del 15%. La superficie específica del pétreo resulta así notablemente inferior a la de una mezcla cerrada, con lo que con unos contenidos de asfalto no muy elevados se consigue un espesor apreciable de su película, lo que proporciona a la mezcla durabilidad y resistencia al envejecimiento. Además del aumento de la seguridad que se ha conseguido con estas mezclas, al mejorar con lluvia el contacto neumático- pavimento y reducir las proyecciones de agua de los vehículos, la circulación sobre esta mezcla se hace más cómoda. Con el fin de conseguir una mayor durabilidad empleando un contenido de huecos cada vez mayor, la mayor parte de las mezclas porosas se fabrican con asfaltos modificados. La principal preocupación del uso de estas mezclas, se relaciona con la progresiva colmatación de los huecos con la consiguiente pérdida gradual de sus características superficiales. Esta colmatación es más lenta cuanto mayor es la pluviosidad, ya que el agua facilita que en las zonas de rodada, los neumáticos produzcan un efecto de succión que contribuye a la eliminación de la suciedad. En zonas urbanas se presentan problemas de colmatación muy rápida y de disgregación de la mezcla esto por el giro de los vehículos parados o a muy baja velocidad.

Microaglomerados: En países como Alemania y Estados Unidos, se emplean unas mezclas, denominadas SMA (Stone Mastic Asphalt) algo parecidos a los morteros asfálticos, son mezclas discontinuas formadas por una masilla, una baja proporción de pétreo fino y un pétreo grueso que sí proporciona rozamiento interno, se emplea en capas de rodadura de pequeño espesor y se caracterizan por sus elevadas trabajabilidad y estabilidad. En España están especificados desde 1997 unos microaglomerados de granulometría discontinua para capas de rodadura de pequeño espesor similares a los que también se emplean en Francia. Se prescribe el empleo de asfaltos modificados con polímeros y de unos pétreos muy resistentes al desgaste, son mezclas destinadas a capas de 1-3 cm de espesor. Con estas mezclas, se consiguen unas texturas que proporcionan una elevada resistencia al deslizamiento, una cierta drenabilidad superficial e incluso una disminución del ruido debido al contacto neumático-pavimento. Es en este campo en que se ha producido en el siglo XX uno de los principales desarrollos de la tecnología de pavimentación.

Mezclas de alto módulo: Aunque son también mezclas asfálticas en caliente, mencionaremos específicamente las llamadas mezclas de alto módulo para capas de base. Se fabrican con asfaltos muy duros (penetración 10/20), a veces modificados, en unas proporciones próximas al 6% sobre el peso de los pétreos, la proporción del material fino es también alta (8-10 %). Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad (aproximadamente de 13000 MPa a 20°C) y una resistencia a la fatiga también elevada. Se utilizan en capas de espesores entre 8 y 15 cm tanto para rehabilitaciones como para la construcción de pavimentos nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Sus características mecánicas hacen que, para tráficos intensos, constituyan una alternativa a las capas de base tradicionales o como las mezclas convencionales de gran espesor, teniendo como ventaja, la mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, lo que permite un ahorro en el espesor.

2.2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

Los ingenieros de carreteras han mostrado desde siempre un gran interés por construir vías cómodas para el tránsito y estructuras capaces de resistir durante un largo periodo de tiempo la acción de las cargas que los vehículos ejercen cuando transitan por ellas.

A este aspecto de comodidad, resistencia a las cargas y larga vida útil, en los últimos años se ha agregado un aspecto más, el cual es de vital importancia, la seguridad de la circulación. Con la capacidad actual de los vehículos que desarrollan mayores velocidades al momento de circular por las vías, la seguridad en la circulación se ha transformado en un aspecto que no se puede dejar de lado; aunque en la seguridad intervienen muchos factores, las capas de rodadura intervienen de manera directa sobre este aspecto. Es bien sabido que las capas de terracerías proporcionan un desplante uniforme para las capas de pavimento, sin embargo, estas por muy bien construidas que se encuentren sin la construcción de una capa de pavimento adecuada sobre ellas no pueden soportar más que un tráfico ligero y de poca intensidad.

Para evitar el rápido deterioro de las capas de terracerías, es necesaria la colocación de capas de pavimento que sirvan como capas estructurales de mayor resistencia, las sub-bases, bases y carpetas desempeñan entre otras las funciones las de:

- Proporcionar a los vehículos una superficie de rodadura cómoda y segura.
- Proteger a las terracerías de la acción del clima y otros agentes atmosféricos.

- Resistir la acción del tráfico sin deteriorarse.
- Distribuir la acción de las cargas del tránsito en una superficie mayor y más rígida para evitar las deformaciones en las capas inferiores.

Todas estas características de las capas de pavimentos deben mantenerse durante un periodo lo suficientemente largo, además, el costo de su conservación debe ser el menor posible.

Para desempeñar estas funciones las capas estructurales de los pavimentos deben cumplir con una serie de propiedades, estas se clasifican comúnmente en superficiales y estructurales. Dentro de las propiedades superficiales se pueden mencionar aspectos relacionados con la seguridad, la comodidad, la economía y la generación de ruido en el entorno. En las propiedades estructurales podemos englobar todas las que se relacionan con la resistencia de los materiales como su granulometría, resistencia al desgaste, densidad, resistencia a los agentes de la intemperie, etc.

Según lo anterior, las características propiamente superficiales de los pavimentos influyen en la seguridad y comodidad de los usuarios de las carreteras, en los costos de operación y en el medio que rodea la carretera (fauna, flora y núcleos sociales). Estos aspectos son influenciados en mayor o menor manera por ciertas características superficiales como se expone en la figura 1.2 [OCDE 1984].

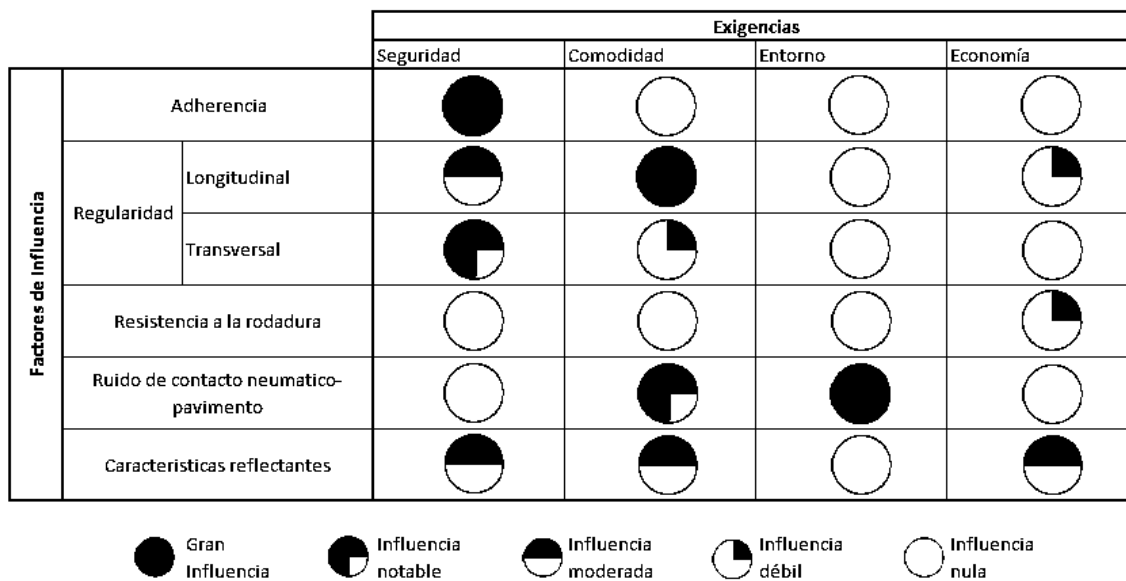


Figura 2.2. Relación entre los factores de influencia y las exigencias del pavimento [OCDE 1984].

Desde el punto de vista de la seguridad en la circulación el aspecto más importante a considerar es la resistencia al deslizamiento cuando el pavimento se encuentra mojado. El peligro que representa una falta de adherencia entre el pavimento y el neumático cuando existe la presencia de agua es particularmente importante y debe evitarse a fin de reducir los accidentes sobre las carreteras.

Otro aspecto importante a considerar es la regularidad longitudinal la cual incide principalmente sobre la comodidad del usuario, sin embargo, en casos extremos, puede llegar a afectar la seguridad del usuario.

Refiriéndonos a la regularidad longitudinal, esta repercute además en los costes de circulación y en la durabilidad de los pavimentos debido a los efectos dinámicos de los vehículos pesados que pueden acelerar el deterioro de los pavimentos.

La regularidad transversal que es afectada por las roderas también es un aspecto a considerar, cuando las roderas llegan a ser excesivas producen molestias en los usuarios y pueden afectar la seguridad de los mismos.

Para finalizar debemos considerar que a medida que la calidad de vida va siendo más apreciada por la sociedad, el aspecto que juega el ruido producido en el entorno de una carretera debido al contacto neumático-pavimento es una propiedad que se debe considerar sobre todo en las áreas urbanas para evitar estrés en las personas que están cerca de estas vías.

2.2.1. Interacción vehículo-carretera

La manera en que el vehículo (esencialmente los neumáticos) y el pavimento interaccionan está determinada por el hecho de que los pavimentos no son planos estrictamente sino que presentan irregularidades de diversas magnitudes sobre su superficie.

Basados en este hecho el perfil longitudinal de la superficie de los pavimentos puede analizarse en el plano vertical considerando diferentes escalas, las cuales proporcionan diferentes modos de respuesta en los vehículos y pasajeros.

Considerando lo anterior el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR), en 1987 y 1991 en los congresos efectuados en Bruselas y Marrakech respectivamente, delimito la

gama de longitudes de onda correspondientes a las distintas rugosidades o irregularidades del perfil de los pavimentos y su interacción con los vehículos y pasajeros. Figura 1.2 [AIPCR 1987^a Y 1991].

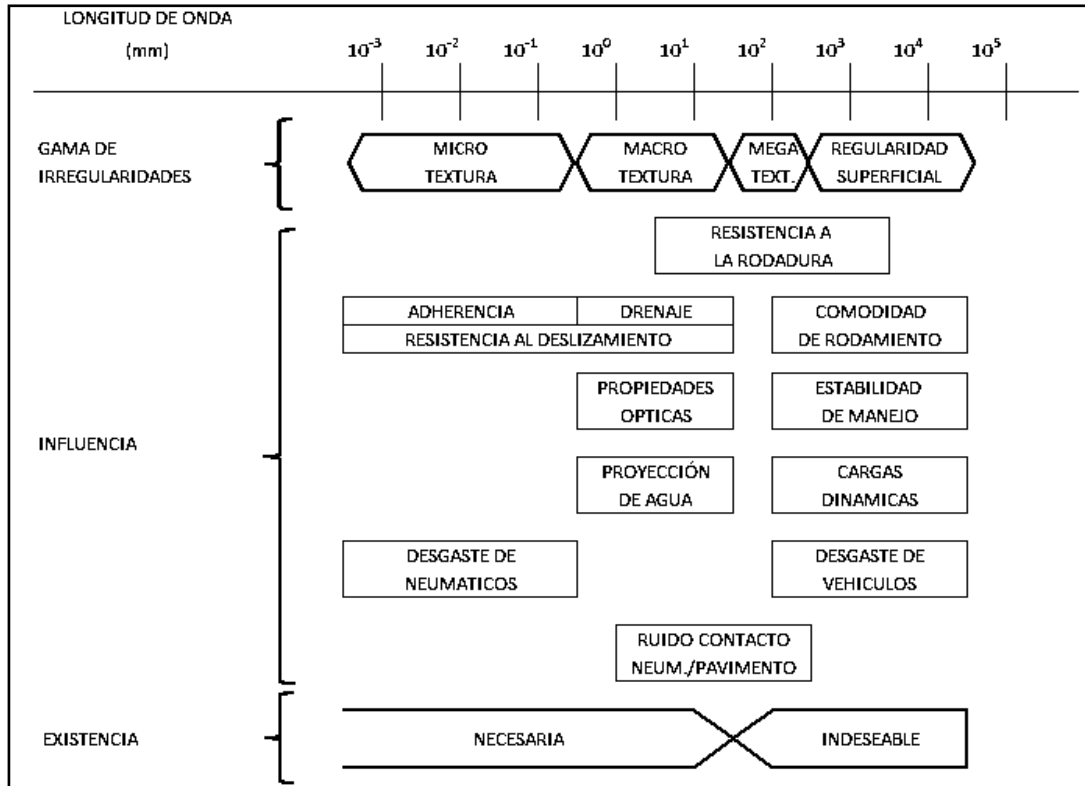


Figura 2.3. Influencia de la gama de irregularidades superficiales en la interacción vehículo-carretera.

En la geometría del perfil longitudinal del pavimento se pueden distinguir 4 clases de rugosidades o irregularidades: las de primer orden (microtextura) que corresponden a longitudes de onda inferiores a 0.5 mm, las de segundo orden (macrotextura) con una longitud de onda comprendida entre 0.5 y 50 mm, las de tercer orden (megatextura) cuya longitud de onda está entre 50 y 500 mm y las de cuarto orden (regularidad superficial) caracterizada por longitudes de onda entre 0.50 y 50 m.

Tanto la microtextura como la macrotextura corresponden a las rugosidades más deseadas en los pavimentos por contribuir a la resistencia al deslizamiento y en consecuencia a la prevención de accidentes. La megatextura suele relacionarse con

defectos de regularidad, mientras que la regularidad superficial se debe a la configuración del perfil longitudinal del trazo de la carretera.

La microtextura no es perceptible a simple vista en las capas de rodadura, aunque, en algunos casos esta puede ser percibida por el tacto, la microtextura está relacionada con la aspereza de los agregados pétreos, por tanto, depende de la petrología y mineralogía de los áridos y se ve afectada por el clima y la acción del tráfico sobre la vía. Aunque esta contribuye de manera preponderante en la adherencia de los neumáticos de los vehículos con el pavimento, una microtextura muy áspera puede dar como resultado un mayor desgaste de los neumáticos y repercutir en la economía de los usuarios.

La macrotextura es perceptible a simple vista y es comúnmente entendida como la textura de la capa de rodadura, esta depende de la granulometría, la dosificación del asfalto y el acabado del pavimento. Contribuye a la resistencia al deslizamiento y facilita la evacuación del agua a altas velocidades.

La megatextura representa los defectos superficiales tales como los baches, grietas y juntas importantes, esta genera vibraciones en los lados de los vehículos, afecta el ruido producido por el tránsito de los vehículos y la resistencia a la rodadura, lo cual incrementa los costos de operación de los vehículos.

La regularidad superficial se pueden entender como los defectos de la longitud de la carretera o del perfil de la misma, estas irregularidades tienen una repercusión clara en la comodidad del usuario, aunque en casos graves pueden afectar a la seguridad y repercutir en una sobrecarga dinámica excesiva que afecta el tiempo de vida del pavimento.

2.2.2. Resistencia al deslizamiento (fricción)

Al paso del tiempo y al aumentar nuestro entendimiento de los pavimentos y su interacción con los vehículos, es notorio que la seguridad en la circulación es un tema que preocupa cada vez más a los ingenieros de caminos y a la sociedad en general. El deslizamiento, relacionado con una adherencia insuficiente entre el neumático y el pavimento, es una de las causas que contribuyen a originar o agravar muchos de los accidentes. La pérdida de la adherencia que ocasiona los accidentes por deslizamiento es causada normalmente por la interacción de factores que pueden englobarse en los siguientes:

- La experiencia y el comportamiento del conductor del vehículo.

- El estado actual del vehículo y sus partes, principalmente los neumáticos y el sistema de frenos.
- La carretera y sus diferentes componentes.
- Influencias exteriores (clima, visibilidad, temperatura, etc.)

El comportamiento del conductor es determinante, su estado físico, mental y su capacidad de reacción frente a situaciones de potencial riesgo condicionan la ocurrencia o no de muchos de los accidentes. Por ello se hace vital una educación vial y de sensibilización ante los peligros del camino para los usuarios, para esto es necesaria la implementación de cursos especiales de prevención de accidentes, sean estos detonados por falta de adherencia del neumático al pavimento u otra causa en general.

El comportamiento de los vehículos ante el deslizamiento viene afectado por el diseño de sus componentes, por el deterioro que estos sufren en el transcurso del tiempo, por el mal uso y por su grado de mantenimiento. El sistema de frenos, los neumáticos y el dibujo de los mismos son las partes más importantes en el problema de deslizamiento, sin embargo es importante señalar que la responsabilidad principal de todo lo anterior puede atribuirse de nuevo al factor humano.

Durante años de estudio se ha determinado que los valores máximos de rozamiento (resistencia al deslizamiento) entre el neumático y el pavimento no ocurren cuando la rueda se encuentra bloqueada totalmente, sino con una tasa de deslizamiento del orden del 15 al 20% [Bergman 1976]. Por ello se han diseñado sistemas de frenado tales que no bloquean las ruedas como los tipos ABS, en la Figura 1.3 se muestra la relación entre el coeficiente de rozamiento y el deslizamiento de los neumáticos.

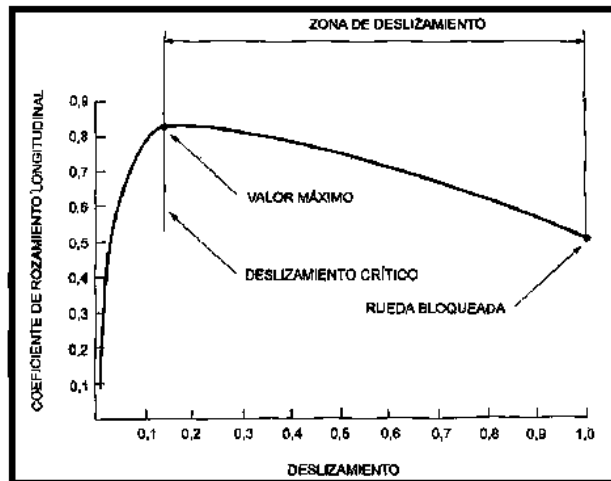


Figura 2.4. Relación entre el coeficiente de rozamiento longitudinal y el deslizamiento del neumático.

Los huecos debidos a la macrotextura del pavimento tienen el mismo efecto que los del dibujo del neumático debido a que ambos permiten la expulsión del agua que se encuentra entre la superficie de la rueda y el pavimento lo que facilita la adherencia. Por ello es importante exigir un mínimo de profundidad de macrotextura en los pavimentos.

La carretera es otro elemento importante: el trazado, la señalización y las características superficiales del pavimento tienen una gran repercusión en la seguridad de la circulación.

2.2.2.1. Adherencia neumático-pavimento

Para reducir los problemas de deslizamiento se han desarrollado estudios por dos caminos complementarios: por un lado mejorando los neumáticos y los sistemas de frenado de los vehículos y, por otro lado, estudiando el mecanismo de la adherencia del neumático al pavimento y proporcionando a los pavimentos superficies que favorezcan la adherencia y evitando así el deslizamiento.

Al lograr una buena adherencia del neumático al pavimento se logra una distancia de parada lo menor posible cuando el vehículo frena y también permite que los vehículos conserven la trayectoria que el conductor quiere.

Para lograr estos dos objetivos se deben proporcionar dos tipos de adherencia, la longitudinal y la transversal. Un alto coeficiente de rozamiento longitudinal reduce la distancia de parada cuando se frena, y, un alto coeficiente de rozamiento transversal es requerido en curvas y en caso de derrape para mantener las trayectorias de los vehículos.

El coeficiente de rozamiento longitudinal se calcula mediante la expresión

$$S = V \cdot D$$

Donde:

S es la velocidad de deslizamiento,

V es la velocidad del vehículo y

D es la tasa de deslizamiento.

El coeficiente de rozamiento transversal se determina forzando que una rueda gire libremente con un ángulo de deriva respecto al sentido longitudinal y su cálculo se realiza mediante la expresión:

$$S = V \operatorname{sen} \alpha$$

Donde:

S = Velocidad de deslizamiento.

V = Velocidad del vehículo.

α = Ángulo de deriva.

2.2.2.2. Influencia de la micro y macro textura

Las características de los pavimentos que contribuyen a evitar el deslizamiento son las pequeñas irregularidades superficiales debidas a la microtextura y a la macrotextura, para distinguirlas se hace referencia a las distintas longitudes de onda que las caracterizan.

Clase de Textura	Longitud de onda en mm
Microtextura	0 – 0.5
Macrotextura	.5 a 50

Tabla 2.1. Longitudes de onda de la micro y macro textura

Para que la adherencia del neumático y el pavimento sea adecuada se necesita una cierta aspereza de la superficie del pavimento, sin embargo, es necesario también a altas velocidades y sobre todo en presencia de agua contar con una macrotextura suficiente para evacuar rápidamente el agua.

La relación entre el pavimento y el neumático se puede dividir en 3 zonas principales:

En la zona 1 existe una película de agua continua la cual se interpone entre el neumático y la capa de rodadura.

La zona 2 corresponde a la parte donde se logra evacuar la mayor parte del agua, sin embargo existe una película de agua discontinua la cual queda atrapada entre las asperezas del pavimento.

La zona 3 corresponde a la parte en que el agua ha sido evacuada y se tiene un contacto directo o parcialmente seco entre el neumático y el pavimento.

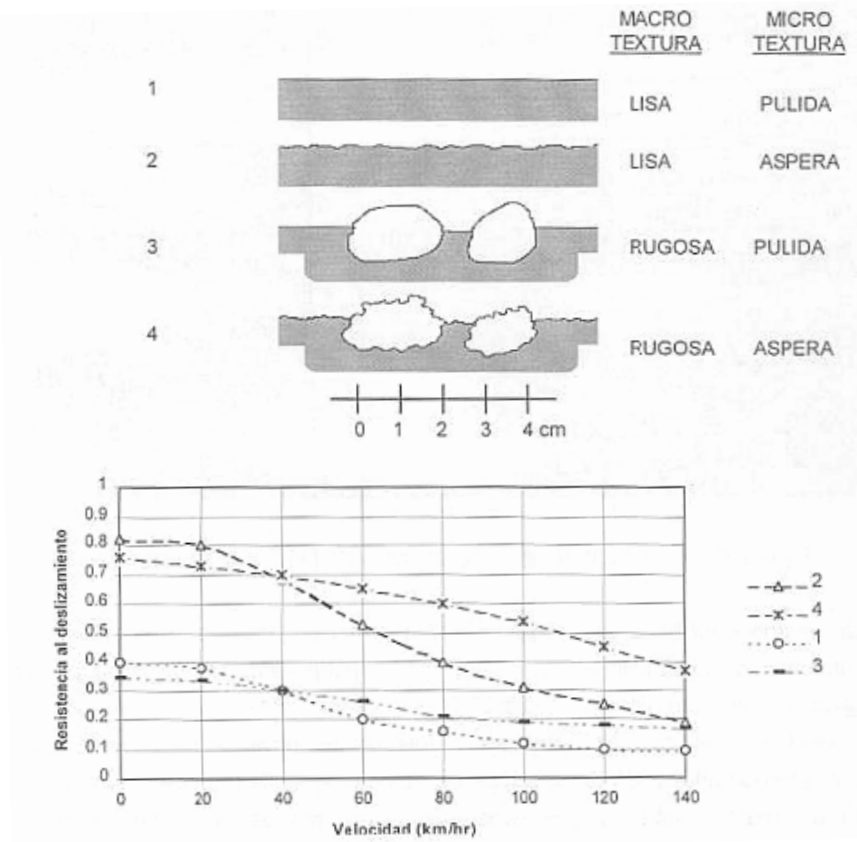


Figura 2.5. Tipos de textura superficial y su influencia en la adherencia del neumático y el pavimento.

Para garantizar que la tercera zona sea lo más amplia posible es necesaria la eliminación del agua existente entre la llanta y el pavimento lo cual se logra a través del dibujo del neumático y mediante una macrotextura suficientemente gruesa.

Es importante hacer notar que al aumentar la velocidad del vehículo o cuanto mayor sea la película de agua, la zona 3 se reduce y la zona 1 aumenta, por lo tanto la adherencia del neumático con el pavimento disminuye.

Otro fenómeno que está determinado por la relación entre la macrotextura, la adherencia y los espesores de las películas de agua sobre las carreteras, es el conocido como hidropilado, el hidropilado se puede considerar como uno de los fenómenos de las carreteras que más pueden llegar a afectar a los usuarios. El hidropilado (aquaplaning) está esencialmente asociado a la macrotextura del pavimento. Ocurre cuando una película

de agua separa la rueda de la superficie de la carretera. Este fenómeno depende de la velocidad y peso del vehículo, de las características y estado de los neumáticos, de la macrotextura y del espesor de agua en el pavimento. Aunque son muchas las variables que intervienen, la fundamental es la presencia de agua en el pavimento con una profundidad crítica. Por tanto, el potencial de riesgo de una sección de carretera al hidropneumático viene determinado por la existencia de profundidades críticas que suelen ocurrir durante inundaciones y lluvia intensas repentinas.

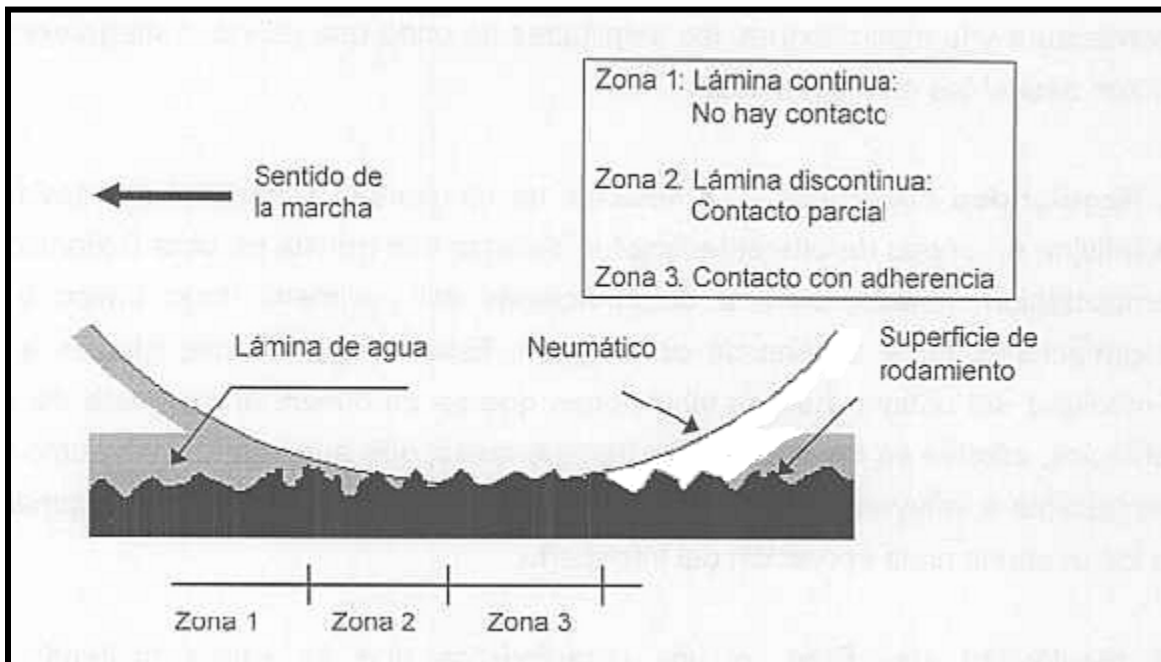


Figura 2.6. Zonas de interacción entre el neumático y el pavimento en presencia de agua.

2.2.2.3 Equipos de medida de la fricción

Para poder medir la resistencia al deslizamiento en las carreteras se puede proceder de dos maneras diferentes:

1. Midiendo directamente el coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento mojado a una velocidad determinada.
2. Midiendo la microtextura y la macrotextura para estimar la reducción de la adherencia con el aumento de la velocidad.

A bajas velocidades de desplazamiento la fricción depende fundamentalmente de la microtextura debido a que una mayor aspereza produce un mayor número de puntos de contacto en seco entre el neumático y el pavimento que se presenta al romperse la película de agua que los separa. A velocidades altas, la fricción disminuye y esto depende directamente de la capacidad que tiene el pavimento para evacuar el agua de su superficie, esta capacidad es proporcionada por la macrotextura. Una macrotextura gruesa es necesaria para evitar una gran disminución de la fricción a velocidades altas.

Tomando en cuenta lo dicho anteriormente se ve la necesidad de obtener al menos dos medidas diferentes para obtener la fricción a cualquier velocidad (una para medir la microtextura fundamental a bajas velocidades y otra para la macrotextura determinante en velocidades altas). Para tal acción existe una gran variedad de equipos de medida de la adherencia entre el neumático y el pavimento. Los equipos de medida pueden clasificarse de acuerdo a:

1. La característica medida: ya sea que midan la fricción, la textura o ambas.
2. Según el modo de desplazamiento: que pueden ser manuales, remolcados o incorporados a un vehículo.
3. Según la velocidad con que se desplazan: equipos estacionarios o móviles (rápidos o lentos).

El aspecto concerniente a la velocidad con que se desplazan los equipos de medida es muy importante. Los equipos estacionarios se utilizan en tramos concretos o de investigación; sin embargo estos son poco prácticos cuando se quiere auscultar una red carretera por la lentitud de su ensayo y también debido a que es necesario el bloqueo del carril en el punto en donde se lleva a cabo el ensayo. Es por esto que para la auscultación de redes se usan equipos de alto rendimiento que circulan a una velocidad suficiente para no perturbar el tráfico.

Existen varios equipos de medida de la fricción todos ellos con diferentes características y principios de medida, sin embargo pueden ser clasificados según las condiciones en que se desplaza ya sea la rueda o zapata de medida.

Equipos de zapatas deslizantes: Son equipos que miden el coeficiente de rozamiento que se produce cuando una zapata de goma se desliza sobre un pavimento bajo ciertas condiciones. El más conocido de este tipo en nuestro país es el péndulo ingles. Este equipo mide el coeficiente de fricción a 10 km/h en forma puntual en la superficie del pavimento y/o el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo (coeficiente de resistencia al deslizamiento CDR). El equipo mantiene una correlación con el coeficiente de rozamiento físico y ayuda a valorar las características deslizantes de la superficie de un

pavimento. Los tramos a evaluar deben estar marcados en las rodadas externa e interna, así como en el centro del carril, determinados a cada 10 m. El equipo no es aplicable a superficies que presenten afloramientos de asfalto, manchas de aceite o desigualdades, ondulaciones o baches, pues los resultados serán poco fiables.



Figura 2.7. Péndulo Ingles para coeficiente de fricción.

Equipos de ruedas deslizantes: A diferencia de los equipos de zapatas deslizantes, los cuales son estacionarios, los equipos de rueda deslizante son de mayor rendimiento ya que pueden estar acoplados a los vehículos o remolcados. Dentro de estos podemos distinguir esencialmente 3 tipos.

1. Equipos de rueda bloqueada: Estos equipos pueden medir el coeficiente de fricción longitudinal a gran velocidad debido a que la velocidad de deslizamiento coincide con la de desplazamiento del vehículo. Existen varios equipos de medida de este tipo, estos se han utilizado durante mucho tiempo en otros países como el ASTM E-274 Tester y el ADHERA francés.



Figura 2.8. ASTM E-274 Tester estadounidense para ensayo con rueda bloqueada.

2. Equipos de rueda parcialmente bloqueada: Son equipos que operan con una tasa de deslizamiento comprendida entre el 10% y el 20%, valores donde como ya se menciona suele producirse la máxima adherencia. Equipos como el remolque holandés del DWW y el Griptester español operan bajo este sistema.



Figura 2.9. Griptester español operando en la auscultación de redes.

3. Equipos de rueda oblicua: Miden con una rueda que tiene un ángulo respecto al sentido de la marcha. Estos determinan el coeficiente de rozamiento transversal de un modo continuo, lo que los hace especialmente aptos para la auscultación de una red de carreteras. Existen diferentes modelos y entre los más extendidos en su uso en Europa se encuentra el SCRIM y el Mu-Meter.



Figura 2.10. SCRIM español en operación.

2.3. MEDIDAS DE LA FRICCIÓN EN MÉXICO

En nuestro país el equipo más utilizado para la auscultación es el conocido como Mu-Meter y es el único especificado dentro de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Es un dispositivo diseñado para medir el coeficiente de fricción entre la llanta y la superficie del pavimento, circulando a la velocidad de operación normal bajo una superficie mojada la cual representa la condición crítica de deslizamiento para los usuarios. Esta calibrado para determinar el coeficiente de fricción entre 0 y 1.00.

Se clasifica dentro de los equipos de rueda oblicua, se remolca a una velocidad constante y consta de tres ruedas, dos de las cuales forman un ángulo (α) respecto a la dirección del movimiento del vehículo. Para su correcta operación las ruedas de ensayo deben estar bajo la aplicación de una carga estática constante.

El vehículo remolcador debe contar con un tanque de almacenamiento de agua que le permita proporcionar a lo largo del ensayo una superficie húmeda con una película de agua de espesor constante. El equipo realiza un registro grafico continuo de la fuerza de fricción lateral además calcula los promedios de los valores para los diferentes tramos ensayados. Al terminar el recorrido se obtiene una gráfica, lo que permite efectuar una zonificación del tramo y de a cuerdo con la magnitud del valor del coeficiente de fricción se pueden determinar las condiciones del mismo.

La aplicación de este dispositivo es reconocida por la AASHTO, ASTM y la FAA y está contenida en la Normativa vigente de la SCT.

2.3.1. Descripción del equipo

El Equipo Mu-Meter es un remolque que cuenta con dispositivos GPS y DMI para el posicionamiento de los eventos registrados. Cuenta con dos ruedas de ensayo lisas cada una montada a $7.5^\circ \pm 0.75^\circ$ hacia el exterior de la línea central del Mu-Meter. Las ruedas de ensayo tienen un desplazamiento lateral restringido por lo que la fuerza de fricción lateral puede ser transmitida a la celda de carga montada en el marco que evita su separación. El coeficiente de fricción lateral dependerá entonces de la fuerza entre las ruedas de ensayo que es función de la fricción entre los neumáticos y la superficie del pavimento.

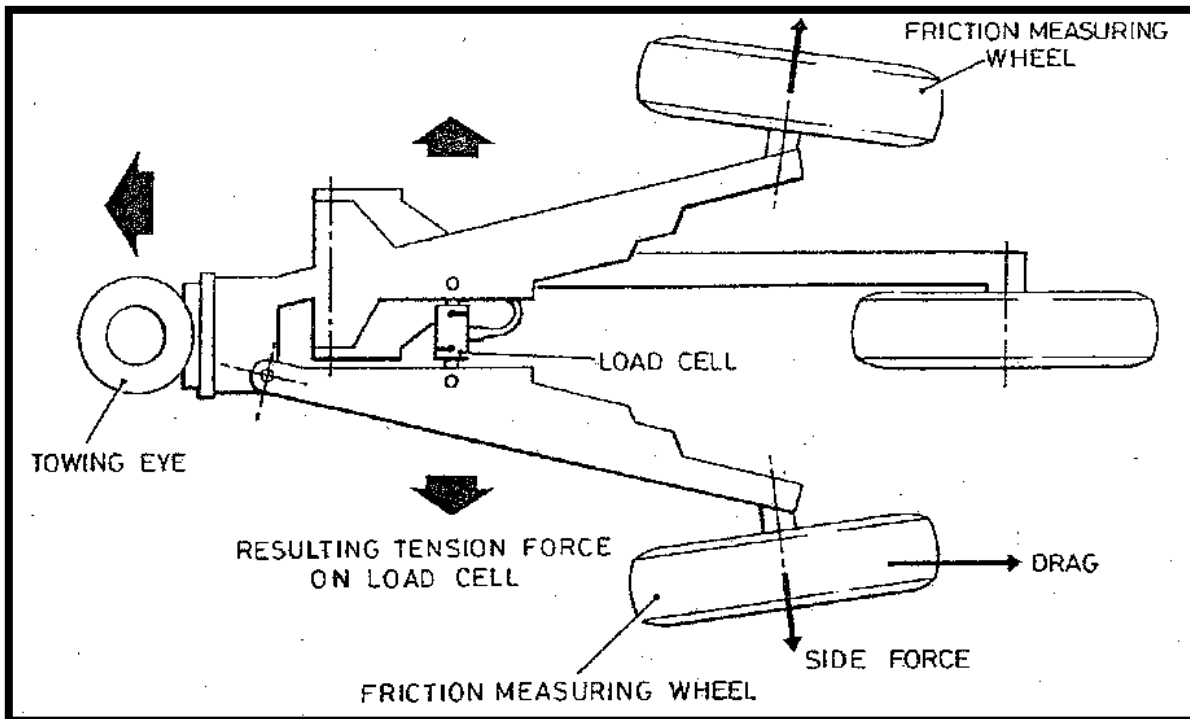


Figura 2.11. Esquema de la vista superior del remolque del Mu-Meter.

Además el vehículo remolcador debe ser capaz de llevar al Mu-Meter a una velocidad mínima de 65 km/h. Debe contar con un gancho para la colocación del remolque de tal

manera que la línea normalizada sobre el Mu-Meter se encuentre a 305 ± 13 mm por encima del remolque.

El sistema de instrumentación del equipo debe tener una precisión general de $\pm 3\%$ de la escala total, la cual debe ser determinada a temperatura ambiente entre 4 y 38 °C. El sistema de instrumentación genera un registro continuo de las medidas y lo muestra en una pantalla donde pueden observarse y manipular los datos recién obtenidos. La rueda central del remolque hace avanzar el registro de la grafica continua y mide la distancia recorrida.

La celda de fuerza está montada de tal manera que no debe sufrir una rotación angular mayor a 1° , medida a partir del plano horizontal cuando se cargue con la máxima fuerza esperada. Las ruedas de ensayo se inflan a una presión de 69 ± 3 kPa a temperatura ambiente y deben tener 761 ± 9 N de carga estática vertical.



Figura 2.12. Grafica de los valores de fricción obtenidos en un tramo por el Mu-Meter.

El medidor debe registrar la fuerza de tensión de la celda de fuerza sobre un diagrama continuo. Además de los equipos o dispositivos de lectura digitales, el vehículo debe contar con transductores de velocidad, los cuales se acoplan a la transmisión para medir su velocidad con una precisión de ± 0.8 km/h.

El tanque de suministro que aplica el agua por delante de las llantas de ensayo del Mu-Meter debe tener una boquilla adecuadamente diseñada para asegurar que la película de agua, sobre la que ruedan las llantas, tenga una sección transversal uniforme. La capa de agua deberá ser por lo menos 25 mm más amplia que el ancho de contacto entre la llanta de ensayo y el pavimento, la que deberá permanecer centrada entre los extremos mojados.

2.3.2. Resumen del procedimiento de medida de la fricción

El Mu-Meter es un remolque que es tirado por un vehículo o incorporado a un automóvil.

Antes del inicio del ensayo se verifica que las llantas no tengan desgastes excesivos, irregularidades y otros daños. Debe verificarse también que las presiones de inflado sean las adecuadas. La suspensión debe encontrarse libre. Antes de cada una de las series de ensayo, se calentaran las llantas mediante un recorrido de por lo menos 8 km (5 millas), a las velocidades de tránsito normales.

Las llantas del Mu-Meter se colocan en su posición de ensayo y este se remolca a la velocidad establecida para la prueba. Se riega agua adelante de las llantas y se marca el comienzo del ensayo. Las fuerzas que actúan entre las llantas de ensayo y la superficie del pavimento se registran en un diagrama continuo, además, la velocidad del ensayo se registra con la ayuda de la instrumentación adecuada.

La fuerza de fricción lateral se determina a partir del análisis del diagrama continuo y se reporta como el número Mu (MuN).

Se indica el comienzo y el final del ensayo por medio del marcador de eventos. Debe detenerse el flujo de agua aproximadamente un segundo después de haber completado el ensayo. El registro es evaluado entre las dos marcas de los eventos de inicio y término de la prueba. La línea promedio del diagrama entre estos dos puntos es el número Mu.

El conocimiento de la fuerza de fricción lateral es una herramienta adicional en la caracterización de las superficies del pavimento. La información obtenida en conjunto con otros parámetros, permite evaluar las características de un pavimento.

No deberán mezclarse en los tramos de ensayo de la vía, curvas cerradas y pendientes pronunciadas, con tramos rectos y a nivel; tampoco deberán mezclarse carriles de adelantamiento con carriles de circulación. Se deberán escoger los tramos de ensayo tan

uniformes como sea posible, de manera que el promedio resultante del ensayo registrado, sea un promedio de una superficie uniforme. Normalmente, el ensayo de las autopistas deberá efectuarse con la rueda de ensayo izquierda, en la posición central del patrón que siguen comúnmente las ruedas izquierdas de los automóviles que transitan sobre el carril ensayado. Deben anotarse en el informe, todas aquellas áreas donde el Mu-Meter se desvíe de su posición transversal a la vía.

El reporte resumido deberá incluir, para cada tramo, los siguientes datos:

- Localización e identificación del tramo de ensayo.
- Número de carriles y presencia de separadores de carriles.
- Pendientes y alineamientos.
- Tipo de pavimento (diseño de la mezcla de la capa superficial, condición y tipo de agregado, si se dispone de esta información).
- Edad del pavimento.
- Transito promedio diario.
- Velocidad promedio diaria (o mezcla de velocidades como en el caso de una carretera con pendiente inclinada y transito pesado de camiones).
- Fecha y hora del día, condiciones ambientales, carril y tramo de ensayo.
- Número Mu promedio para cada tramo; velocidades del vehículo y espesores del agua superficial a los cuales el promedio reportado fue obtenido.
- Valores máximos y mínimos que entran en el cálculo del promedio. (Si los valores son reportados pero no fueron usados en el cálculo del promedio, este hecho debe informarse).



Figura 2.13. Mu-Meter en operación en la red mexicana de carreteras.

2.3.3. Normativa mexicana

En la república mexicana los pavimentos se construyen bajo un conjunto de criterios, métodos y procedimientos que tienen por propósito la correcta ejecución de los trabajos que se realizan dentro del país, los cuales en su mayoría son ejecutados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El objetivo principal de la Normativa para la Infraestructura del Transporte es lograr uniformidad en la calidad de las obras públicas y en los servicios relacionados con ellas, es por ello que se establecen criterios y procedimientos para la planeación, licitación, adjudicación, contratación, ejecución, supervisión y, en su caso, operación y mitigación de los impactos ambientales. Además orienta la selección y aplicación de los criterios, métodos y procedimientos más convenientes para la realización de estudios y proyectos, la ejecución, supervisión y aseguramiento de la calidad de las obras durante su construcción, conservación, reconstrucción y modernización.

La Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se presenta en tres tipos diferentes de publicaciones: Normas, Manuales y Prácticas Recomendables.

Mientras que las Normas proponen valores específicos de diseño a cumplir en las obras, los manuales contienen los métodos para la realización de las diferentes actividades durante su construcción, por último, las prácticas recomendables proponen el establecimiento y la aplicación de diferentes teorías a casos específicos.

Referente a los acabados en las capas de rodadura de los pavimentos y específicamente hablando de la resistencia a la fricción la Normativa para la Infraestructura del Transporte menciona en la N.CTR.CAR.1.04.006/09, N.CTR.CAR.1.04.007/09, N.CTR.CAR.1.04.008/13, N.CTR.CAR.1.04.009/06, N.CSV.CAR.3.02.002/13, N.CSV.CAR.3.02.003/10, N.CSV.CAR.3.02.004/10 y N.CSV.CAR.3.02.005/10 el valor mínimo requerido de fricción el cual se considera de 0.6 en carreteras nuevas, reconstruidas o conservadas. Las normas mencionadas anteriormente consideran dentro de los criterios de aceptación o rechazo que para que una capa de rodadura de concreto asfáltico o hidráulico se considere terminada y sea aceptada por la secretaria, se debe comprobar que: *“La superficie de la capa de rodadura tenga una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a seis décimas (0,6) o mayor, medida con el equipo Mu-Meter, a una velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora, por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada carril. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme a la norma ASTM E 670-94 (2000).*

Cuando la resistencia a la fricción de una carpeta asfáltica con mezcla en caliente, sea menor de seis décimas (0,6), el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, corregirá la superficie terminada mediante la colocación de una capa de rodadura de un riego.”, [Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, última actualización, 1 de Enero de 2013]

2.4. MEDIDAS DE LA TEXTURA

El método del círculo de arena es un método volumétrico para caracterizar la macrotextura de un pavimento, consiste en una sencilla prueba donde esencialmente se extiende sobre el pavimento un volumen conocido de arena de tamaño uniforme formando un círculo. Al dividir el volumen del material entre el área del círculo, formado al extender la arena, se obtiene una profundidad media de la macrotextura. Este ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento ya sea de concreto asfáltico o hidráulico.

Para efectuar la prueba se debe proceder como sigue:

- Se eligen primero las zonas a ensayar las mismas que deben ser marcadas, en cada ensayo se deben realizar un mínimo de cinco determinaciones alineadas y separadas 1m entre sí.
- La arena a emplear y su volumen están relacionados con la textura del pavimento de tal manera que el círculo resultante debe estar comprendido entre 5 y 18 cm. Cuando el pavimento se encuentre húmedo este debe ser secado mediante un calentador hasta lograr una superficie seca.
- Se debe limpiar la superficie de ensayo en un radio de 25 cm con un cepillo blando. Se llena de arena un recipiente cilíndrico tarado para medir el volumen de la arena y se golpea ligeramente para asegurar su compactación, después de lo anterior se debe enrazar la arena de preferencia con una regla metálica.
- La arena contenida en el recipiente se vierte sobre el pavimento de tal manera que se logre una superficie cónica, se extiende la arena con movimientos circulares hasta conseguir una superficie que enrase con la del pavimento.
- Por último se debe medir con un compás de puntas el radio del círculo obtenido, después se mide el radio del círculo con una regla metálica cuya aproximación sea al mm.
- La división del volumen usado entre el área del círculo resulta en la media de profundidad de la textura del pavimento.

$$H(mm) = \frac{V}{\pi R^2}$$

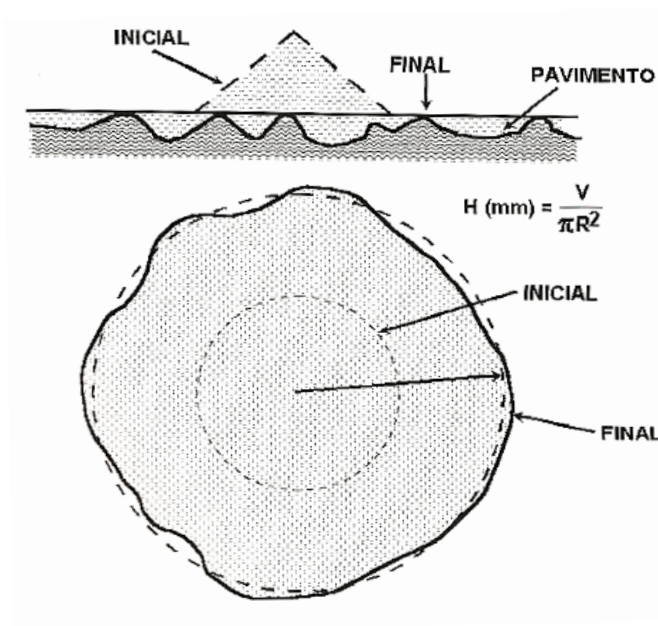


Figura 2.14. Esquema del ensayo del círculo de arena.

2.5. ÍNDICES DE FRICCIÓN Y TEXTURA

Cuando se determina la resistencia al deslizamiento mediante un equipo de medida, esta se expresa en un valor de medida único que proporciona un indicador o índice de la resistencia al deslizamiento.

Cada clase de equipo puede arrojar un tipo diferente de indicador y es por esto que se ha intentado reducir los valores a un índice común el cual valore la resistencia al deslizamiento de manera única.

Atendiendo a la característica del pavimento que expresa, los índices pueden englobarse en tres clases diferentes:

- Índices de fricción
- Índices de textura
- Índices dobles (de fricción y textura)

Como hemos dicho anteriormente para caracterizar la adherencia entre los neumáticos y los pavimentos a cualquier velocidad de desplazamiento, se necesitan dos valores, uno de la medida de la fricción y otro que caracterice la macrotextura, de ahí surge la idea de emplear índices dobles que representen de mejor manera lo que sucede entre el neumático y el pavimento en lo que a la adherencia se refiere, la propuesta de la implementación del IFI (Índice de Fricción Internacional) responde a dicha necesidad.

El IFI viene definido por dos parámetros, el primero se refiere a la fricción a 60km/h, y es determinado mediante un procedimiento de armonización de las medidas de equipos de medida de la fricción calibrados entre sí; y el segundo, un índice relativo a la macrotextura del pavimento, que se obtiene mediante un procedimiento determinado de medidas de textura y de su calibración.

2.5.1. Experimento Internacional Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR)

Alrededor del mundo son tantos los equipos usados para la medida de la resistencia al deslizamiento que desde hace ya algún tiempo se vio la necesidad de relacionar las medidas realizadas por estos equipos.

La AIPCR al proponer el estudio del problema de deslizamiento en 1938, vio la necesidad de establecer una lista y descripción de los equipos que median el deslizamiento en carreteras, hacer medidas con cada uno de estos equipos y comparar los resultados.

Así en 1987 el Comité Técnico C1 de Características Superficiales de la AIPCR abordó el proyecto y la posterior realización del denominado “Experimento internacional de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento”. Entre 1988 y 1989 se decidió hacer los ensayos en Bélgica y España en dos regiones representativas, una con clima seco y otra con clima húmedo. En el año 1990 se eligieron los tramos definitivos de ensayo y en 1992 se evaluaron 54 tramos de pavimentos (en el experimento participaron 37 equipos tanto de medidas de textura como de fricción o de ambas, que eran procedentes de 15 países: 29 equipos de 13 países de Europa, 6 de Estados Unidos de América y 2 de Japón). Los datos se analizaron hasta 1995 y los resultados relativos al experimento y demás datos se recabaron en un solo documento editado por la Asociación Mundial de Carreteras.

En el documento resultante del experimento se logró desarrollar y valorar la relación que guardaban las medidas de fricción y textura hechas con diferentes equipos, se cuantificó la relación entre las medidas para facilitar el intercambio de información técnica, se determinó la repetitividad y los errores de medida de los diferentes equipos involucrados en el experimento, y además, se estableció una escala internacional de fricción a que los equipos pudieran referirse.

EXPERIMENTO INTERNACIONAL DE COMPARACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE TEXTURA Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO
TRAMOS
n = 54 (28 en Belgica, 26 en España)
longitud 150 m (2 x 75 m)
rectos y llanos
textura homogénea
variedad de pavimentos
variedad de textura (micro - macro)
EQUIPOS (n = 37)
29 Europa, 6 EUA, 2 Japon
24 fricción, 8 textura, 5 fricción y textura
MÉTODO DE ENSAYO
semisecciones de 75 m
medida de la textura antes de la fricción
3 velocidades (30 - 60 90 km/h)
2 pasadas

Tabla 2.2. Algunos datos del Experimento AIPCR.

2.5.2. Modelo AIPCR

Después del análisis de los resultados de las medidas de fricción hechas en el experimento internacional de la AIPCR en 1992 y tras un laborioso ajuste estadístico y análisis de los datos se llegó a la conclusión de que era preferible tomar como coeficiente de fricción el correspondiente a la fricción a 60 km/h (F60) de velocidad de deslizamiento, ya que la mayoría de los equipos de rueda bloqueada toman este valor como referencia y además, el F60 presentaba una dispersión menor según el análisis de los datos efectuado.

Otra de las razones para elegir el F60 fue que al elevar la velocidad de deslizamiento a 60 km/h o más, la macrotextura adquiere un papel predominante y este suele ser un valor que representa un promedio de la velocidad de frenado de los vehículos.

Así se obtuvo el denominado Modelo AIPCR el cual se representa por la siguiente ecuación:

$$F(S) = F(60)e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

Donde:

$F(S)$ = fricción correspondiente a la velocidad de deslizamiento.

$F60$ = fricción a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h

S = Velocidad de deslizamiento

S_p = Constante en dimensiones de velocidad y que depende de la macrotextura del pavimento.

Para la obtención de S y siendo V la velocidad de desplazamiento se tiene que:

$S = V$, en medidas hechas con la rueda bloqueada.

$S = V \cdot (\text{tasa unitaria de desplazamiento})$, en medidas con rueda parcialmente bloqueada.

$S = V \cdot \sin \alpha$, en medidas con rueda oblicua.

2.6. ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)

El Índice de Fricción Internacional o IFI resultó como una escala de referencia a partir del modelo de la AIPCR, modelo que sirve para estimar las constantes de referencia de la velocidad (S_p) y de la fricción a una velocidad de deslizamiento de 60 km/h ($GF60$). Este par de valores ($GF60$; S_p) expresan el IFI de un pavimento y permite calcular la fricción del mismo a cualquier velocidad de deslizamiento $GF(S)$, esto mediante la ecuación:

$$GF(S) = GF60 e^{\frac{60-S}{S_p}} \quad (2.6.1)$$

La curva resultante es denominada curva de referencia, donde:

$GF(S)$ = Valor de fricción de la curva de referencia a la velocidad de deslizamiento S .

$GF60$ = Valor de la fricción a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h.

S = Velocidad de deslizamiento.

S_p = Constante que depende de la macrotextura.

A partir de los resultados de las medidas de fricción y textura de diversos equipos de auscultación se obtuvo un modelo de amortización de las medidas. El IFI y sus parámetros de acuerdo al modelo de la AIPCR se determinan como se explica a continuación:

- Se parte en primer lugar del valor de la fricción en un pavimento obtenido con un equipo determinado el cual posteriormente debe ser corregido, este es denominado FRS.
- Se determina la constante Sp a partir de la medida de la textura Tx obtenida también por un equipo específico, siendo la expresión para determinar Sp la siguiente:

$$Sp = a + bTx \quad (2.6.2)$$

Donde:

Sp = Constante que depende de la macrotextura.

a, b = Constantes de calibración del equipo de medida de la textura.

Tx = Medida de la macrotextura con el equipo.

Así aplicando lo anterior al modelo de la AIPCR

$$FRS = FR60e^{\frac{60-S}{Sp}} \quad (2.6.3)$$

Y despejando FR60:

$$FR60 = FRS e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad (2.6.4)$$

Donde:

FRS = Medida de la fricción del equipo a una velocidad de deslizamiento S.

FR60 = Valor de FRS calculado o medido a 60 km/h.

S = Velocidad de deslizamiento.

Sp = Constante determinada mediante la *ecuación 2.6.2*.

- Cuando la rueda de medida es lisa, la primera estimación del parámetro GF60 o F60 del IFI, se obtiene aplicando la formula:

$$F60 = A + B * FR60 \quad (2.6.5)$$

Que se puede expresar de acuerdo *ecuación 2.6.4*.

$$F60 = A + B * FRS e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad (2.6.6)$$

Si la rueda contiene dibujo:

$$F60 = A + B * FR60 + (C)(Tx) \quad (2.6.7)$$

Y como expresión general para todos los casos:

$$F60 = A + B * FRS e^{\frac{S-60}{a+bTx}} + (c)(Tx) \quad (2.6.5)$$

Donde:

F60 = Estimación del primer parámetro GF60 del IFI.

FRS = Medida del equipo de fricción a la velocidad de deslizamiento S.

S = Velocidad de deslizamiento.

Tx = Valor proporcionado por el equipo de medida de textura.

A, B = Constantes de calibración del equipo de medida de la fricción, determinadas por correlación y amortización de las medidas de los equipos.

C = Constante de regresión la cual tiene un valor de 0 cuando se trata de un neumático liso.

a, b = Constantes de calibración del equipo de medida de la macrotextura.

Al final la curva obtenida F(S) es una aproximación a la curva de fricción del pavimento ensayado.

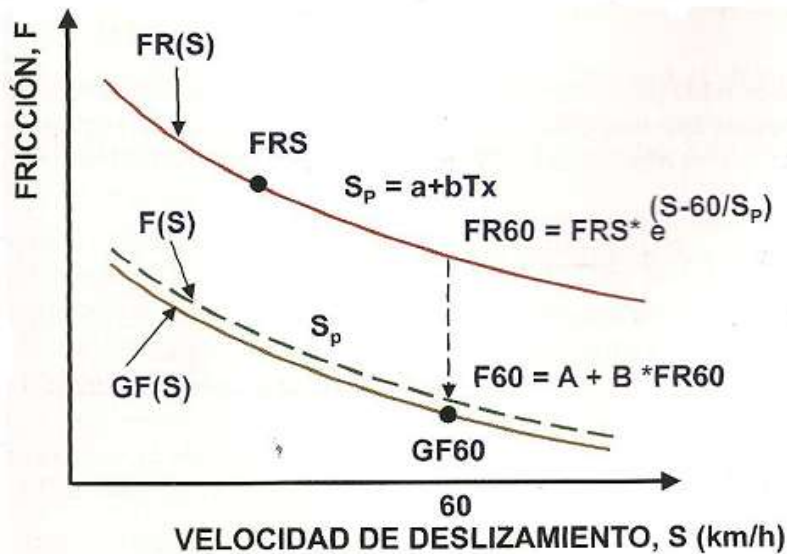


Figura 2.15. Amortización de las medidas en el Experimento AIPCR.

CAPITULO 3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1. ANTECEDENTES

La red carretera Mexicana nace en el año 1925 con la Comisión Nacional de Caminos que inicia la construcción de las primeras carreteras. Al principio la construcción de carreteras respondió a la necesidad de unir la región central del país con la frontera norte y a algunas otras necesidades netamente regionales, esta red inicial se origino como una red radial que estaba formada por grandes ejes troncales que enlazaban a las principales ciudades del país.

De 1925 a 1930 se construyeron 1,420 km de caminos y de 1930 a 1940 la red creció 8,500 km más comunicando por este medio 23 ciudades con más de 50,000 habitantes. Entre 1940 y 1950 la red se incremento 11,530 km y se conto con una longitud total de 21,450 km la cual comunicaba 20% del territorio nacional. De 1950 a 1960 se construyeron 23,400 km y el total de caminos pavimentados ascendía a 44,850 km. En los años de 1960 a 1970 la red se incremento 26,630 km, se construyeron principalmente caminos alimentadores y de interconexión con la red troncal. En 1985 la red carretera nacional totalizaba 210,000 km.

En la actualidad el sistema carretero nacional tiene una longitud aproximada 355,796 km de caminos, de los cuales casi el 5.4% corresponde a los corredores troncales, Figura 3.1, así el país tiene una densidad carretera de 181 m/km².

La gran expansión de la red vial interurbana culminó en los años 80's, después de varias décadas de intensa inversión y actividad de construcción. Se puede decir que la longitud actual de la red se considera suficiente y ahora la actividad de construcción de nuevos caminos es algo puntual y más limitada a los caminos rurales y alimentadores y el resto suele consistir en mejorar la calidad o capacidad de la res ya existente, solo en muy contados casos aumenta la cobertura física de la red.

Además de la construcción de carreteras nuevas el conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento, sea este recién construido o no, y su comportamiento a través del tiempo son temas de vital importancia para los usuarios y para el órgano encargado de su diseño, construcción, conservación y operación. Esta importancia se

refleja en las consecuencias que el mal estado de un pavimento puede tener en la seguridad y economía del transporte. Los sistemas de medición aparecieron con la necesidad de valorar cuantitativamente las condiciones de los pavimentos y han sido objeto de importantes avances en los últimos años.



Figura 3.1. Corredores Carreteros de México.

Varios países han tomado la medición de parámetros presentes en los pavimentos para convertirlos en un sistema estandarizado que aporta información confiable y necesaria para la toma de las decisiones sobre el momento indicado para intervenir y rehabilitar pavimentos, ello con el fin de mantenerlos en condiciones óptimas. En la actualidad la determinación de las condiciones actuales de un pavimento es mayormente definida por la evaluación de parámetros como:

- La Regularidad Superficial
- El Deterioro superficial
- La Resistencia al deslizamiento
- La Evaluación Estructural

En México los pavimentos nuevos y específicamente las capas de rodadura, deben cumplir con una serie de criterios para poder ser considerados como terminados y aceptados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Estos criterios engloban una serie de características que debería cumplir tanto la carpeta asfáltica construida como los materiales que la componen; independientemente del tipo de pavimento (rígido o flexible) los principales criterios evaluados por la SCT en los caminos se pueden dividir de acuerdo a los parámetros que indican en la tabla 3.1:

CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO	DESCRIPCIÓN
Calidad de los Materiales	Los materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en las capas de rodadura y riegos de liga, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, N-CMT-4-05-002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, N-CMT-4-05-003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras y N-CMT-4-05-004, Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG.
Índice de perfil	Que el índice de perfil de la última capa de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, compactada en cada franja de tendido de cada subtramo de doscientos (200) metros de longitud o fracción, haya sido de catorce (14) centímetros por kilómetro como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista de Obra hará esta comprobación conforme al Manual M-MMP-4-07-002, Índice de Perfil, dentro de las cuarenta y ocho (48) horas siguientes a la terminación de la compactación.
Líneas, pendientes y espesores	Que el alineamiento, perfil, sección y espesor de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, cumplan con lo establecido en el proyecto, con las tolerancias para el ancho de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente del eje a la orilla de ± 1 cm y en su pendiente transversal de $\pm 0.5\%$.
Resistencia a la fricción	Que la superficie de rodadura de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente compactada, haya tenido una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a seis décimas (0,6) o mayor, medida con el equipo Mu-Meter, a una velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora, por lo menos sobre la huella de la rodadura externa de cada franja de tendido. El Contratista de Obra hará esta comprobación conforme a la norma ASTM E 670-94 (2000). La prueba se hará sobre la superficie de rodadura compactada.

Tabla 3.1. Criterios de aceptación o rechazo de las capas asfálticas de la Normativa Mexicana.

3.2. EL ESTADO DE MICHOACÁN

El estado de Michoacán cubre una extensión de 58,643.38 km² lo que representa aproximadamente el 3% de la superficie total del país, esto coloca al estado en el lugar número 16 de los 32 estados de la república en cuanto a superficie se refiere. El Estado se localiza en la parte centro occidente de la República Mexicana, sobre la costa meridional del Océano Pacífico, entre los 17°54'34" y 20°23'37" de latitud Norte y los 100°03'23" y 103°44'09" de longitud Oeste y tiene un litoral sobre el océano pacífico que cubre una longitud de 210.5 km.



Figura 3.2. Localización del estado de Michoacán en el país, mapa 2014 google, INEGI.

El clima dentro del estado suele ser uno de los más variados de la república, el 33.9% del territorio se clasifica dentro del clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, 27.9% como clima templado subhúmedo con lluvias en verano, 21.1% como semicálido subhúmedo con lluvias en verano, 10.6% es semiseco muy cálido o cálido y el 6.5% restante corresponde a climas de otros tipos.

Como se ha mencionado, uno de los objetivos de este trabajo es la evaluación de la resistencia a la fricción, la obtención de la textura y el cálculo del IFI en diferentes tramos de pavimento recién construidos en el estado de Michoacán. Tras analizar los datos

resultantes se podrá emitir una opinión del estado que guardan los pavimentos michoacanos en cuanto al parámetro del deslizamiento se refiere.

Es importante mencionar, que los agregados pétreos, los materiales asfálticos, el clima y los procesos constructivos de una región particular afectan directamente las características de las carreteras que en ese lugar se construyen. Conocer la zona de estudio es entonces muy importante para los investigadores de carreteras porque puede proporcionar una mejor idea del comportamiento esperado de un determinado pavimento y los ayuda a intuir las causas a que se pueden atribuirse los problemas que se presentan en los pavimentos.

El inventario nacional de bancos de materiales de la SCT aporta información básica sobre la localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para la construcción y mantenimiento de carreteras. En la última actualización del inventario nacional de bancos el estado de Michoacán cuenta con diversos bancos de materiales para la construcción de carreteras, se clasifican según el tipo de material en tezontles, gravas arenas, calizas, basaltos, conglomerados, materiales volcánicos, cantos rodados, rocas alteradas y andesitas. Además en el Inventario Nacional se cuenta con una guía sobre los usos recomendables de cada banco, sin embargo es siempre necesaria la obtención mediante pruebas de laboratorio de los parámetros mecánicos y físicos de cada material para un adecuado uso de los mismo y un dimensionamiento correcto del pavimento a construir.

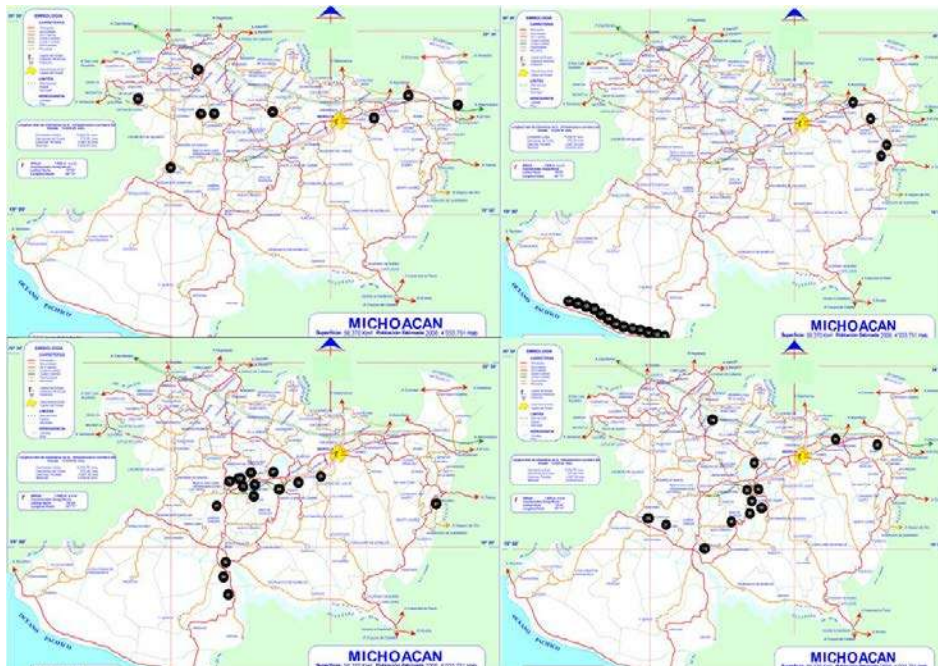


Figura 3.3. Mapas de bancos de materiales del estado de Michoacán, Inventario nacional de bancos 2013, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La red carretera de Michoacán cuenta con la autopista de Occidente que coloca al estado en posición estratégica entre las ciudades de Guadalajara y México. La autopista que conecta a la ciudad de Morelia con el puerto de Lázaro Cárdenas agiliza las comunicaciones entre Michoacán y los otros estados del litoral del Pacífico. En comparación al lugar que guarda en cuanto a extensión territorial Michoacán posee una red carretera extensa que le otorga el 3er lugar a nivel nacional en cuanto al número de kilómetros de carreteras pavimentadas. Tabla 3.2.

No.	ENTIDAD	TOTAL	CORREDOR	BÁSICA	SECUNDARIA
1	Oaxaca	2853.74	464.82	735.13	1653.79
2	Veracruz	2392.80	662.15	754.42	976.23
3	Michoacán	2180.42	228.95	1149.00	802.47
4	Tamaulipas	2150.29	757.21	643.08	750.00
5	Chiapas	2140.21	381.80	1292.75	465.66
6	Chihuahua	2111.42	304.00	749.83	1057.59

Tabla 3.2. Estados con mayor número de kilómetros de carreteras pavimentadas en México según la Dirección General de Conservación de Carreteras (primeros seis lugares).

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS EVALUADOS

Los variados aspectos del estado hacen que cada camino se deba construir con métodos y materiales diferentes, condicionados principalmente por la región en que se construirá el nuevo camino, esto trae como consecuencia que en general cada región tenga un tipo de pavimento diferente en cuanto a su composición pétreo, este sometido a diferentes alturas de precipitación pluvial en el año y sea expuesto a agentes de intemperismo diferentes. Esto hace que los tramos deban revisarse para garantizar que el método y material usado hayan sido los más adecuados y garanticen pavimentos duraderos, seguros y cómodos.

En el trabajo se abordó el estudio de las condiciones que guardaban 15 tramos carreteros construidos con carpetas asfálticas de mezcla en caliente. Los tramos se abordaron desde la perspectiva de su resistencia al deslizamiento, por lo que a cada uno se determinó el

coeficiente de fricción mediante el Mu-Meter y se obtuvo su profundidad media de textura por el método del círculo de arena.

Los tramos evaluados se ubican en diferentes puntos del estado, figura 3.2.

Todos los tramos analizados para este trabajo fueron construidos con carpetas de granulometría densa la cual suele ser una capa no drenante cuya textura no es muy profunda, 12 de ellos fueron construidos con materiales basálticos y 3 con gravas arenosas de río, tanto los basaltos como las gravas arenosas fueron triturados totalmente, todas las carpetas construidas con grava arena de río se diseñaron para un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ " mientras que las carpetas de material basáltico se dividieron en tamaños máximos de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ". En la tabla 3.3 se describen algunas de sus características.

No.	CARRETERA	TRAMO	SUBTRAMO	KILOMETROS CONTRUIDOS	TIPO DE TRABAJOS	TIPO DE MEZCLA	TAM. MÁXIMO (Pulg.)	MATERIAL PETREO USADO EN LA CARPETA
1	Acambaro - Morelia	Lim. Edos. Gto./Mich. - T. San José	del km 47+000 a km 57+000	10	Reconstrucción	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
2	Zitacuaro - Cd. Altamirano	Zitacuaro - T. El Limón	del km 65+000 al km 75+000	10	Reconstrucción	Mezcla Asfáltica Densa	1/2	Basalto
3	Atzacmulco - Morelia	Maravatio - Morelia	del km 127+000 al km 134+000	7	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
4	Morelia - Guadalajara	Quiroga - Carapan	del km 50+000 al km 60+000	10	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
5	Carapan - Playa Azul	Uruapan - Arteaga	del km 186+000 al km 195+000	9	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	1/2	Basalto
6	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro Cuerpo "B"	del km 3+000 al km 13+000	10	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
7	La Piedad - Jiquilpan	Briseñas - Sahuayo	del km 6+950 al km 29+000	22.05	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
8	La Piedad - Uruapan	La Piedad - Carapan	15+500 al km 25+000	9.5	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
9	Quiroga - Tepalcatepec	Ario de Rosales - Tepalcatepec	del km 140+000 al km 149+000	9	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	1/2	Basalto
10	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro	del km 22+000 al km 32+000	10	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	1/2	Basalto
11	Toluca - Morelia	Lim. Edos. Méx./Mich. - T. Huajumbaro	del km 87+000 al km 89+000	2	Ampliación	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Basalto
12	Zihuatanejo - Playa Azul	Lim. Edos. Gro./Mich.	del km 102+000 al km 108+400	6.4	Conservación Periódica	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Grava - Arena de río
13	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	del km 45+200 al km 48+050	2.85	Contrucción	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Grava - Arena de río
14	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lim. Edos. Mich./Col. - La Placita	del km 0+620 al km 13+000	12.38	Modernización	Mezcla Asfáltica Densa	3/4	Grava - Arena de río
15	Uruapan - Los Reyes	Uruapan - Los Reyes	del km 29+320 al km 33+450	4.13	Modernización	Mezcla Asfáltica Densa	1/2	Basalto

Tabla 3.3. Descripción de los tramos de estudio y sus principales características.

Los tramos de estudio están repartidos en varios puntos del estado y por lo tanto expuestos a diferentes agentes de deterioro, sin embargo la fricción medida se realizó dentro de los primeros 30 días después de su puesta en servicio, lo que provoca que los agentes climáticos y de tráfico no hayan tenido el suficiente tiempo para actuar sobre ellos y deteriorarlos, por lo que el análisis se considera sobre pavimentos nuevos en condiciones iniciales de servicio. La única excepción a lo anterior es la carretera: Morelia – Uruapan, tramo: Morelia – Patzcuaro, del km 22+000 al km 32+000, el cual se encuentra en servicio por alrededor de 2 años desde su ultima conservación y sobre el cual se realizaron las medidas de fricción y textura en su condición actual de servicio después de un tiempo de deterioro considerable.



Figura 3.4. Ubicación en el Estado de Michoacán de los 15 tramos evaluados.

3.4. TÉCNICAS DE MEDICIÓN

La obtención de los parámetros de textura y fricción de los pavimentos estudiados se llevó a cabo por dos pruebas o procedimientos diferentes, para la medida de la textura se procedió según la norma ASTM E 965 o círculo de arena y para la medida de la fricción se usó un equipo Mu-Meter y se procedió según la norma ASTM E 670 la cual describe el método de medida de la fricción con dicho equipo.

La norma ASTM E 965 o círculo de arena es adecuada para pruebas de campo en las cuales se determina el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos. Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macrotextura puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado. De este método se pueden obtener mejoras en la evaluación del acabado de pavimentos y planes de mantenimiento.

Los valores de la textura obtenidos se ven influenciados por las características de la macrotextura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento. La fricción obtenida con el Mu-Meter es principalmente influenciada por la microtextura la cual es proporcionada por el agregado mismo y sus características, además, la fricción obtenida está influenciada por la velocidad a la que el equipo de medida se desplaza sobre el pavimento siendo la fricción mayor cuanto menor sea la velocidad y menor al aumentar la velocidad.

3.4.1. Ensayo del círculo de arena

El método de ensayo es sencillo y los requerimientos constan básicamente de una cantidad de material uniforme, un recipiente de volumen conocido, un disco plano para dispersar el material sobre la superficie del pavimento, un compas y una regla, o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por el material.

Para el ensayo se procede con la dispersión de un volumen conocido de material, generalmente arena de un mismo tamaño, sobre una superficie de pavimento limpia y seca, una vez dispersa la arena se toma la medida del área del círculo, y se calcula el

promedio del espesor de la profundidad del pavimento despejando del volumen y obtenida el área. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macrotextura.

Antes del inicio de la prueba debe verificarse que la superficie del pavimento por ser evaluada sea un área seca y homogénea que no contenga características únicas o localizadas tales como grietas y juntas. Debe estar completamente limpia y para ello se utiliza una brocha de alambre y posteriormente una brocha de cerdas suaves para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie.

Para iniciar las medidas se debe vaciar el material en el recipiente que debe estar aforado en la medida del volumen, se golpea suavemente la base del cilindro varias veces sobre una superficie rígida para asegurar la compactación.

Para continuar se vierte el volumen del material en la superficie limpia y se dispersa con movimientos circulares de adentro hacia afuera hasta lograr llenar los vacíos del pavimento y lograr una superficie lo más uniforme posible. Se mide el diámetro del círculo resultante al dispersar la arena, Figura 3.3. Es necesario efectuar alrededor de 3 a 4 mediciones del círculo espaciadas alrededor de 1m entre ellas y obtener un promedio de la altura de la macrotextura del pavimento mediante la expresión: $T_x = \frac{v}{\pi d^2}$

Se recomienda que sea una sola persona la que realice este ensayo o se entrene previamente a los operadores a que logren una similitud en resultados.



Figura 3.5. Ensayo de círculo de arena sobre pavimento (prueba con un volumen de 50 cm³ de arena).

3.4.2. Medición con el Mu-Meter

La medición de la fricción con el equipo Mu-Meter se realizó en cada tramo justo después de su construcción dentro de los 30 días posteriores y medido a una velocidad de 75 km/h, esto según lo especificado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte respecto a la medida de la fricción en pavimentos. El equipo usado fue el Mu-Meter de Douglas Equipment Limited; un dispositivo totalmente computarizado que registra las mediciones de la fricción mediante una celda de carga electrónica que permite determinar con precisión el estado en que se encuentra la superficie del pavimento, así como pérdida de tracción por la película acuosa (acuaplaneo) en las carreras.

Las características principales del equipo se indican en la tabla 3.4.

El equipo consta de un pequeño remolque de tres ruedas que incorporan sistemas de medición electrónica que funcionan conjuntamente con un equipo en el vehículo de remolque, Figura 3.4. El vehículo remolcador cuenta con un sistema electrónico que transmite los datos del remolque a una computadora montada en el tablero del vehículo, además, los datos registrados se pueden exportar mediante los ordenadores portátiles con un puerto serie RS232 o almacenados en el disco para que los datos se transfieran a una computadora compatible para el almacenamiento de datos y el análisis en un momento posterior.

DIMENSIONES	
Largo	155,3 cm
Ancho	96.0 cm
Alto	57.0 cm
PESO	
Peso total	256 kg
NEUMÁTICOS	
Tipo de neumáticos	Lisos
Distancia entre las llantas de medida	16"x4"x6"
VELOCIDADES	
Velocidad normal de medida	75 km/h
Velocidades de calibración	64 a 96 km/h
Velocidad máxima de operación	128 km/h

Tabla 3.4. Características del Mu-Meter Douglas MK6.

El procesamiento, registro, almacenamiento y presentación visual son todos realizado por un sistema electrónico que está contenido en elementos diferenciados, estos son: la célula de carga, sensor de distancia del acondicionador de señal del codificador (montado sobre el remolque), la clasificación, el chasis y el procesador portátil que está montado en el vehículo de remolque. Las conexiones eléctricas entre las unidades se realizan mediante conectores de interfaz eléctricos convencionales que protege contra la entrada de humedad.

Para nuestro estudio se hicieron mediciones sobre subtramos de 200 m en cada camino evaluado, de cada subtramo se obtuvieron valores de fricción para cada tercio, el promedio de estos tres valores se considera como el valor de la fricción de cada tramo.

Se evaluaron 5 subtramos de 200 m (1000 m de pavimento en total) para cada camino recién construido, estas 5 mediciones se promediaron para tomar como medida de fricción del tramo el promedio de todas las mediciones hechas en el pavimento.

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Como se menciona, se tomaron varias medidas en cada camino para obtener la fricción y la textura. Para el resultado de la media de los valores de fricción, se sumaron todos los valores de los subtramos y se dividieron entre el número de lecturas. En los valores obtenidos del diámetro del círculo de arena, se siguió el mismo criterio y se obtuvo un valor promedio de textura.

En la tabla 3.5 se observan los grupos de mediciones del círculo de arena para cada camino y un promedio general de textura para cada tramo calculado.



Figura 3.6. Equipo de medida de fricción Mu-Meter en operación sobre carreteras Michoacanas.

Los resultados obtenidos por si solos representan solo la altura media de la textura de los pavimentos, este método no toma en cuenta la forma de las partículas, el tamaño o la distribución de las mismas y no proporciona una calificación completa de las características superficiales. Para lograr una mejor caracterización de un pavimento en lo que se refiere al deslizamiento es necesario entonces contar con otros parámetros que midan características que influyan directamente en su resistencia al deslizamiento.

Las medidas de resistencia al deslizamiento hechas con el Mu-Meter proporcionan un complemento para caracterizar el pavimento. En nuestro estudio se obtuvo el coeficiente de fricción de los 15 tramos descritos en el 3.3, las mediciones se realizaron en los primeros 30 días después de su puesta en servicio, los resultados obtenidos para cada subtramo de 200 m se muestran en la tabla 3.6.

No.	CARRETERA	TRAMO	VOLUMEN DE ARENA	RESULTADO DE LA PRUEBA DEL CIRCULO DE ARENA										TEXTURA PROMEDIO EN mm (Tx)
				Radio 1 (cm)	Tx 1 (mm)	Radio 2 (cm)	Tx 2 (mm)	Radio 3 (cm)	Tx 3 (mm)	Radio 4 (cm)	Tx 4 (mm)	Radio 5 (cm)	Tx 5 (mm)	
1	Acambaro - Morelia	Lim. Edos. Gto./Mich. - T. San José	50 cm ³	13.2	0.91342	13.5	0.87328	13.4	0.88636	13.1	0.92742	13.2	0.91342	0.9027817
2	Zitacuaro -Cd. Altamirano	Zitacuaro - T. El Limón	50 cm ³	12	1.10524	12.2	1.0693	12.4	1.03509	12.2	1.0693	12.3	1.05199	1.066184
3	Atlaconulco - Morelia	Maravatio - Morelia	50 cm ³	12.9	0.9564	12.7	0.98676	12.85	0.96386	12.9	0.9564	12.8	0.9714	0.9669664
4	Morelia - Guadalajara	Quiroga - Carapan	50 cm ³	12.5	1.01859	12.5	1.01859	12.4	1.03509	12.3	1.05199	12.5	1.01859	1.0285695
5	Carapan - Playa Azul	Uruapan - Arteaga	50 cm ³	13.4	0.88636	13.6	0.86048	13.3	0.89974	13.3	0.89974	13.4	0.88636	0.8865368
6	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro Cuerpo "B"	50 cm ³	13.1	0.92742	13.15	0.92038	13.2	0.91342	13.1	0.92742	13.2	0.91342	0.920415
7	La Piedad - Jiquilpan	Briseñas - Sahuayo	50 cm ³	12.9	0.9564	12.8	0.9714	12.8	0.9714	12.8	0.9714	12.95	0.94903	0.9639296
8	La Piedad - Uruapan	La Piedad - Carapan	50 cm ³	12.7	0.98676	12.6	1.00249	12.65	0.99458	12.7	0.98676	12.65	0.99458	0.993034
9	Quiroga - Tepalcatepec	Ario de Rosales - Tepalcatepec	50 cm ³	13.1	0.92742	12.9	0.9564	12.95	0.94903	12.9	0.9564	13.1	0.92742	0.9433362
10	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro	50 cm ³	17	0.55071	16.6	0.57757	16.7	0.57067	16.9	0.55725	16.7	0.57067	0.5653739
11	Toluca - Morelia	Lim. Edos. Méx./Mich. - T. Huajumbaro	50 cm ³	12.2	1.0693	12	1.10524	12.5	1.01859	12.6	1.00249	12.3	1.05199	1.049522
12	Zihuatanejo - Playa Azul	Lim. Edos. Gro./Mich.	50 cm ³	15	0.70736	15.2	0.68886	15.15	0.69342	15.2	0.68886	15.1	0.69802	0.6953033
13	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	50 cm ³	14.1	0.80054	14.1	0.80054	14.2	0.7893	14.5	0.75698	14.2	0.7893	0.787332
14	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lim. Edos. Mich./Col. - La Placita	50 cm ³	13.2	0.91342	13.5	0.87328	13.45	0.87978	13.3	0.89974	13.3	0.89974	0.8931928
15	Uruapan - Los Reyes	Uruapan - Los Reyes	50 cm ³	12.3	1.05199	12.4	1.03509	12.35	1.04349	12	1.10524	12.1	1.08705	1.06457

Tabla 3.5. Resultados de las mediciones del circulo de arena para 15 tramos en estudio dentro del estado de Michoacán, México.

No.	CARRETERA	TRAMO	COEFICIENTE DE FRICCIÓN Mu (75 km/h)					PROMEDIO COEFICIENTE DE FRICCIÓN Mu
			Mu 1	Mu 2	Mu 3	Mu 4	Mu 5	
1	Acambaro - Morelia	Lim. Edos. Gto./Mich. - T. San José	0.66	0.66	0.66	0.67	0.59	0.65
2	Zitacuaro - Cd. Altamirano	Zitacuaro - T. El Limón	0.63	0.67	0.61	0.53	0.7	0.63
3	Atzacomulco - Morelia	Maravatio - Morelia	0.74	0.71	0.72	0.69	0.7	0.71
4	Morelia - Guadalajara	Quiroga - Carapan	0.79	0.72	0.75	0.75	0.74	0.75
5	Carapan - Playa Azul	Uruapan - Arteaga	0.7	0.67	0.64	0.65	0.64	0.66
6	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro Cuerpo "B"	0.72	0.69	0.74	0.69	0.78	0.72
7	La Piedad - Jiquilpan	Briseñas - Sahuayo	0.59	0.54	0.58	0.56	0.51	0.56
8	La Piedad - Uruapan	La Piedad - Carapan	0.57	0.59	0.58	0.54	0.55	0.57
9	Quiroga - Tepalcatepec	Ario de Rosales - Tepalcatepec	0.81	0.83	0.61	0.81	0.64	0.74
10	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro	0.71	0.73	0.72	0.73	0.73	0.72
11	Toluca - Morelia	Lim. Edos. Méx./Mich. - T. Huajumbaro	0.71	0.78	0.75	0.72	0.76	0.74
12	Zihuatanejo - Playa Azul	Lim. Edos. Gro./Mich.	0.71	0.64	0.61	0.76	0.63	0.67
13	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	0.48	0.46	0.5	0.53	0.46	0.49
14	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lim. Edos. Mich./Col. - La Placita	0.71	0.61	0.71	0.7	0.72	0.69
15	Uruapan - Los Reyes	Uruapan - Los Reyes	0.61	0.65	0.61	0.67	0.62	0.63

Tabla 3.6. Resultados de de coeficiente de fricción en los 15 tramos de estudio en el estado de Michoacán, México.

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)

En lo referente a la gestión y administración de pavimentos, es importante contar con un índice que pueda medir la fricción general de un pavimento por aspectos de la seguridad y que además nos permita comparar los resultados de fricción con los obtenidos en otros países, así por ejemplo podremos comparar el contexto global en el que se encuentra México si hablamos de la resistencia al deslizamiento de sus pavimentos.

El IFI es un parámetro estandarizado que determina la fricción de los pavimentos considerando sus características superficiales. Con la ecuación descrita en el capítulo 2.6., y con los valores de Textura (Tx), obtenido del círculo de arena y el coeficiente de fricción (FRS) medido con el mu-meter, es posible trazar curvas de comportamiento de la fricción para cada pavimento ensayado.

En lo que se refiere a este estudio, toda vez que se ha determinado la altura media de la textura del pavimento con las mediciones del círculo de arena y obtenido el coeficiente de fricción a través de la medición con el equipo Mu-Meter se procede al cálculo del IFI. Con el valor promedio de la profundidad de la textura (Tx) de cada tramo y el coeficiente de fricción (FRS), se procede al cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI) para una velocidad de 75 km/h (velocidad de operación del Mu-Meter) mediante la ecuación:

$$F60 = A + B * FRS e^{\frac{S-60}{a+bTx}} + (c)(Tx)$$

Donde:

F60 = Estimación del primer parámetro GF60 del IFI.

FRS = Medida del equipo de fricción a la velocidad de deslizamiento S.

S = Velocidad de deslizamiento.

Tx = Valor proporcionado por el equipo de medida de textura.

A, B = Constantes de calibración del equipo de medida de la fricción, determinadas por correlación y amortización de las medidas de los equipos.

C = Constante de regresión, tiene un valor de 0 cuando se trata de un neumático liso.

a, b = Constantes de calibración del equipo de medida de la macrotextura.

Como se observa, se requiere de ciertas constantes o parámetros para completar la ecuación, estas constantes que son “A”, “B”, “a” y “b” dependen fundamentalmente del equipo y el método usado para medir la fricción y la textura. Así según la AIPCR los valores de estas constantes tienen los valores indicados en las Tabla 4.1 y 4.2, según el equipo son:

EQUIPO	VELOCIDAD DEL EQUIPO (Km/h)	VELOCIDAD DE DESLIZAMIENTO (Km/h)	CONSTANTES DE CALIBRACIÓN		
			A	B	C
Péndulo TRRL	0	10	0.04360	0.00950	0
SCRIMTEX	50	17.1	0.03258	0.87150	0
Mu-Meter	75	19.4	0.08670	0.00708	0
SCRIM MOPT	60	20.5	0.03190	0.87340	0
Griptester	65	9.4	0.08209	0.91040	0

Tabla 4.1. Constantes de calibración de distintos equipos de medida de fricción según el modelo AIPCR.

EQUIPO	VELOCIDAD DEL EQUIPO (Km/h)	CONSTANTES DE CALIBRACIÓN	
		a	b
Perfilómetro láser	34	14.235	89.7197
Método volumétrico (Círculo de arena)	0	-11.5981	113.6325

Tabla 4.2. Constantes de calibración de distintos equipos y métodos de medida de la textura según el Experimento Internacional de la AIPCR.

Como ejemplo del trabajo recopilado en este estudio se presenta el cálculo del índice internacional de fricción para el tramo 1 que corresponde a la carretera Acambaro –

Morelia, tramo: Lim. Edos. Gto./Mich. – T. San José, del km 47+000 al km 57+000, a continuación se describe el proceso de cálculo:

En primer lugar se identifican las constantes y sus valores correspondientes dependiendo de los métodos usados, necesarias para solucionar la ecuación del IFI, para este estudio se tienen entonces que los valores son los indicados en la Tabla 4.1.

CONSTANTES DE CALIBRACIÓN	VALOR RECOMENDADO
a	-11.5981
b	113.6325
A	0.08670
B	0.00708

Tabla 4.3. Valores recomendados por la investigación PIARC

En segundo lugar es necesaria la obtención de la velocidad de deslizamiento S , debido a que en los equipos de rueda oblicua como el Mu-Meter la velocidad de deslizamiento no coincide con la velocidad de operación del vehículo. Entonces según lo explicado en el capítulo 2.5.2. sabemos que:

$$S = V \operatorname{sen} \alpha$$

Sustituyendo $V = 75 \text{ km/h}$ y $\alpha = 15^\circ$:

$$S = 75 \operatorname{sen} (15)$$

$$S = 19.41$$

Ahora que se tiene todos los elementos se procede al cálculo del IFI o primer parámetro GF60 usando la ecuación:

$$F60 = A + B * FRSe^{\frac{S-60}{a+bTx}} + (c)(Tx)$$

Sustituyendo valores:

$$F60 = 0.08670 + 0.00708 * 65e^{\frac{19.41-60}{-11.5981+113.6325(0.90278)}} + (0)(0.90278)$$

$$F60 = 0.08670 + 0.00708(41.60747) + 0$$

$$F60 = 0.3804$$

Siguiendo el mismo procedimiento para cada tramo se obtuvo el F60 o índice de fricción internacional a 60 km/h. Los resultados son diferentes para cada camino y están influenciados tanto por la textura como por la fricción medidas, eso significa que medidas de fricción iniciales superiores en un camino 1 respecto a otro camino 2, no necesariamente arrojaran una fricción mayor F60 para el camino 1 pudiendo este quedar con un F60 menor que el del camino 2 con menor fricción medida inicialmente. Los resultados de F60 para cada tramo se muestran en la tabla 4.2.

No.	CARRETERA	TRAMO	CONSTANTES					Tx (mm)	FRS	S (km/h)	F60
			a	b	A	B	C				
1	Acambaro - Morelia	Lim. Edos. Gto./Mich. - T. San José	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.90278	0.648	19.41	0.3804
2	Zitacuaro -Cd. Altamirano	Zitacuaro - T. El Limón	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	1.06618	0.628	19.41	0.3937
3	Atzacumulco - Morelia	Maravatio - Morelia	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.96697	0.712	19.41	0.4202
4	Morelia - Guadalajara	Quiroga - Carapan	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	1.02857	0.75	19.41	0.4478
5	Carapan - Playa Azul	Uruapan - Arteaga	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.88654	0.66	19.41	0.3831
6	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro Cuerpo "B"	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.92042	0.724	19.41	0.418
7	La Piedad - Jiquilpan	Briseñas - Sahuayo	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.96393	0.556	19.41	0.3468
8	La Piedad - Uruapan	La Piedad - Carapan	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.99303	0.566	19.41	0.3551
9	Quiroga - Tepalcatepec	Ario de Rosales - Tepalcatepec	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.94334	0.74	19.41	0.4294
10	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.56537	0.724	19.41	0.3238
11	Toluca - Morelia	Lim. Edos. Méx./Mich. - T. Huajumbaro	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	1.04952	0.744	19.41	0.448
12	Zihuatanejo - Playa Azul	Lim. Edos. Gro./Mich.	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.6953	0.67	19.41	0.3465
13	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.78733	0.486	19.41	0.291
14	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lim. Edos. Mich./Col. - La Placita	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.89319	0.69	19.41	0.3977
15	Uruapan - Los Reyes	Uruapan - Los Reyes	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	1.06457	0.632	19.41	0.3954

Tabla 4.4. Índice de fricción de los 15 tramos evaluados según el modelo de la AIPCR.

Una vez calculado el índice internacional de fricción para 60 km/h es posible estimar la fricción para cualquier velocidad de deslizamiento S, usando la ecuación:

$$FS = F60e^{\frac{60-S}{a+bTx}}$$

Siguiendo con el ejemplo del camino Acambaro – Morelia, tramo: Lim. Edos. Gto./Mich. – T. San José, del km 47+000 al km 57+000 se calculan los valores de fricción para un rango de velocidades desde $S = 0$ km/h hasta $S = 100$ km/h:

CARRETERA	TRAMO	CONSTANTES					Tx (mm)	FRS	S (km/h)	F60	Sp
		a	b	A	B	C					
Acambaro - Morelia	Lim. Edos. Gto./Mich. - T. San José	-11.5981	113.6325	0.08670	0.00708	0	0.90278	0.648	19.41	0.3804	90.9872444

FR0	FR10	FR20	FR30	FR40	FR50	FR60	FR70	FR80	FR90	FR100
0.73552915	0.65897438	0.59038752	0.52893927	0.47388663	0.42456393	0.3803748	0.34078492	0.30531561	0.27353799	0.24506783

Tabla 4.5. Datos iniciales, constantes y Valores de fricción de 0 a 100 km/h del camino Acambaro – Morelia, tramo: Lim. Edos. Gto./Mich. – T. San José, del km 47+000 al km 57+000.

De la misma manera se procedió con todos los tramos medidos y los resultados para cada velocidad de deslizamiento S se muestra la tabla 4.4.

Con estos resultados es posible generar una curva característica para cada pavimento. Este tipo de curva proporciona información sobre los valores de fricción para cualquier velocidad de deslizamiento S , también es posible identificar la velocidad de operación máxima a la que se garantice una buena fricción entre neumáticos y pavimento, esto es muy útil para la señalización y prevención de accidentes en condiciones de pavimento mojado.

De manera general podemos mencionar que a medida que la velocidad aumenta, se produce un efecto de lubricación hidroneumática que disminuye el coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento. Es en las curvas características de fricción donde este efecto se puede analizar, así en los tramos en estudio se puede ver que en algunos la tendencia de la curva es casi constante es decir no existe una gran disminución de la fricción a altas velocidades como son: Zitácuaro- Cd. Altamirano, La Piedad-Jiquilpan, La Piedad – Uruapan y Uruapan – Los Reyes , existe un segundo grupo de carreteras en los que la pérdida de fricción al aumentar la velocidad es más sensible que los primeros tramos como la Acámbaro-Morelia, Atlacomulco-Morelia, Morelia-Guadalajara, Carapan-Playa Azul, Morelia-Uruapan cuerpo “B”, Quiroga –Tepalcatepec, Toluca-Morelia, Lázaro Cárdenas-Manzanillo y Lázaro Cárdenas – Manzanillo (límites edoMich/Col, pero son en la carreteras Morelia-Patzcuaro y Zihuatanejo-Playa Azul donde sin lugar a dudas algunas acciones de conservación son necesarios por la dramática perdida de fricción que se presenta al incrementar la velocidad. Las curvas características para cada camino en estudio se muestran en las figuras 4.1 a 4.15, los valores obtenidos fueron calculados de la misma manera que el ejemplo.

No.	CARRETERA	TRAMO	F60	Sp	FR0	FR10	FR20	FR30	FR40	FR50	FR60	FR70	FR80	FR90	FR100
1	Acambaro - Morelia	Lim. Edos. Gto./Mich. - T. San José	0.3804	90.9872444	0.73552915	0.65897438	0.59038752	0.52893927	0.47388663	0.42456393	0.3803748	0.34078492	0.30531561	0.27353799	0.24506783
2	Zitacuaro - Cd. Altamirano	Zitacuaro - T. El Limón	0.3937	109.555048	0.68073119	0.621346681	0.567142659	0.517667198	0.472507797	0.431287937	0.393663948	0.359322139	0.32797618	0.29936474	0.27324925
3	Atzacumulto - Morelia	Maravatio - Morelia	0.4202	98.2807131	0.77380875	0.69894733	0.6313283	0.57025102	0.51508261	0.46525141	0.42024109	0.37958525	0.34286262	0.30969269	0.27973175
4	Morelia - Guadalajara	Quiroga - Carapan	0.4478	105.2808251	0.7917969	0.72005015	0.654804557	0.595471034	0.541513874	0.492445912	0.447824123	0.407245629	0.37034406	0.33678623	0.30626917
5	Carapan - Playa Azul	Uruapan - Arteaga	0.3831	89.1412901	0.75091126	0.67122609	0.59999695	0.5363265	0.47941262	0.42853833	0.38306272	0.34241288	0.30607673	0.27359649	0.24456299
6	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro Cuerpo "B"	0.418	92.9909593	0.79685698	0.71561182	0.64265018	0.5771275	0.5182853	0.46544248	0.41798736	0.37537062	0.33709896	0.30272936	0.27186398
7	La Piedad - Jiquilpan	Briseñas - Sahuayo	0.3468	97.9356301	0.63992234	0.57780645	0.52172001	0.47107776	0.42535125	0.38406331	0.3467831	0.31312161	0.28272756	0.2552838	0.23050395
8	La Piedad - Uruapan	La Piedad - Carapan	0.3551	101.242836	0.64223144	0.58182884	0.52710717	0.47753214	0.4326197	0.39193132	0.35506973	0.32167502	0.29142112	0.26401263	0.23918194
9	Quiroga - Tepalcatepec	Ario de Rosales - Tepalcatepec	0.4294	95.5955528	0.80427332	0.72439135	0.65244341	0.58764148	0.5292758	0.47670711	0.42935964	0.38671482	0.34830556	0.31371118	0.28255279
10	Morelia - Uruapan	Morelia - Patzcuaro	0.3238	52.6467517	1.01212278	0.83703001	0.69222752	0.57247521	0.47343953	0.39153658	0.32380248	0.26778608	0.22146028	0.18314863	0.15146472
11	Toluca - Morelia	Lim. Edos. Méx./Mich. - T. Huajumbaro	0.448	107.66171	0.78219184	0.71281114	0.64958453	0.59196614	0.53945852	0.49160835	0.44800251	0.40826452	0.37205131	0.33905022	0.30897634
12	Zihuatanejo - Playa Azul	Lim. Edos. Gro./Mich.	0.3465	67.4109545	0.8437793	0.72745135	0.627161	0.54069721	0.46615379	0.40188732	0.34648097	0.29871325	0.25753103	0.22202642	0.19141666
13	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	0.291	77.8684085	0.628845	0.55305808	0.48640482	0.42778445	0.37622887	0.33088665	0.29100897	0.25593725	0.2250923	0.1979647	0.17410646
14	Lázaro Cárdenas - Manzanillo	Lim. Edos. Mich./Col. - La Placita	0.3977	89.8976329	0.77524692	0.69363366	0.62061214	0.55527788	0.49682162	0.44451927	0.397723	0.35585315	0.3183911	0.28487283	0.25488316
15	Uruapan - Los Reyes	Uruapan - Los Reyes	0.3954	109.371651	0.6844086	0.62460768	0.57003192	0.52022478	0.4747696	0.4332861	0.39542727	0.3608764	0.32934444	0.30056762	0.27430521

Tabla 4.6. Valores de fricción de los caminos estudiados a velocidades de deslizamiento entre 0 y 100 km/h.

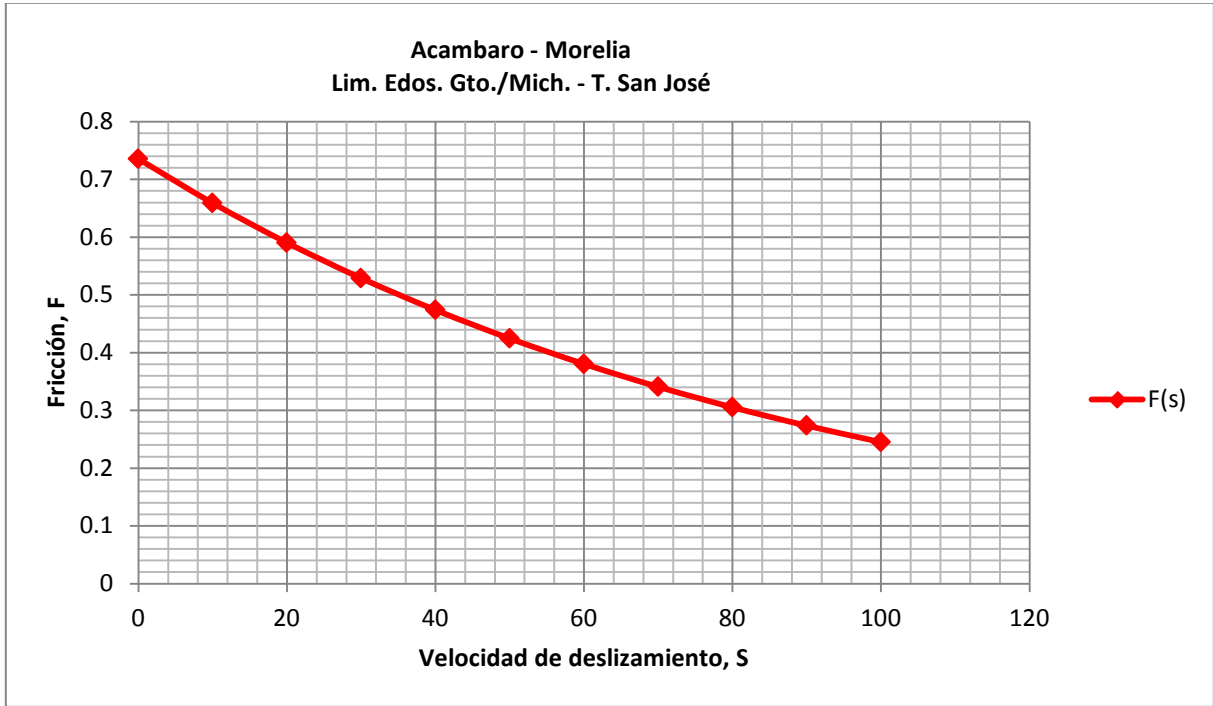


Figura 4. 1. Curva característica de fricción del camino Acambaro – Morelia, tramo: Lim. Edos. Gto./Mich. – T. San José.

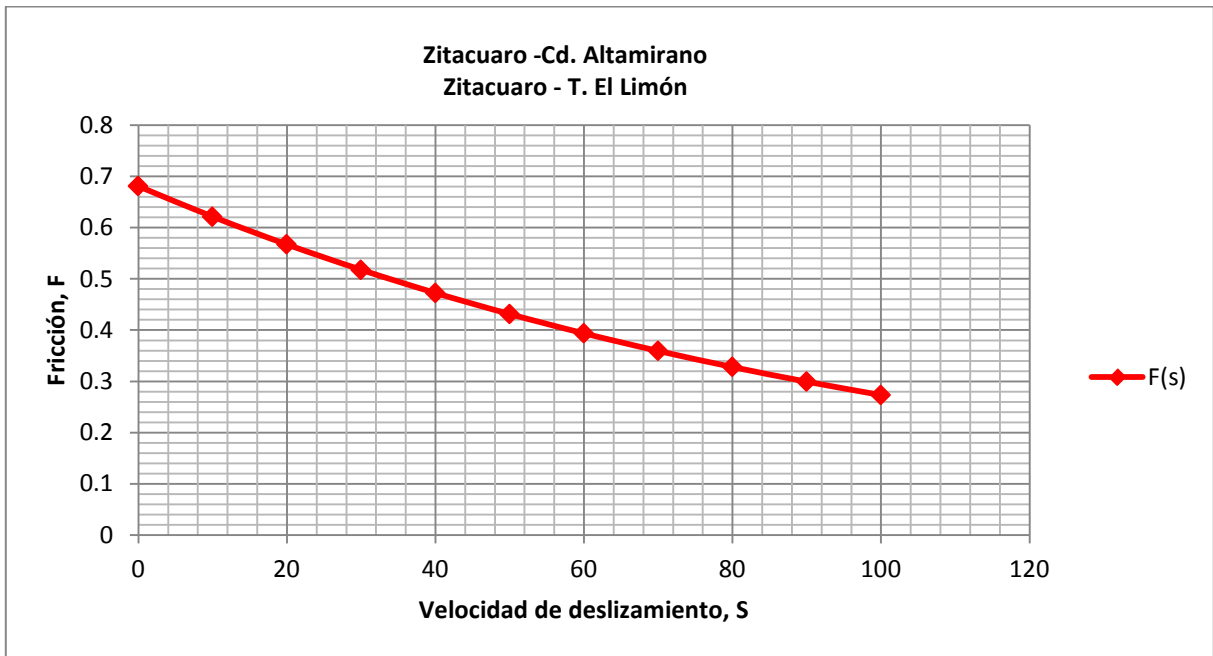


Figura 4. 2. Curva característica de fricción del camino Zitacuaro – Cd. Altamirano, tramo: Zitacuaro - T. El Limón.

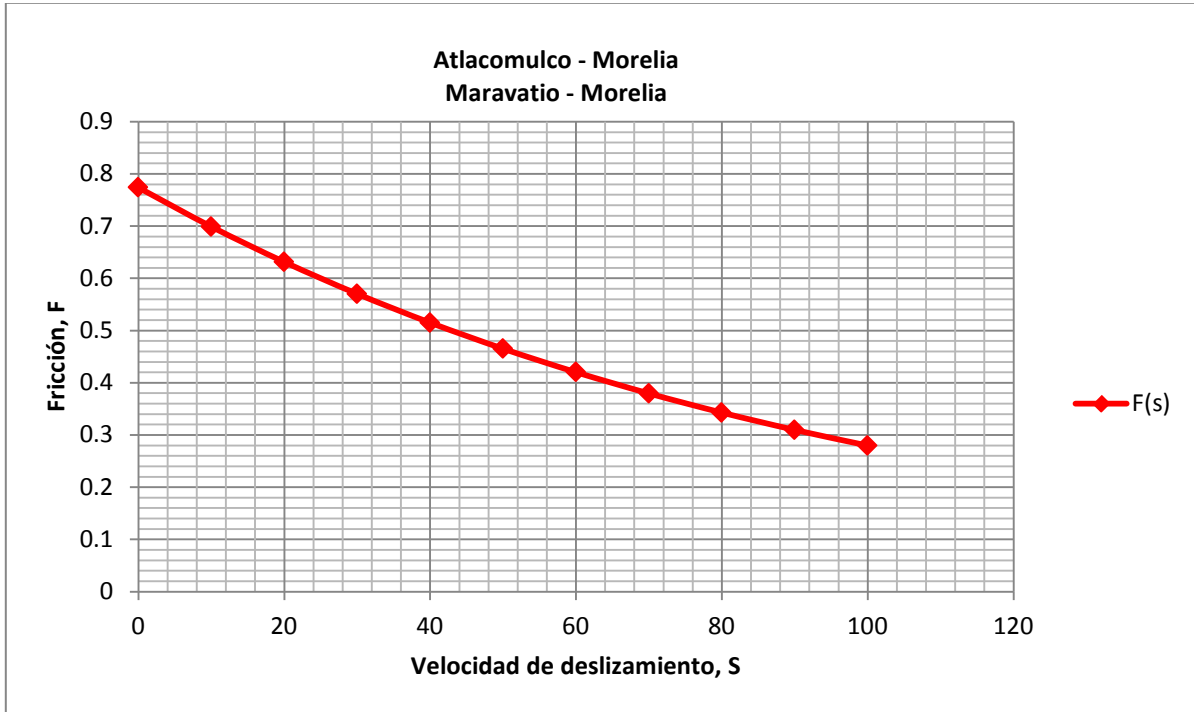


Figura 4. 3. Curva característica de fricción del camino Atacomulco – Morelia, tramo: Maravatio - Morelia.

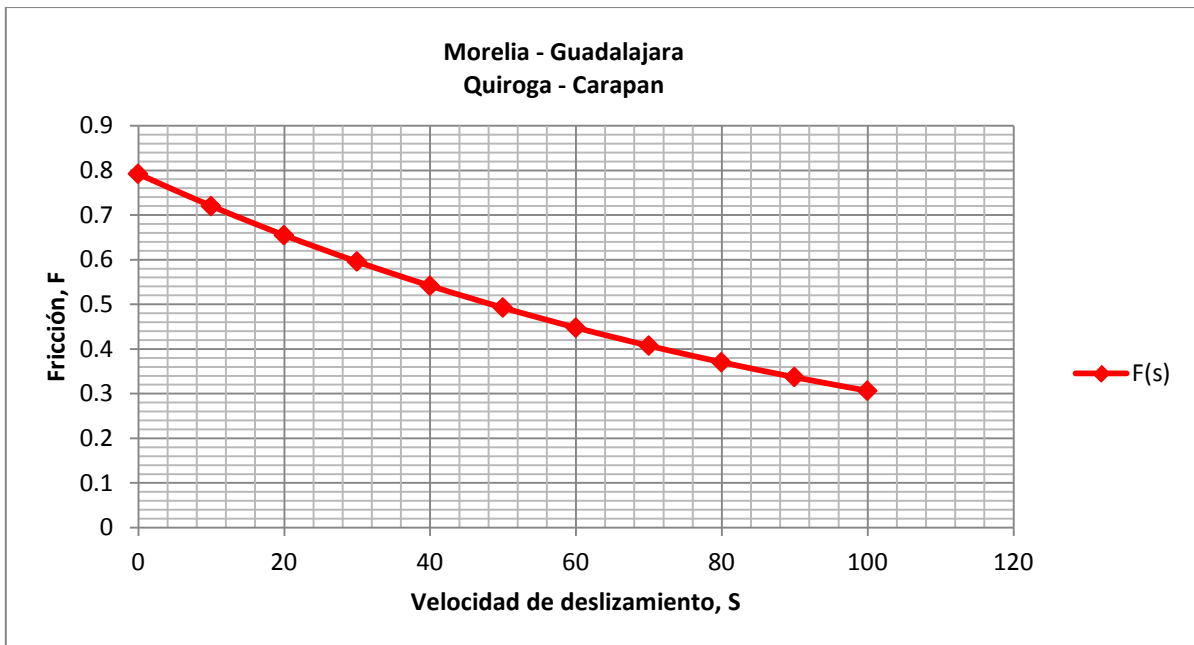


Figura 4. 4. Curva característica de fricción del camino Morelia – Guadalajara, tramo: Quiroga – Carapan.

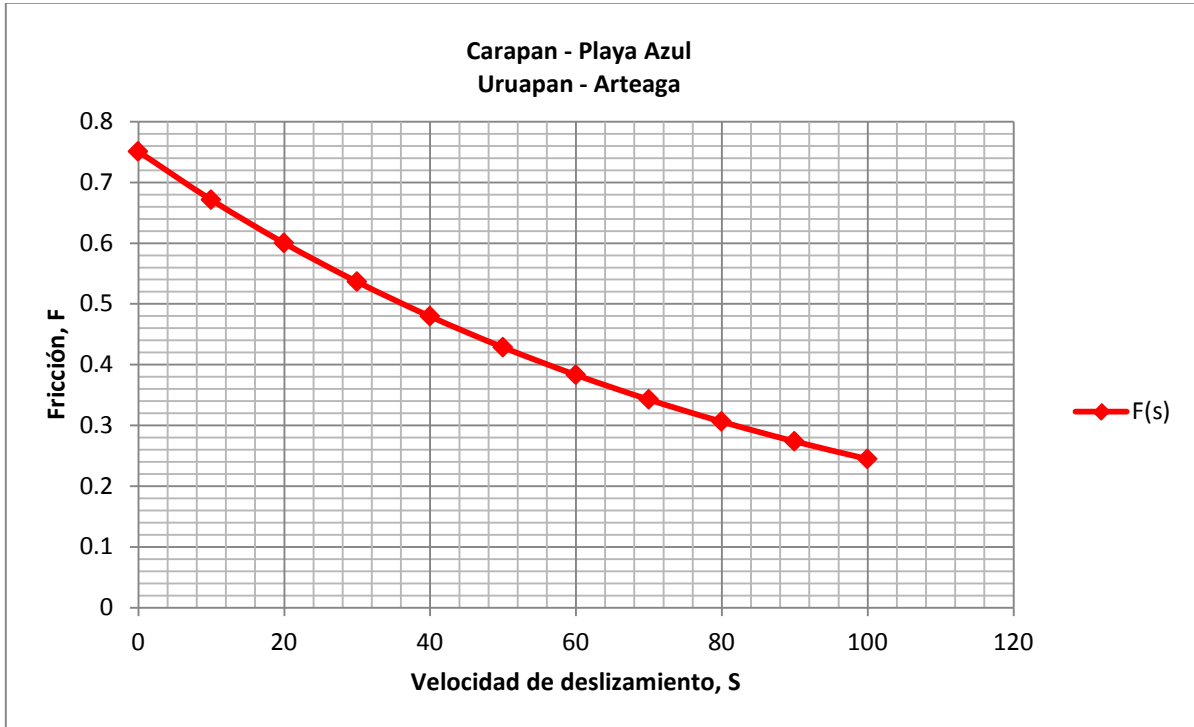


Figura 4. 5. Curva característica de fricción del camino Carapan – Playa Azul, tramo: Uruapan - Arteaga.

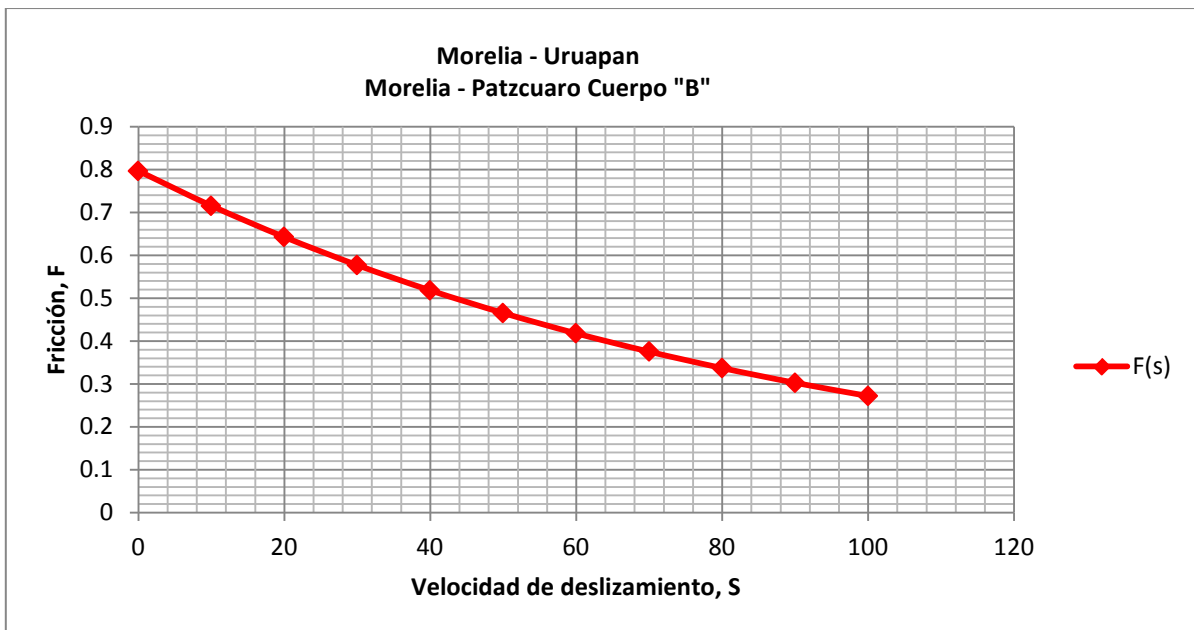


Figura 4. 6. Curva característica de fricción del camino Morelia – Uruapan, tramo: Morelia – Patzcuaro – Cuerpo “B”.

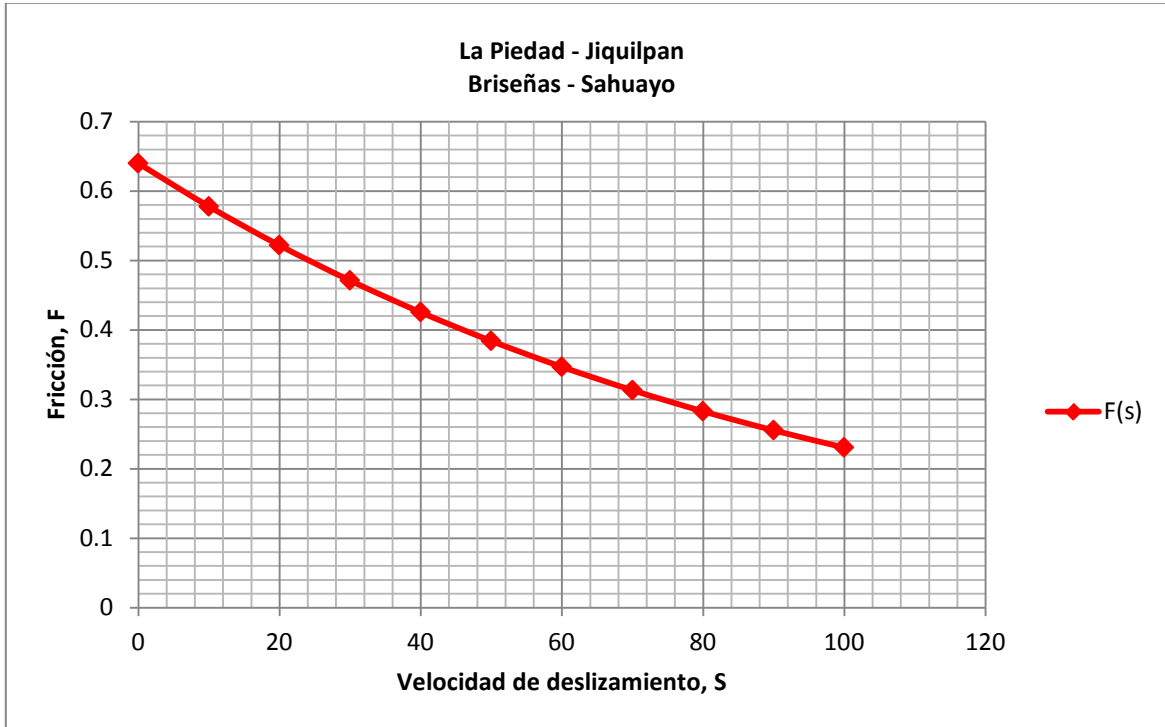


Figura 4. 7. Curva característica de fricción del camino La Piedad – Jiquilpan, tramo: Briseñas – Sahuayo.

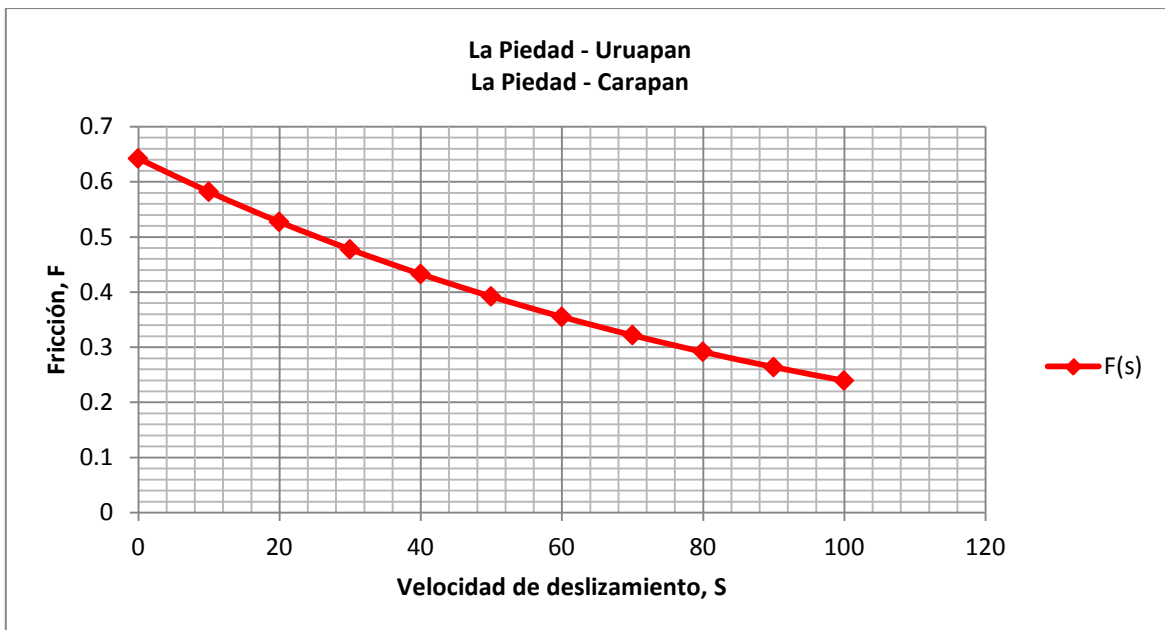


Figura 4. 8. Curva característica de fricción del camino La Piedad – Uruapan, tramo: La Piedad – Carapan.

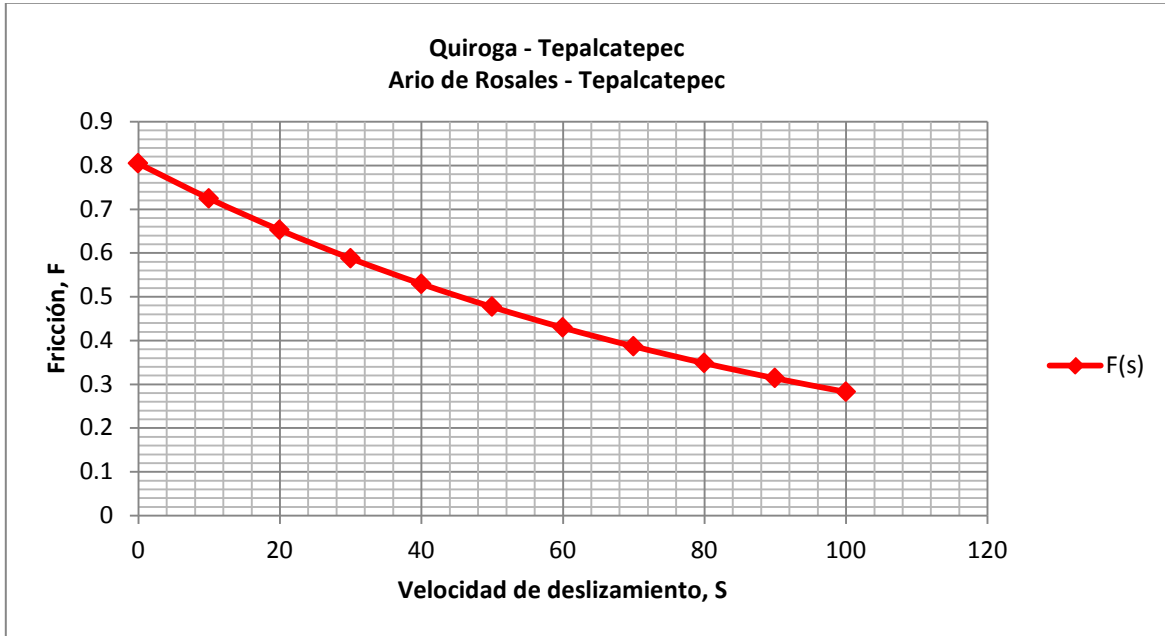


Figura 4. 9. Curva característica de fricción del camino Quiroga – Tepalcatepec, tramo: Ario de Rosales – Tepalcatepec.

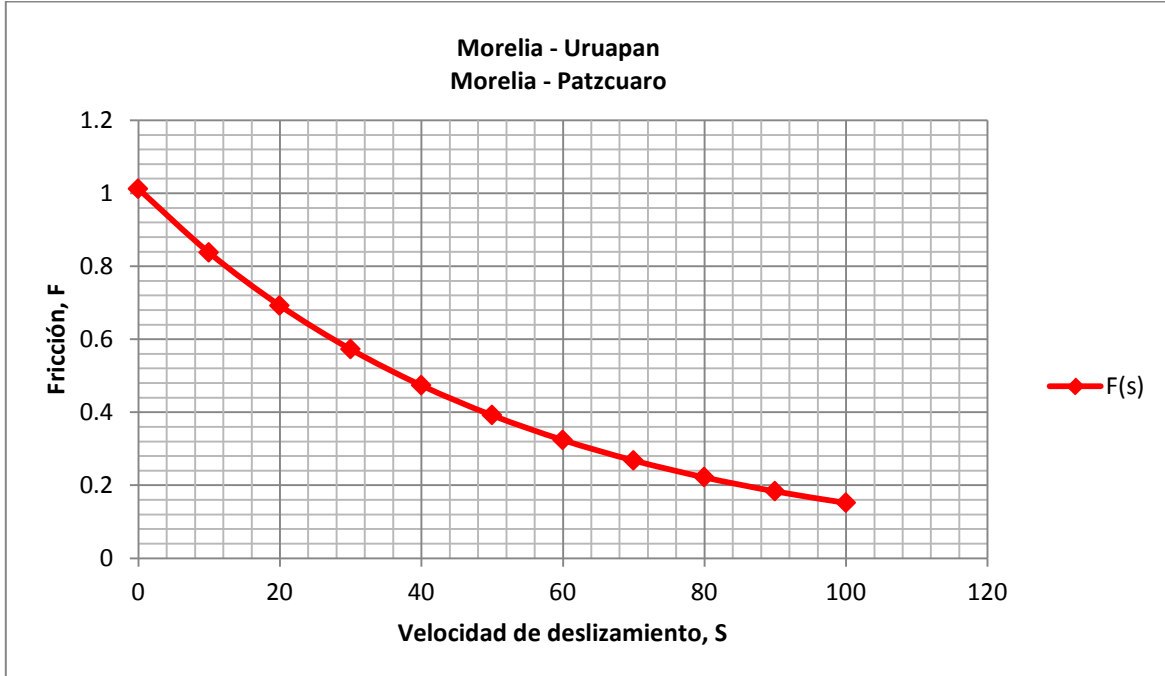


Figura 4. 10. Curva característica de fricción del camino Morelia – Patzcuaro, tramo: Morelia – Patzcuaro.

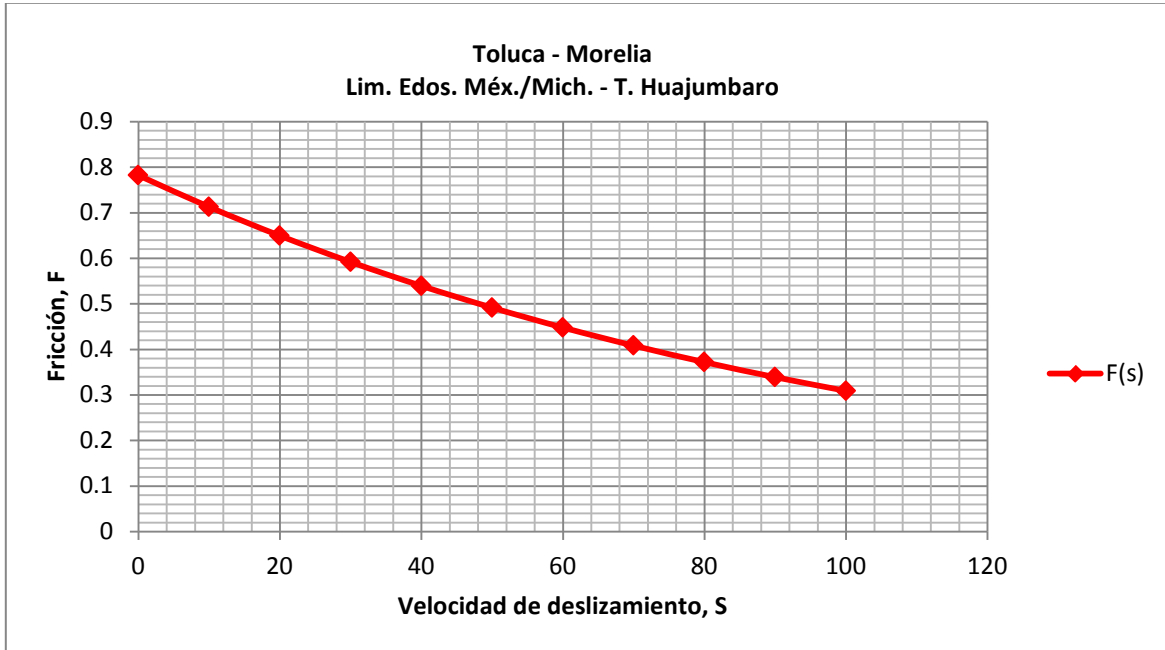


Figura 4. 11. Curva característica de fricción del camino Toluca – Morelia, tramo: Lim. Edos. Méx./Mich – T. huajumbaro.

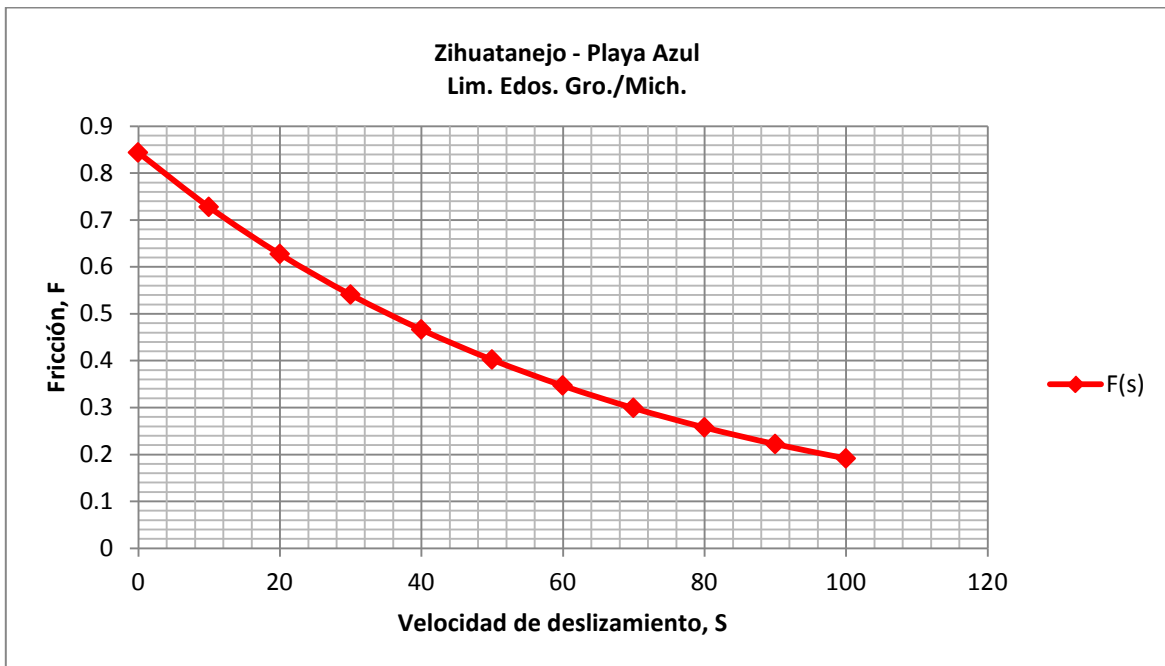


Figura 4. 12. Curva característica de fricción del camino Zihuatanejo – Playa Azul, tramo: Lim. Edos. Gro./Mich.

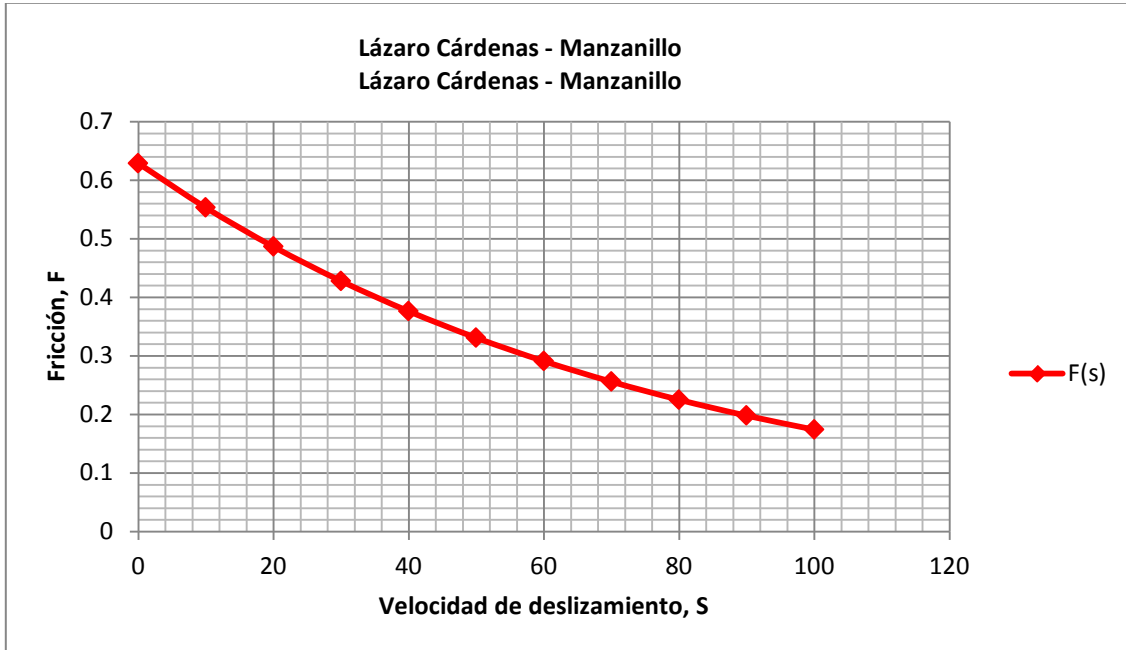


Figura 4. 13. Curva característica de fricción del camino Lázaro Cárdenas – Manzanillo, tramo: Lázaro Cárdenas – Manzanillo.

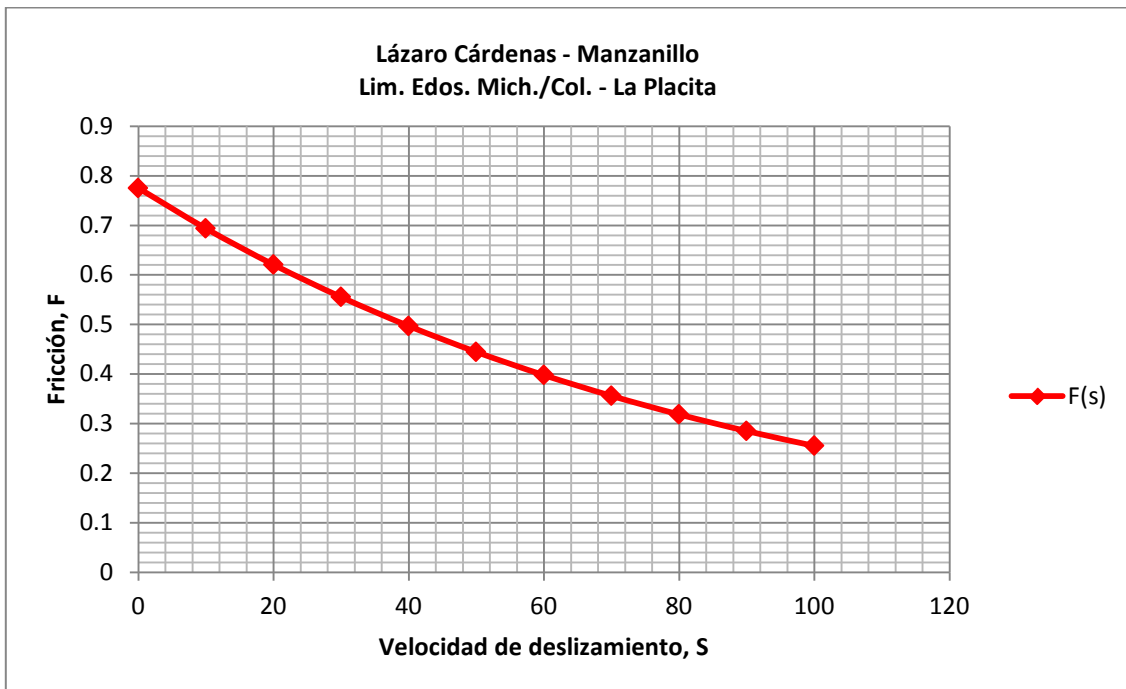


Figura 4. 14. Curva característica de fricción del camino Lázaro Cárdenas – Manzanillo, tramo: Lim. Edos. Mich./Col. La Placita.

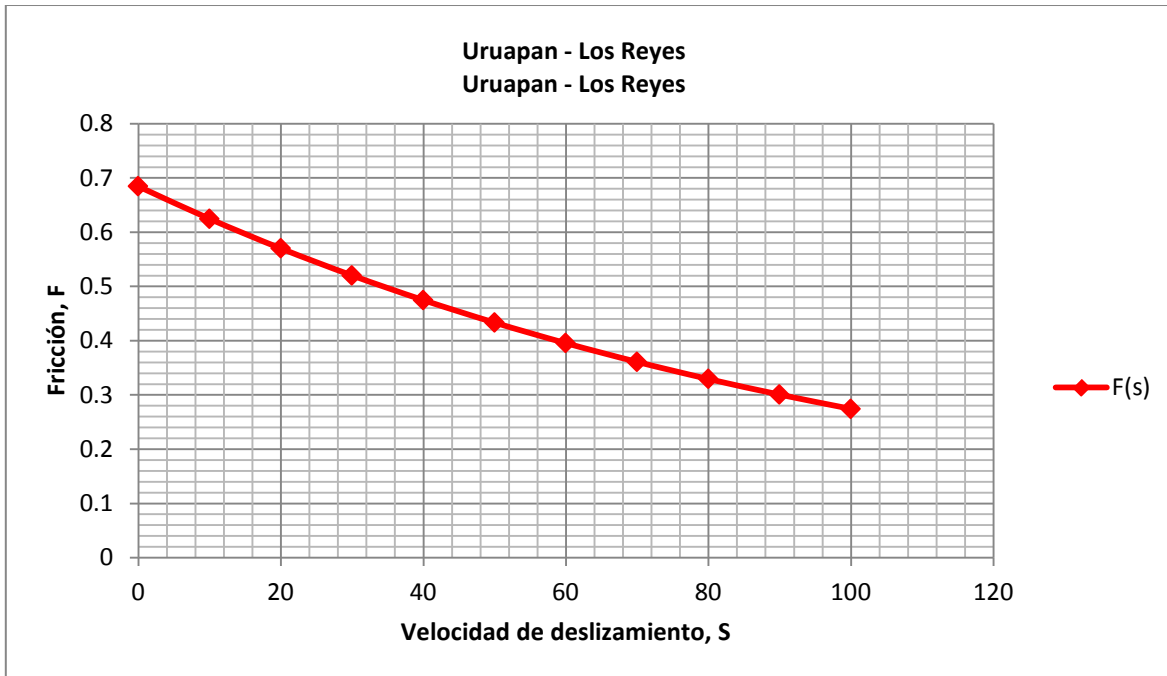


Figura 4. 15. Curva característica de fricción del camino Uruapan – Los Reyes, tramo: Uruapan – Los Reyes.

4.2. TEXTURA Y LA FRICCIÓN DESEABLES EN EL PAVIMENTO

Al considerar ciertos valores mínimos de fricción y textura de acuerdo a las necesidades de cada camino y principalmente por lo establecido en la normatividad de la SCT, es posible establecer niveles de aceptación o rechazo de fricción en los caminos. Para lograr establecer los rangos dentro de los cuales los valores de fricción pueden considerarse adecuados se utilizan diagramas que relacionan la textura con los valores de fricción medidos. Estos rangos o modelos de zonas pueden aplicarse para cualquier tipo de equipo usado en la medida de la textura o la fricción. La manera de establecer estos rangos consiste en ubicar en un diagrama una curva que defina la frontera de valores mínimos permisibles de fricción F y una línea T que defina el valor mínimo de textura recomendado. Figura 4.16.

La obtención de la grafica puede servir como apoyo antes de la construcción de los caminos y así poder proyectar superficies de rodamiento con la textura necesaria para

garantizar seguridad a la velocidad de operación de la carretera. Estas graficas además son útiles para definir las condiciones en que se encuentran los pavimentos en operación, de esta manera se comparan los valores y se identifica cuando se requiere de intervención mediante algún tipo de conservación para mejorar la resistencia a la fricción en los caminos.

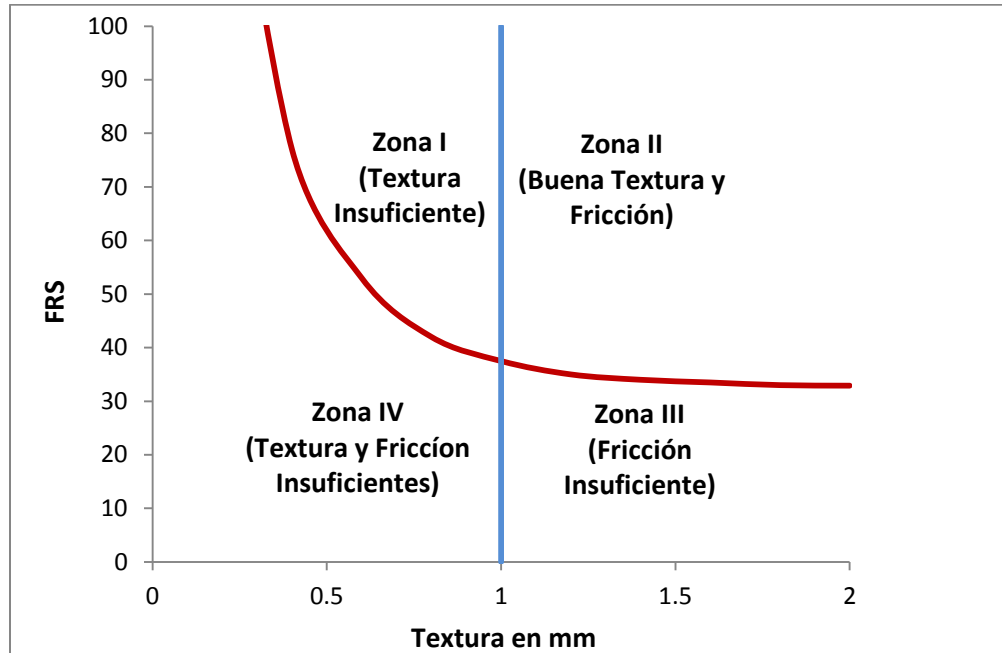


Figura 4.16. Zonas de aceptación y rechazo de fricción y macrotextura de pavimentos.

En la figura 4.16 se pueden identificar cuatro zonas que definen las condiciones en que puede encontrarse un pavimento. El primer cuadrante representa una superficie de pavimento en la que se requiere mejorar la macrotextura, este defecto es subsanable mediante la colocación de un riego de sello o una micro carpeta con el diseño adecuado tal que permita desalojar el agua de la superficie del pavimento en forma más rápida. El segundo cuadrante representa valores de fricción y textura aceptables según las necesidades del camino y es la condición en que todos los pavimentos deberían estar incluidos. El tercer cuadrante representa una deficiencia en la fricción, es recomendable en este punto mejorar la microtextura, esto podrá lograrse cambiando la calidad del material pétreo de la carpeta por alguno con mayor rugosidad. El cuarto cuadrante es la situación más desfavorable, esta parte de la gráfica muestra que tanto la textura como la fricción son insuficientes y es necesario mejorar ambas.

Para la definición de los valores mínimos de fricción (curva F) y de textura (línea T) es necesaria la intervención de los valores normados o propuestos por los administradores de los caminos en nuestro país. En nuestro caso la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su Normativa para la Infraestructura del Transporte especifica que el valor mínimo de fricción en pavimentos nuevos, reconstruidos o conservados sea siempre de 0.6, medido con el Mu-Meter a una velocidad de 75 km/h.

Ahora bien, aunque el valor de la fricción mínima requerida en los pavimentos mexicanos está bien definido, la textura por otra parte es un valor que la normativa mexicana no contempla en sus apartados, por tanto es prescindible de revisión.

Al no contar con un valor mínimo de textura establecido en nuestro país y para poder determinar las zonas de aceptación o rechazo de los pavimentos, se ha definido como valor mínimo de textura el que resulte de una velocidad de operación de 80 km/h.

Cuando hemos definido los valores mínimos de textura y fricción, se procede a determinar la curva F y la línea T, para lo cual se cuenta con dos ecuaciones:

1. $Tx_{\min} = \frac{Sp-a}{b}$
2. $FR_{\min} = \frac{(F60-A)}{\frac{S-60}{Be^{\bar{a}+bTx}}}$

Así sustituyendo en las ecuaciones los valores mínimos se tendrá que:

1. $Tx_{\min} = \frac{80-(-11.5981)}{113.6325}$

$$Tx_{\min} = .8060 \text{ mm}$$

2. $FR_{\min} = \frac{(F60-0.08670)}{\frac{19.41-60}{0.00708e^{-11.5981+113.6325Tx}}}$

$$FR_{\min} = \frac{(0.341 - 0.8670)}{0.00708e^{-11.5981+113.6325Tx}}$$

Al final graficando estos valores se pueden definir las zonas de aceptación o rechazo para los pavimentos construidos en México que se operen a un máximo de 80 km/h, es importante mencionar que la curva obtenida sería más exigente conforme se analicen velocidades de operación superiores.

En la Figura 4.17, se han incluido 15 puntos, estos corresponden a los valores de fricción y textura obtenidos para cada uno de los tramos estudiados. Puede observarse que la mayoría de los tramos cumplen con los valores mínimos. Solo 3 de los caminos se encuentran fuera del cuadrante de aceptación: el camino de Zihuatanejo - Playa Azul, tramo: Lim. Edos. Gro./Mich. (Dato 2) que se ubica en la zona 1 donde la textura se considera insuficiente para garantizar una buena resistencia al deslizamiento; y los caminos de Morelia – Uruapan, tramo:Morelia – Patzcuaro (Dato 1) y Lázaro Cárdenas – Manzanillo, tramo: Lázaro Cárdenas – Manzanillo (Dato3) cuyos resultados los colocansobre la zona IV la más desfavorable de la grafica siendo necesario aumentar tanto la textura como la fricción de estos caminospara proporcionar valores de fricción y textura tales que den seguridad a los usuarios que por ellos se desplazan.

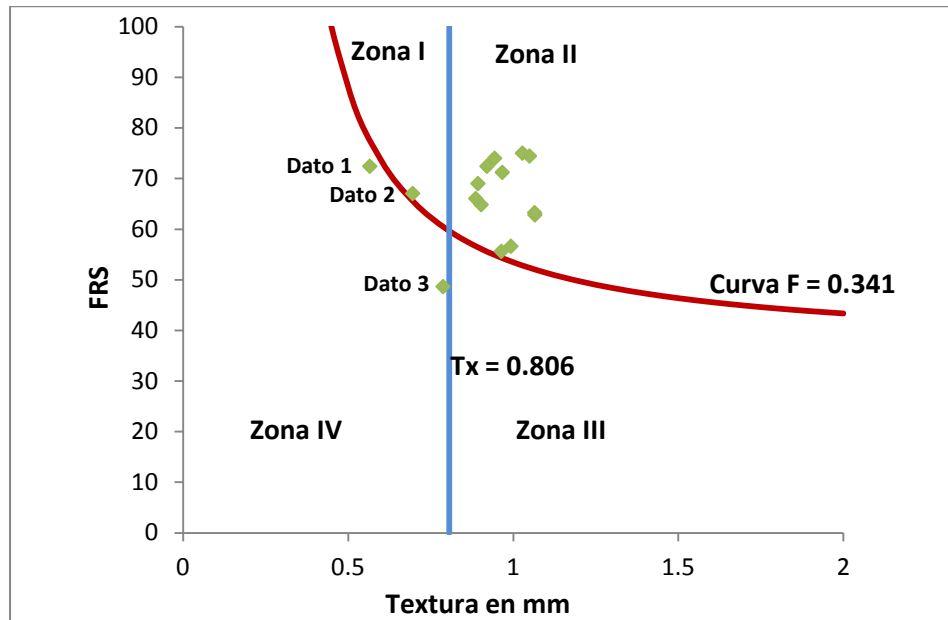


Figura 4.17. Representación de la curva de aceptación o rechazo para fricción una fricción mínima de 0.6 medida con el Mu-Meter y una velocidad de operación de 80 km/h.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIÓN

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar a los usuarios seguridad y comodidad al conducir, esto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda que lo solicite. En México estas dos características se miden a través de dos parámetros: el índice de perfil es una medida hasta cierto punto de la comodidad al circular por una vía y en lo que respecta a la seguridad de la carretera se exige únicamente el coeficiente de fricción medido a través del mu-meter, sin embargo y de acuerdo a estudios internacionales realizados (PIARC) un único valor de fricción no es representativo del estado superficial de una carretera ya que es necesario la medición de la textura para tener realmente un parámetro de se relacione con la seguridad en la vía.

Este estudio pretende ser un avance en la implementación del Índice de Fricción Internacional (IFI) en el país, el cual representa la gran ventaja de permitir la comparación entre los pavimentos empleados en cualquier país del mundo y por lo tanto, el intercambio de información entre los profesionales y las administraciones de carreteras.

En lo que respecta a los tramos en estudio del estado de Michoacán, se pudo determinar que aunque el coeficiente de fricción obtenido con el mu-meter estaba de acuerdo a la norma de la SCT, al obtener valores de textura y correlacionarlos a través de IFI se pudo determinar que algunos tramos presentaban problemas con la resistencia a la fricción, lo cual se demuestra en las curvas características de la fricción que se obtuvieron. Así mismo considerando los valores mínimos admisibles por la SCT se pudo obtener una gráfica de control de todos los tramos analizados, de esta gráfica de control se pueden obtener recomendaciones para las acciones de conservación necesarias en cada carretera.

Algunas recomendaciones son:

Respecto al coeficiente de rozamiento obtenido con el mu-meter es importante verificar la velocidad de operación ya que la velocidad recomendada internacionalmente es de 60 Km/h (75). De la misma manera la medición del parámetro tiene que realizarse posterior a los dos meses de puesta en operación la carretera y antes del año. Esto con la finalidad de

que el asfalto que envuelva a los agregados de la superficie haya disminuido y se pueda medir realmente la resistencia a la fricción de los agregados.

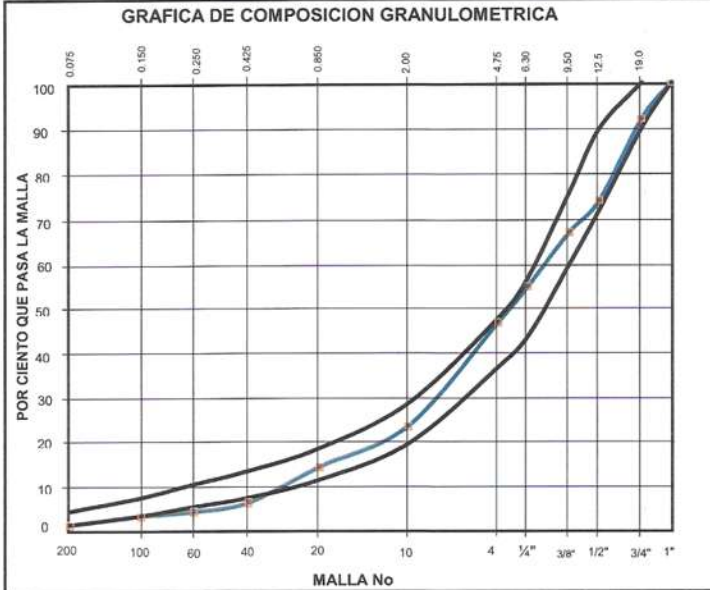
También debemos considerar la implementación de algún ensayo que mida la textura del pavimento, fundamental en la caracterización de la resistencia al deslizamiento de cada camino, la cual actualmente no se considera dentro de la normativa de nuestro país, además es recomendable que esta además sea medida dentro de los 15 días posteriores a la puesta en servicio

Respecto al cálculo del IFI, se usaron algunos valores propuestos por el estudio de PIARC, sin embargo es deseable que cada equipo pueda tener sus propios parámetros de calibración para un cálculo más exacto, por esto se recomienda además una campaña para lograr la obtención de las constantes de cada equipo en operación en México lo que requiere de una gran coordinación entre los organismos normativos y los constructores de caminos en el país.

ANEXOS

ANEXO 1: PRUEBAS DE LABORATORIO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO.

INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO				
OBRA: <u>CARRETERA: ACAMBARO - MORELIA</u>		ENSAYE No. <u>713</u>		
LOCALIZACION: <u>1 TRAMO: LIMS. EDOS. GTO./MICH. - T. SAN JOSÉ</u>		FECHA RECIBIDO <u>22-Jun-10</u>		
UBICACIÓN: <u>SUBTRAMO: KM. 47+000 AL KM. 57+000</u>		FECHA DE INFORME <u>28-Jun-10</u>		
DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL: <u>BASALTO GRIS SANO</u> PARA USARSE EN: <u>CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO</u>			
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <u>CRIBADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"</u>			
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: <u>CAPA TENDIDA KM. 49+600 LADO IZQ.</u>			
	UBICACION DEL BANCO (S) <u>ABCD CHUPICUARO, GTO.</u>			
VIAJE No: _____ TENDIDO EN Km: _____ AL Km: _____ CARRIL: _____ FRANJA: _____		TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA _____ EN EL TENDIDO _____ AL INICIAR LA COMPACTACION _____		
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO	P.E. SECO SUELTO, kg/m ³			
	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q/PASA	DEL PROJ.
		Núm	25.00	100
		"	19.00	92
		"	12.50	74
		"	9.500	67
		"	6.300	55
		"	4.750	47
		"	2.000	24
		"	0.850	15
		"	0.425	7
		"	0.250	5
"	0.150	4		
"	0.075	2		
DENSIDAD gr/cm ³		2.56		
ABSORCION %		1.20		
DESGASTE %		13.5		
% DE TRITURACION		100		
PART. ALARGADAS %		13.5	35 MAX.	
PART. LAJEADAS %		10.8	35 MAX.	
EQUIV. DE ARENA %		55.9	55 MIN.	
CONTRAC. LINEAL %		1.7	2 MAX.	
CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO		
CONTENIDO ASFALTO %		5.60	5.7	
ADITIVO USADO	MARCA			
	TIPO			
	CANTIDAD, %			
AFINIDAD				
CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION		
P.E. kg/m ³	2230			
ESTABILIDAD kg	1009	813 MIN.		
FLUJO mm	2.45	2 A 3.5		
VACIOS %	4.04	3 A 5		
V.A.M. %	15.52	14 MIN.		
CARACTERISTICAS DEL ASFALTO				
TIPO	AC-20 MODIFICADO			
PENETRACION				
VISCOSIDAD				
TEMP RECOM				
TEMP APLIC				
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES				
LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEZCLA ANALIZADA, CUMPLEN CON NORMAS S.C.T. PARA USARSE EN CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO.				
VACIOS LLENADOS POR EL ASFALTO = 74.03 (65-75 NORMA)				



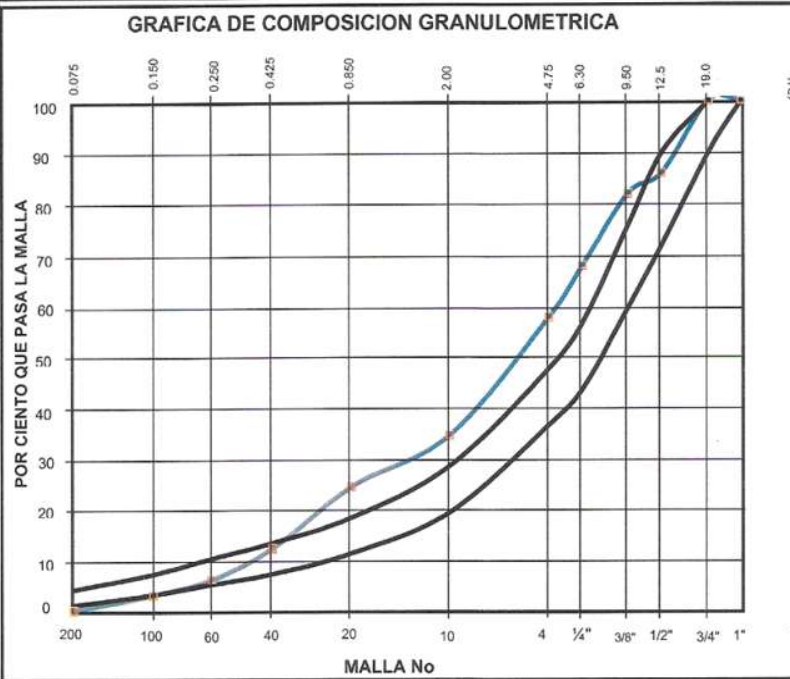
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA: <u>CARRETERA: ZITACUARO - CD. ALTAMIRANO</u>	ENSAYE No. <u>561</u>
LOCALIZACION: <u>TRAMO: ZITACUARO - T. EL LIMON</u>	FECHA RECIBIDO <u>07-Jun-10</u>
UBICACION: <u>SUBTRAMO: KM. 65+000 - KM. 75+000</u>	FECHA DE INFORME <u>26-Jun-10</u>

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL: <u>BASALTO GRIS SANO</u> PARA USARSE EN: <u>CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO</u>
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <u>TRITURADO Y CRIBADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"</u>
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: <u>CAPA TENDIDA KM. 65+500 FRANJA IZQUIERDA</u>
	UBICACION DEL BANCO (S) _____

VIAJE No: _____	TENDIDO EN Km: _____	AL Km: _____	CARRIL: <u>IZQ.</u>	FRANJA: _____
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA _____		EN EL TENDIDO _____		AL INICIAR LA COMPACTACION _____

P.E. SECO SUELTO, kg/m³					
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q'PASA	DEL PROY.	
		Núm	25.00	100	
		"	19.00	100	
		"	12.50	86	
		"	9.500	82	
		"	6.300	68	
		"	4.750	58	
		"	2.000	35	
		"	0.850	25	
		"	0.425	13	
		"	0.250	7	
"	0.150	4			
"	0.075	1			
DENSIDAD gr/cm³		2.50			
ABSORCION %		1.96			
DESGASTE %		19.2			
% DE TRITURACION					
PART. ALARGADAS %		14.5	35 MAX.		
PART. LAJADAS %		11.9	35 MAX.		
EQUIV. DE ARENA %		61.1	50 MIN.		
CONTRAC. LINEAL %		0.0	2 MAX.		



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %		4.0	5.8	P.E. kg/m³	2087	TIPO	
ADITIVO USADO	MARCA			ESTABILIDAD kg	966	813 MIN.	PENETRACION
	TIPO			FLUJO mm	2.30	2 A 3.5	VISCOSIDAD
	CANTIDAD, %			VACIOS %	8.60	3 A 5	TEMP RECOM
AFINIDAD				V.A.M. %	16.39	14 MIN.	TEMP APLIC

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEZCLA ASFALTICA LOS VACIOS, VAF Y SUSECION GRANULOMETRICA NO CUMPLEN CON NORMAS S.C.T. PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO. CONTENIDO DE ASFALTO BAJO CON RESPECTO AL DEL DISEÑO ENTREGADO.

VAF = 47.56 (NORMA 65 - 75)

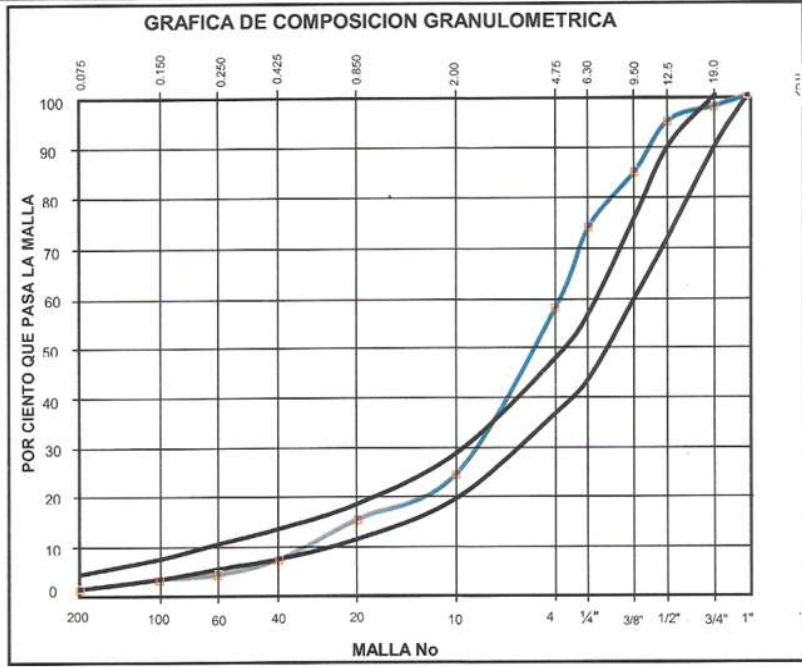
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA: <u>CARRETERA: ATLACOMULCO - MORELIA</u>	ENSAYE No. <u>776</u>
LOCALIZACION: <u>TRAMO: MARAVATIO - MORELIA</u>	FECHA RECIBIDO <u>25-Jun-10</u>
UBICACIÓN: <u>SUBTRAMO: KM 127+000 AL KM. 134+000</u>	FECHA DE INFORME <u>28-Jun-10</u>

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL: <u>BASALTO GRIS SANO</u> PARA USARSE EN: <u>CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO</u>
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <u>TRITURADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4" A FINOS</u>
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: <u>CAPA TENDIDA EN KM. 132+800 FRANJA DERECHA</u>
	UBICACION DEL BANCO (S) _____

VIAJE No: _____	TENDIDO EN Km: _____	AL Km: _____	CUERPO: _____	FRANJA: _____
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA _____		EN EL TENDIDO _____		AL INICIAR LA COMPACTACION _____

P.E. SECO SUELTO, kg/m ³				
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	MALLAS	% Q'PASA DEL PROJ.	
		Núm	25.00	100
		"	19.00	98
		"	12.50	95
		"	9.500	85
		"	6.300	74
		"	4.750	58
		"	2.000	25
		"	0.850	16
		"	0.425	8
		"	0.250	5
		"	0.150	4
		"	0.075	2
DENSIDAD gr/cm ³				
ABSORCIÓN %				
DESGASTE %				
% DE TRITURACION				
PART. ALARGADAS %			35 MAX.	
PART. LAJEADAS %			35 MAX.	
EQUIV. DE ARENA %			55 MIN.	
CONTRAC. LINEAL %			2 MAX.	



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %		5.50	5.5	P.E. kg/m ³	2194	TIPO	
ADITIVO USADO	MARCA			ESTABILIDAD kg	1014	PENETRACION	
	TIPO			FLUJO mm	3.23	VISCOSIDAD	
	CANTIDAD, %			VACIOS %	4.00	TEMP RECOM	
AFINIDAD				V.A.M. %	15.11	14 MIN.	TEMP APLIC

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

VACIOS LLENADOS POR EL ASFALTO (VAF) = 73.61 (65-75 NORMA)

LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ANALIZADA A EXCEPCION DE LA SUSECION GRANULOMETRICA, LA CUAL ESTA FUERA DE LA ZONA, LOS DEMAS CONCEPTOS ESTAN DENTRO DE NORMAS.

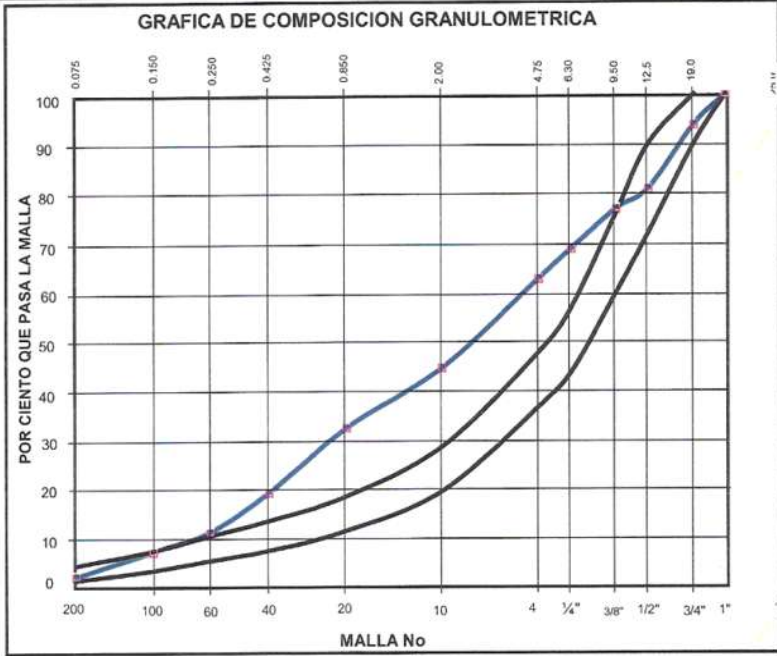
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA:	CARRETERA: MORELIA - GUADALAJARA	ENSAYE No.	199
LOCALIZACION:	TRAMO: QUIROGA - CARAPAN	FECHA RECIBIDO	28-Abr-10
UBICACIÓN:	SUBTRAMO: KM 50+000 AL KM. 60+000	FECHA DE INFORME	30-Abr-10

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	BASALTO GRIS SANO	PARA USARSE EN:	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4" A FINOS		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	CAPA TENDIDA EN KM. 55+100 LADO IZQUIERDO		
	UBICACION DEL BANCO (S)			

VIAJE No:	TENDIDO EN Km:	AL Km:	CARRIL:	IZQ.	FRANJA:
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA		EN EL TENDIDO		AL INICIAR LA COMPACTACION	

P. E. SECO SUELTO, kg/m³				
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PETREO	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q PASA DEL PROJ.	
		Núm	25.00	100
		"	19.00	94
		"	12.50	81
		"	9.500	77
		"	6.300	69
		"	4.750	63
		"	2.000	45
		"	0.850	33
		"	0.425	20
		"	0.250	12
		"	0.150	8
"	0.075	3		
DENSIDAD gr/cm³				
ABSORCION %				
DESGASTE %				
% DE TRITURACION				
PART. ALARGADAS %			35 MAX.	
PART. LAJEADAS %			35 MAX.	
EQUIV. DE ARENA %			55 MIN.	
CONTRAC. LINEAL %			2 MAX.	



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO
CONTENIDO ASFALTO %	6.70	6.5
ADITIVO USADO	MARCA	
	TIPO	
	CANTIDAD, %	
AFINIDAD		

CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION
P.E. kg/m³	2178	
ESTABILIDAD kg	1452	813 MIN.
FLUJO mm	2.31	2 A 3.5
VACIOS %	4.72	3 A 5
V.A.M. %	18.01	14 MIN.

CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
TIPO	
PENETRACION	
VISCOSIDAD	
TEMP RECOM	
TEMP APLIC	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

EL MATERIAL UTILIZADO EN LA ELABORACION DE CARPETA ASFALTICA NO CUMPLE CON LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ESPECIFICADA

VACIOS LLENADOS POR EL ASFALTO = 73.91 (65-75 NORMA)

INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA:	CARRETERA: CARAPAN - PLAYA AZUL	ENSAYE No.	19-A
LOCALIZACION:	TRAMO: URUAPAN-ARTEAGA	FECHA RECIBIDO	05-Abr-10
UBICACION:	SUBTRAMO: KM. 186+000 - KM. 195+000	FECHA DE INFORME	12-Abr-10

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	BASALTO GRIS SANO	PARA USARSE EN:	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURADO Y CRIBADO A TAMAÑO MÁXIMO DE 3/4"		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	CARPETA ASFALTICA EN LA OBRA		
	UBICACION DEL BANCO (S)			

VIAJE No:	TENDIDO EN Km:	187+000	AL Km:	187+500	CARRIL:	IZQ.	FRANJA:	
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA		EN EL TENDIDO		AL INICIAR LA COMPACTACION				

P.E. SECO SUELTO, kg/m ³					
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PETREO	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q'PASA	DEL PROJ.	
		Núm	25.00	100	
		"	19.00	100	
		"	12.50	88	
		"	9.500	77	
		"	6.300	57	
		"	4.750	51	
		"	2.000	34	
		"	0.850	25	
		"	0.425	15	
		"	0.250	10	
	"	0.150	7		
	"	0.075	3		
DENSIDAD gr/cm ³		2.56			
ABSORCION %		1.95			
DESGASTE %		13.5			
% DE TRITURACION		100			
PART. ALARGADAS %		21.8		35 MAX.	
PART. LAJEADAS %		23.7		35 MAX.	
EQUIV. DE ARENA %		61.4		50 MIN.	
CONTRAC. LINEAL %		0.0		2 MAX.	



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %		5.50	6.3	P.E. kg/m ³	2285	2257	TIPO
ADITIVO USADO	MARCA			ESTABILIDAD kg	1266	813 MIN.	PENETRACION
	TIPO			FLUJO mm	2.79	2 A 3.5	VISCOSIDAD
	CANTIDAD, %			VACIOS %	3.85	3 A 5	TEMP RECOM
AFINIDAD				V.A.M. %	15.41	14 MIN.	TEMP APLIC

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: LA MEZCLA ANALIZADA PRESENTA LA SUSECION GRANULOMETRICA CON DEFICIENCIAS, LAS DEMAS CARACTERÍSTICAS ESTAN DENTRO DE NORMAS S.C.T. PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO. EL CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO OBTENIDO ESTA ABAJO DEL VALOR DE DISEÑO MARSHALL ENTREGADO.

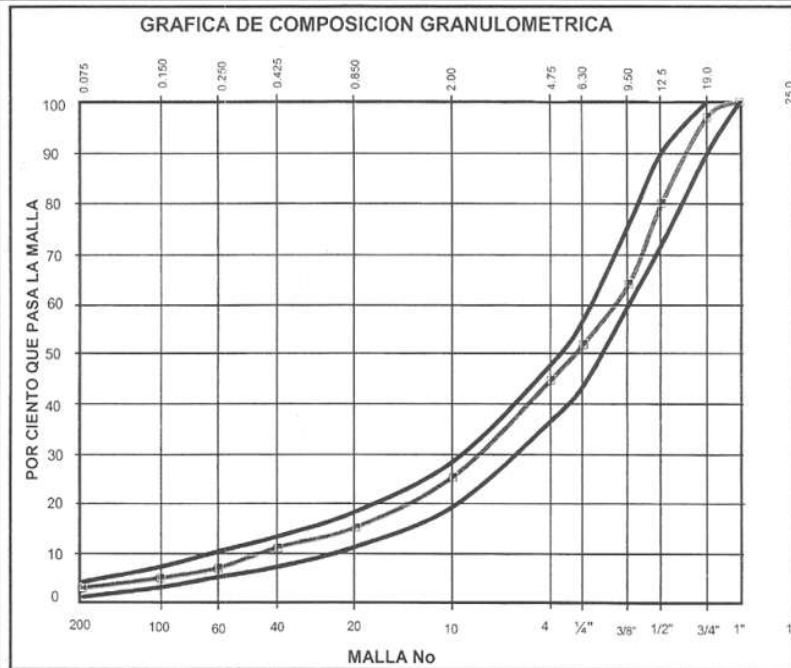
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA:	CARRETERA: MORELIA - URUAPAN	ENSAYE No.	61
LOCALIZACION:	TRAMO: MORELIA - PATZCUARO CUERPO (B)	FECHA RECIBIDO	05-Abr-10
UBICACION:	SUBTRAMO: KM. 3+000 A KM. 13+000	FECHA DE INFORME	08-Abr-10

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	BASALTO GRIS SANO	PARA USARSE EN:	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURADO Y CRIBADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	BANDA TRANSPORTADORA ANTES DE ENTRAR AL SECADOR		
	UBICACION DEL BANCO (S)	BANCO EL COLEGIO Y BANCO JOYITAS.		

VIAJE No:	TENDIDO EN Km:	AL Km:	CUERPO:	FRANJA:
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA		EN EL TENDIDO		AL INICIAR LA COMPACTACION

P. E. SECO SUELTO, kg/m ³		1615			
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q'PASA	DEL PROY.	
		Núm	25,00	100	
		"	19,00	97	
		"	12,50	80	
		"	9,500	64	
		"	6,300	52	
		"	4,750	45	
		"	2,000	26	
		"	0,850	16	
		"	0,425	12	
		"	0,250	8	
		"	0,150	6	
		"	0,075	4	
DENSIDAD gr/cm ³		2,51			
ABSORCION %		1,97			
DESGASTE %		13,1			
% DE TRITURACION		100			
PART. ALARGADAS %		22,1	35 MAX.		
PART. LAJEADAS %		23,7	35 MAX.		
EQUIV. DE ARENA %		60,4	55 MIN.		
CONTRAC. LINEAL %		0,0	2 MAX.		



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %			P.E. kg/m ³			TIPO	
ADITIVO USADO	MARCA		ESTABILIDAD kg		813 MIN.	PENETRACION	
	TIPO		FLUJO mm		2 A 3.5	VISCOSIDAD	
	CANTIDAD, %		VACIOS %		3 A 5	TEMP RECOM	
AFINIDAD			V.A.M. %		14 MIN.	TEMP APLIC	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL AGREGADO PETREO, CUMPLEN CON NORMAS S.C.T. PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO.

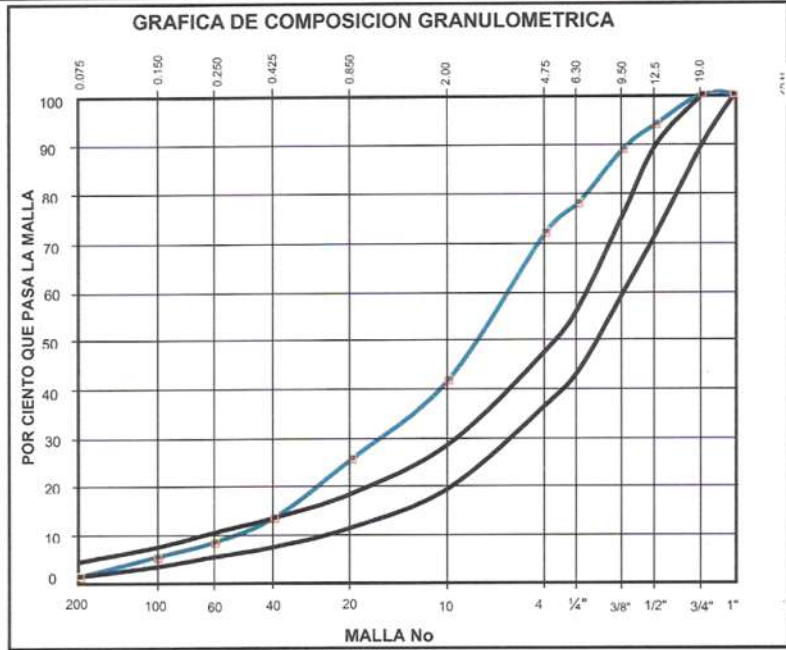
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA:	CARRETERA: LA PIEDAD - JIQUILPAN	ENSAYE No.	548
LOCALIZACIÓN:	1 TRAMO: BRISEÑAS SAHUAYO	FECHA RECIBIDO	04-Jun-10
UBICACIÓN:	SUBTRAMO: KM 6+950 AL KM. 29+000	FECHA DE INFORME	10-Jun-10

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	BASALTO GRIS SANO	PARA USARSE EN:	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURADO Y CRIBADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	CAPA TENDIDA KM. 20+200 LADO DERECHO		
	UBICACION DEL BANCO (S)			

VIAJE No:	TENDIDO EN Km:	AL Km:	CARRIL:	FRANJA:
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA		EN EL TENDIDO		AL INICIAR LA COMPACTACION

P.E. SECO SUELTO, kg/m ³				
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PETREO COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q'PASA	DEL PROY.	
	Núm	25.00	100	
	"	19.00	100	
	"	12.50	94	
	"	9.500	89	
	"	6.300	78	
	"	4.750	72	
	"	2.000	42	
	"	0.850	26	
	"	0.425	14	
	"	0.250	9	
"	0.150	6		
"	0.075	2		
DENSIDAD gr/cm ³				
ABSORCION %				
DESGASTE %				
% DE TRITURACION				
PART. ALARGADAS %			35 MAX.	
PART. LAJEADAS %			35 MAX.	
EQUIV. DE ARENA %			55 MIN.	
CONTRAC. LINEAL %			2 MAX.	



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %	5.60		P.E. kg/m ³	2215		TIPO	AC-20 MODIFICADO
ADITIVO USADO	MARCA		ESTABILIDAD kg	1036	813 MIN.	PENETRACION	
	TIPO		FLUJO mm	2.54	2 A 3.5	VISCOSIDAD	
	CANTIDAD, %		VACIOS %	4.72	3 A 5	TEMP RECOM	
AFINIDAD			V.A.M. %	16.12	14 MIN.	TEMP APLIC	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CUMPLEN CON NORMAS S.C.T. PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO.

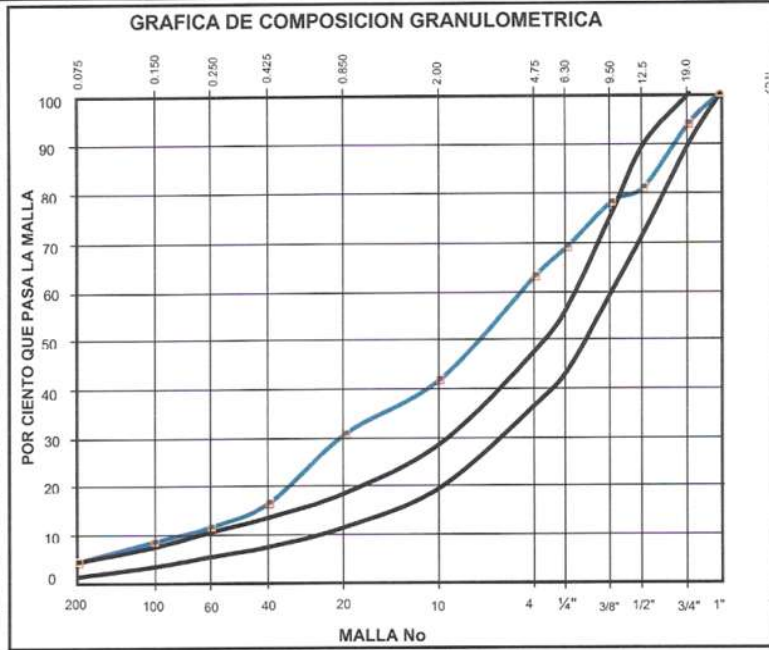
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA: <u>CARRETERA: LA PIEDAD - URUPAN</u>	ENSAYE No. <u>616</u>
LOCALIZACION: <u>TRAMO: LA PIEDAD - CARAPAN</u>	FECHA RECIBIDO <u>11-Jun-10</u>
UBICACION: <u>SUBTRAMO KM. 45+000 - KM. 52+000</u>	FECHA DE INFORME <u>14-Jun-10</u>

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL: <u>BASALTO GRIS SANO</u> PARA USARSE EN: <u>CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO</u>
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <u>TRITURADO A TAMAÑO MÁXIMO DE 3/4" A FINOS</u>
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: <u>CAPA TENDIDA EN KM. 51+980 FRANJA DERECHA</u>
	UBICACION DEL BANCO (S) _____

VIAJE No: _____	TENDIDO EN Km: _____	AL Km: _____	CARRIL: _____	FRANJA: _____
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA _____		EN EL TENDIDO _____		AL INICIAR LA COMPACTACION _____

P.E. SECO SUELTO, kg/m ³			
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	MALLAS	% Q PASA
		Núm	25.00
		"	19.00
		"	12.50
		"	9.500
		"	6.300
		"	4.750
		"	2.000
		"	0.850
		"	0.425
"	0.250		
"	0.150		
"	0.075		
DENSIDAD gr/cm ³			
ABSORCIÓN %			
DESGASTE %			
% DE TRITURACION			
PART. ALARGADAS %			35 MAX.
PART. LAJEADAS %			35 MAX.
EQUIV. DE ARENA %			55 MIN.
CONTRAC. LINEAL %			2 MAX.



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %		5.80	P.E. kg/m ³	2237		TIPO	AC-20 MODIFICADO
ADITIVO USADO	MARCA		ESTABILIDAD kg	1494	813 MIN.	PENETRACION	
	TIPO		FLUJO mm	2.70	2 A 3.5	VISCOSIDAD	
	CANTIDAD, %		VACIOS %	3.87	3 A 5	TEMP RECOM	
AFINIDAD			V.A.M. %	15.77	14 MIN.	TEMP APLIC	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

LA MUESTRA ANALIZADA PRESENTA DEFICIENCIAS GRANULOMETRICAS, LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS.

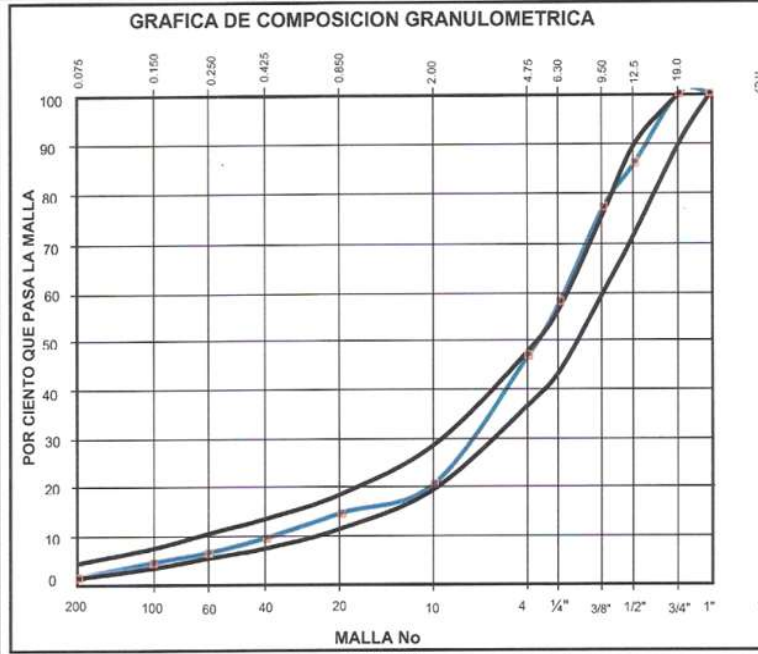
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA:	CARRETERA:	CARRETERA: QUIROGA - TEPALCATEPEC	ENSAYE No.	594
LOCALIZACION:	1 TRAMO:	TRAMO: ARIO DE ROSALES - TEPALCATEPEC	FECHA RECIBIDO	09-Jun-10
UBICACION:	SUBTRAMO:	SUBTRAMO: KM 149+000 AL KM. 149+000	FECHA DE INFORME	15-Jun-10

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	BASALTO GRIS SANO	PARA USARSE EN:	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURADO Y CRIBADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	CAPA TENDIDA KM.146+450 LADO DERECHO		
	UBICACION DEL BANCO (S)	BANCO LA PARCELA CARR. NVA. ITALIA- APATZINGAN KM 9+000 DESV. IZQ. A 100M		

VIAJE No:	TENDIDO EN Km:	AL Km:	CARRIL:	FRANJA:
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA		EN EL TENDIDO		AL INICIAR LA COMPACTACION

P.E. SECO SUELTO, kg/m ³		1603			
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q'PASA	DEL PROJ.	
		Núm	25.00	100	
		"	19.00	100	
		"	12.50	86	
		"	9.500	77	
		"	6.300	58	
		"	4.750	47	
		"	2.000	21	
		"	0.850	15	
		"	0.425	10	
		"	0.250	7	
		"	0.150	5	
"	0.075	2			
DENSIDAD gr/cm ³					
ABSORCION %					
DESGASTE %					
% DE TRITURACION					
PART. ALARGADAS %		35 MAX.			
PART. LAJeadas %		35 MAX.			
EQUIV. DE ARENA %		55 MIN.			
CONTRAC. LINEAL %		2 MAX.			



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO
CONTENIDO ASFALTO %	5.86	
ADITIVO USADO	MARCA	
	TIPO	
	CANTIDAD, %	
AFINIDAD		

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION
P.E. kg/m ³	2232	
ESTABILIDAD kg	1036	813 MIN.
FLUJO mm	2.59	2 A 3.5
VACIOS %	3.74	3 A 5
V.A.M. %	15.61	14 MIN.

CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
TIPO	AC-20 MODIFICADO
PENETRACION	
VISCOSIDAD	
TEMP RECOM	
TEMP APLIC	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CUMPLEN CON NORMAS S.C.T. PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO.

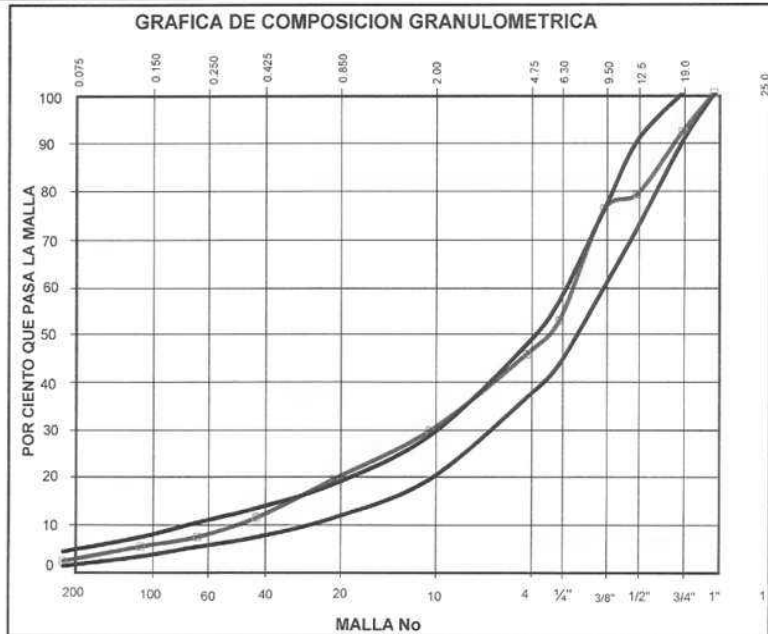
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA:	CARRETERA:TOLUCA - MORELIA	ENSAYE No.	1185
LOCALIZACION:	1 TRAMO: LIM. DE EDOS.MEX./MICH.-T-HUAJUMBARO.	FECHA RECIBIDO	24-Sep-10
UBICACION:	SUBTRAMO: KM 87+000 AL KM. 89+000	FECHA DE INFORME	30-Sep-10

DATOS DE LA MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	BASALTO GRIS SANO	PARA USARSE EN:	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURADO Y CRIBADO A TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	CAPA COMPACTADA DEL KM 88+000 AMPLIACION IZQUIERDA		
	UBICACION DEL BANCO (S)	LA ROKA (CARRETERA MORELIA- SALAMANCA KM 20+000 DESV. DER. A 100M)		

VIAJE No:	TENDIDO EN Km:	AL Km:	CARRIL:	FRANJA:
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA		EN EL TENDIDO		AL INICIAR LA COMPACTACION

P.E. SECO SUELTO, kg/m ³					
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO	COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	% Q PASA	DEL PROY.	
		Núm	25.00	100	
		"	19.00	92	
		"	12.50	79	
		"	9.500	76	
		"	6.300	53	
		"	4.750	46	
		"	2.000	30	
		"	0.850	20	
		"	0.425	12	
	"	0.250	8		
	"	0.150	6		
	"	0.075	3		
DENSIDAD gr/cm ³		2.60			
ABSORCION %		2.00			
DESGASTE %		19.8			
% DE TRITURACION					
PART. ALARGADAS %		23.2	35 MAX.		
PART. LAJEADAS %		24.9	35 MAX.		
EQUIV. DE ARENA %		32.1	55 MIN.		
CONTRAC. LINEAL %			2 MAX.		



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO
CONTENIDO ASFALTO %		5.20
		6.2
ADITIVO USADO	MARCA	
	TIPO	
	CANTIDAD, %	
AFINIDAD		

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN	ESPECIFICACION
P.E. kg/m ³	2101
ESTABILIDAD kg	1047
FLUJO mm	2.75
VACIOS %	3.08
V.A.M. %	13.17
	813 MIN.
	2 A 3.5
	3 A 5
	14 MIN.

CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
TIPO	AC-20 MODIFICADO
PENETRACION	
VISCOSIDAD	
TEMP RECOM	
TEMP APLIC	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

LA MUESTRA ANALIZADA PRESENTA UN CONTENIDO LIGERAMENTE INFERIOR AL DE PROYECTO Y UN EQUIVALENTE DE ARENA FUERA DE NORMA.

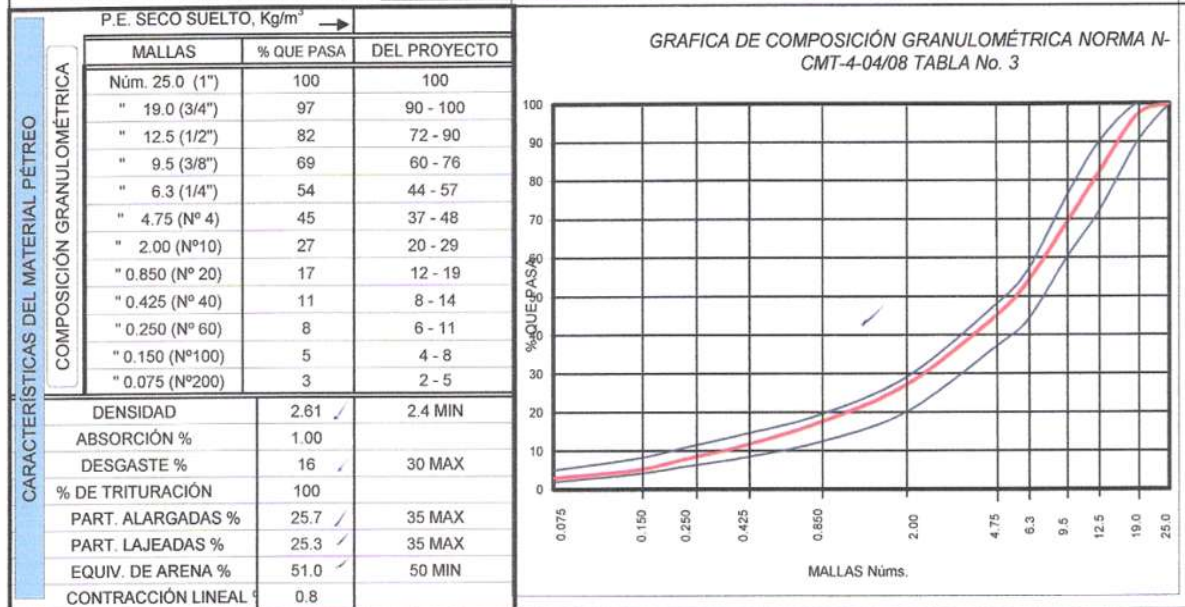
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFÁLTICO

CONTRATO No.: 2-P-CI-A-534-Y-0-2

OBRA:	Conservación periódica mediante recuperación de pavimento, construcción de carpeta de concreto asfáltico con polímeros, señalamiento horizontal de la carretera Zihuatanejo – Playa Azul, tramo Lim. Edos. Gro./Mich. – t. la mira, del km 102+000 al km 108+400; en el Estado de Michoacán."	ENSAYE N°	66
		FECHA DE RECIBO	8-may-12
		FECHA DE INFORME	10-may-12

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MEZCLA ASFÁLTICA	PARA USARSE EN	CARPETA ASFÁLTICA
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO	TRITURADO TOTAL		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO	BANDA TRANSPORTADORA EN PLANTA DE ASFALTOS		
	UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MATERIAL PÉTREO	RIO LA POPOYUTA		

VIAJE N°	TENDIDO EN Km.	A Km.	CARRIL	CUERPO
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA	°C, EN EL TENDIDO	°C, AL INICIAR LA COMPACT.		°C



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		ESPECIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %	5.7 ✓	5.70	P.E., Kg/m ³	2347		TIPO	
ADITIVO USADO	MARCA		ESTABILIDAD, Kg.	1246 ✓	816 MIN	PENETRACIÓN	
	TIPO		FLUJO, mm	3.50 ✓	2 - 3.5	VISCOSIDAD	
	CANTIDAD %		VACIOS %	3.68 ✓	3 - 5	TEMP. RECOM., °C	
PERDIDA DE ESTABILIDAD%	15.50	25 % MAXIMO	V.A.M. %	13.70 ✓	13 MIN.		
AFINIDAD			V.F.A. %	73.15 ✓	65 - 75	TEMP. DE APLIC., °C	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:
 LA MUESTRA ANALIZADA CUMPLE CON LOS PARAMETROS DE CALIDAD Y CONTENIDO DE ASFALTO ESPECIFICADOS EN PROYECTO Y NORMATIVA S.C.T.

INFORME DE PRUEBAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

SOLICITANTE SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 OBRA 3.- CONSTRUCCIÓN DE TERRACERÍAS, OBRAS DE DRENAJE, PAVIMENTOS, SEÑALAMIENTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN VARIOS SUBTRAMOS DE LA CARRETERA LÁZARO CÁRDENAS - MANZANILLO, TRAMO KM. 25+740 AL KM. 51+600, EN ESTADO DE MICHOACÁN.

ENSAYE No 8686
 FECHA DE RECIBO 20-sep-12
 FECHA INFORME 26-sep-12

CONTRATO No
 2-P-CI-A-550-Y-0-2

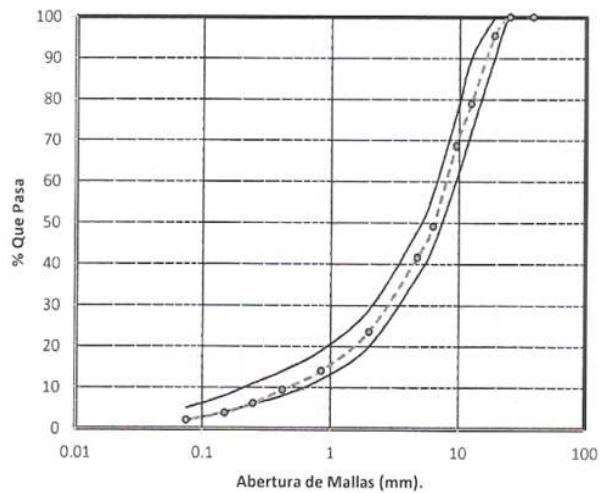
DATOS DEL MUESTREO.

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Grava - Arena de Rio.	EMPLEADO EN:	Pavimentación
DEPOSITO MUESTREADO	Almacén en Obra.	TRAMO:	
TRATAMIENTO PREVIO.	Triturado, Cribado y Mezclado .	44+940 - 45+020 Lado Izquierdo.	
LOCALIZACIÓN DEL BANCO.	Banco Chuquiapan Km. 47+320 Lado Derecho.		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.			
TAMAÑO MÁXIMO	3/4"	***	
% DE DESPERDICIO	0	***	
MALLA	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	
No. 25.0 mm.	1"	100	100
No. 19.0 mm.	3/4"	95	90 - 100
No. 12.5 mm.	1/2"	79	72 - 90
No. 9.5 mm.	3/8"	69	60 - 76
No. 6.3 mm.	1/4"	49	44 - 57
No. 4.75 mm.	No. 4	42	37 - 48
No. 2.00 mm.	No. 10	24	20 - 29
No. 0.85 mm.	No. 20	14	12 - 19
No. 0.425mm.	No. 40	9	8 - 14
No. 0.25 mm.	No. 60	6	6 - 11
No. 0.15 mm.	No. 100	4	4 - 8
No. 0.075 mm.	No. 200	2	2 - 5
PESO ESP. SECO SUELTO	Kg/m ³	***	***
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	***	50 Min.
CONTRACCIÓN LINEAL	(%)	***	***
D E S G A S T E	(%)	***	30 Máx.
PARTÍCULAS ALARGADAS	(%)	***	35 % Máx.
PARTÍCULAS LAJEADAS	(%)	***	35 % Máx.
ABSORCIÓN	(%)	2.0	***
DENSIDAD	(%)	2.49	2.40 Min.

GRAFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.89	6.00	P.E. (Kg/m ³)	2297	****	TIPO	AC - 20
ADITIVO	MACA	***	ESTABILIDAD (Kg)	898	812 Min.	PENETRACIÓN	***
USADO	TIPO	***	FLUJO (mm)	2.7	2 - 4	VISCOSIDAD	***
	CANTIDAD (%)	***	VACÍOS (%)	4.1	3 - 5	TEMP RECOM	160 °C
AFINIDAD	Buena	Buena	V.A.M. (%)	17.2	13 Min.	TEMP DE APLI	129 °C

OBSERVACIONES

La muestra analizada, presenta características Físicas en general aceptables para su empleo en la Pavimentación.

SERVICIOS DE INGENIERÍA CIVIL
 SUPERVISIÓN, CONTROL DE CALIDAD,
 Y ASISTENCIA TÉCNICA DE SUELOS
 DISEÑO DE PAVIMENTOS
JUSTÁVO CERVANTES VALENCIA
 E-mail: jcv@ingenieros.com.mx

INFORME DE PRUEBAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

SOLICITANTE SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 OBRA 1.- MODERNIZACIÓN MEDIANTE CONSTRUCCIÓN DE TERRECEÑERÍAS, DRENAJES, PAVIMENTOS, OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS Y SEÑALAMIENTO DE LA CARRETERA LAZARO CÁRDENAS - MANZANILLO, TRAMO LIM. EDOS, MICHICOL - LA PLACITA. SUBTRAMO KM 0+620 AL KM 13+000.

ENSAYE No. 8707
 FECHA DE RECIBO 21-sep-12
 FECHA INFORME 27-sep-12

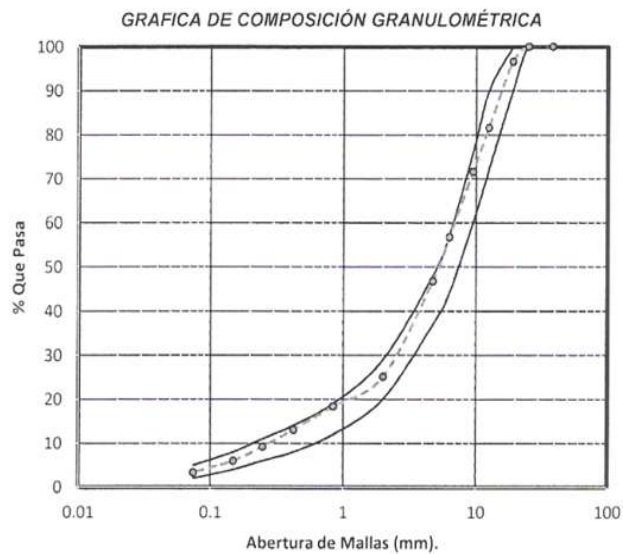
CONTRATO No
 2-P-CI-A-550-Y-0-2

DATOS DEL MUESTREO.

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Grava - Arena de Rio.	EMPLEADO EN:	Pavimentación
DEPOSITO MUESTREADO	Almacén en Obra, Estacion 3+040 Lado Derecho.	TRAMO:	
TRATAMIENTO PREVIO.	Triturado, Cribado y Mezclado.		3+320 - 3+360, Lado Derecho.
LOCALIZACIÓN DEL BANCO.	Banco La Zorrillera Km. 10+200 Lado Derecho.		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.			
TAMAÑO MÁXIMO	3/4"	***	
% DE DESPERDICIO	0	***	
MALLA	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	
No. 25.0 mm.	1"	100	100
No. 19.0 mm.	3/4"	97	90 - 100
No. 12.5 mm.	1/2"	82	72 - 90
No. 9.5 mm.	3/8"	72	60 - 76
No. 6.3 mm.	1/4"	57	44 - 57
No. 4.75 mm.	No. 4	47	37 - 48
No. 2.00 mm.	No. 10	25	20 - 29
No. 0.85 mm.	No. 20	18	12 - 19
No. 0.425mm.	No. 40	13	8 - 14
No. 0.25 mm.	No. 60	9	6 - 11
No. 0.15 mm.	No. 100	6	4 - 8
No. 0.075 mm.	No. 200	3	2 - 5
PESO ESP. SECO SUELTO	Kg/m ³	***	***
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	***	50 Min.
CONTRACCIÓN LINEAL	(%)	***	***
D E S G A S T E	(%)	***	30 Máx.
PARTÍCULAS ALARGADAS	(%)	***	35 % Máx.
PARTÍCULAS LAJEADAS	(%)	***	35 % Máx.
ABSORCIÓN	(%)	2.0	***
DENSIDAD	(%)	2.49	2.40 Min.



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO DE ASFALTO (%)	6.13	6.00	P E (Kg/m ³)	2284	****	TIPO	AC - 20
ADITIVO MACA	***	***	ESTABILIDAD (Kg)	1010	812 Min.	PENETRACIÓN	***
USADO TIPO	***	***	FLUJO (mm)	2.7	2 - 4	VISCOSIDAD	***
CANTIDAD (%)	***	***	VACÍOS (%)	4.3	3 - 5	TEMP. RECOM.	160 °C
AFINIDAD	Buena	Buena	V.A.M. (%)	17.9	13 Min.	TEMP. DE APLI.	117 °C

OBSERVACIONES

La muestra analizada, presenta características Físicas en general aceptables para su empleo en la Pavimentación.

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS
 DISEÑO DE PAVIMENTOS
 GUSTAVO CERVANTES VALENCIA
 E-mail: scce01@yahoo.com.mx

INFORME DE PRUEBAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

SOLICITANTE SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 OBRA 4.- MODERNIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE TERRECEÑERÍAS, OBRAS DE DRENAJE, PAVIMENTOS, SEÑALAMIENTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN VARIOS SUBTRAMOS DE LA CARRETERA URUAPAN - LOS REYES, TRAMO KM 24+300 AL KM 42+700.

ENSAYE No. 8203
 FECHA DE RECIBO 10-sep-12
 FECHA INFORME 17-sep-12

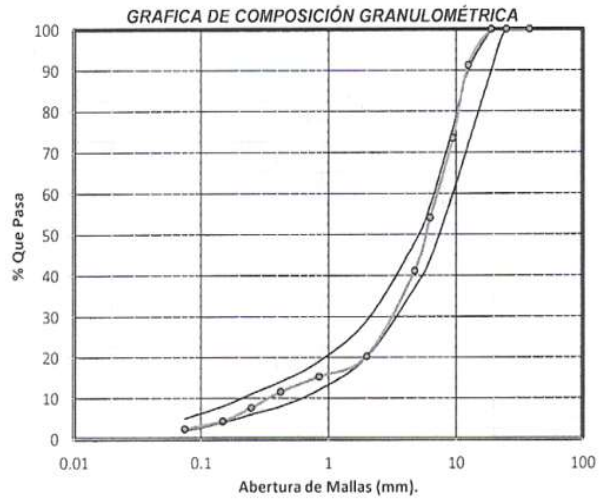
CONTRATO No.
 2-P-CI-A-550-Y-0-2

DATOS DEL MUESTREO.

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Volcanico Triturado	EMPLEADO EN:	Pavimentación
DEPOSITO MUESTREADO	En Obra km. 34+000 Franja central.	TRAMO:	
TRATAMIENTO PREVIO.	Triturado, Cribado y Mezclado .	34+000 - 34+200 Franja Izquierda, 2a. Capa.	
LOCALIZACIÓN DEL BANCO.	Banco El Marquez.		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.			
TAMAÑO MÁXIMO	3/4"	***	
% DE DESPERDICIO	0	***	
MALLA	% QUE PASA	ESPECIFICACION	
No. 25.0 mm.	1"	100	100
No. 19.0 mm.	3/4"	100	90 - 100
No. 12.5 mm.	1/2"	91	72 - 90
No. 9.5 mm.	3/8"	73	60 - 76
No. 6.3 mm.	1/4"	54	44 - 57
No. 4.75 mm.	No. 4	41	37 - 48
No. 2.00 mm.	No. 10	20	20 - 29
No. 0.85 mm.	No. 20	15	12 - 19
No. 0.425mm.	No. 40	11	8 - 14
No. 0.25 mm.	No. 60	8	6 - 11
No. 0.15 mm.	No. 100	4	4 - 8
No. 0.075 mm.	No. 200	2	2 - 5
PESO ESP. SECO SUELTO Kg/m ³	***	***	
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	***	50 Min.	
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	***	***	
D E S G A S T E (%)	***	30 Máx.	
PARTÍCULAS ALARGADAS (%)	***	35 % Máx.	
PARTÍCULAS LAJEADAS (%)	***	35 % Máx.	
ABSORCIÓN (%)	2.3	***	
DENSIDAD (%)	2.44	2.40 Min.	



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO DE ASFALTO (%)	6.12	6.00	P.E. (Kg/m ³)	2278	****	TIPO	AC - 20
ADITIVO MACA	***	***	ESTABILIDAD (Kg)	986	812 Min.	PENETRACIÓN	***
USADO TIPO	***	***	FLUJO (mm)	2.7	2	VISCOSIDAD	***
CANTIDAD (%)	***	***	VACÍOS (%)	4.6	3 - 5	TEMP. RECOM. CONTROL DE CALIDAD	160
AFINIDAD	Buena	Buena	V.A.M. (%)	18.1	13 Min.	TEMP. DE APLI. °C	118

OBSERVACIONES
 La muestra analizada, presenta características Físicas Aceptables para su empleo en la Pavimentación.

DISEÑO DE PAVIMENTOS
GUSTAVO CERVANTES VALENCIA
 E-mail: sicce01@yahoo.com.m
 TEL Y FAX: (01 43) 76 02 05

BIBLIOGRAFÍA

1. DAINOBER ESTEBAN Y JOHN FREDDY (2011), Adherencia en pavimentos flexibles, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia.
2. RAMÓN CRESPO DEL RÍO (1999), Calidad ante la rodadura, Jornadas sobre la calidad en el proyecto y la construcción de carreteras, Barcelona.
3. DIANA BERENICE LÓPEZ Y PAUL GARNICA (2002), Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
4. MARIO C. ARRIAGA Y PAUL GARNICA (1998), Diagnóstico de las características superficiales de los pavimentos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
5. ASTM E 965-87, Test method for measuring surface macrotexture depth using a sand volumetric technique, American Section of the International Association for Testing Materials.
6. ROBINSON LUCERO, CARLOS WAHR Y CATALINA ARANCIBIA (2011), Estudio de la fricción en pavimentos, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
7. MARTA PAGOLA Y OSCAR GIOVANON (2000), State of art of surface adherence considerations in Argentina, National University of Rosario, Argentina.
8. MAYRA FLORES, JOSÉ ANTONIO GÓMEZ Y PAUL GARNICA (2010), Mejoramiento de la resistencia al deslizamiento por medio de mezclas de agregado, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
9. COMITÉ TÉCNICO DE LA AIPCR TC (2011), Operaciones carreteras más seguras, Asociación Mundial de Carreteras, Francia.
10. JUAN MANUEL OROZCO, RODOLFO TÉLLEZ, RICARDO SOLORIO, ALFONSO PÉREZ, MARÍA SÁNCHEZ Y SANDRA TORRAS (2004), Sistema de evaluación de pavimentos versión 2.0, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
11. VICTOR ROCO, CLAUDIO FUENTES Y SEGIO VALVERDE (2010), Evaluación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos, Gauss S.A. y Laboratorio Nacional de Vialidad, Chile.
12. PABLO OMAR SANDOVAL (2000), Consideraciones sobre la aplicación del índice de fricción internacional (IFI) en las condiciones de seguridad en carreteras, Universidad Autónoma de Nuevo León.
13. ALFONSO RICO Y ALBERTO MENSUZA (1995), Una estrategia para la conservación de la red carretera, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
14. ERWIN KOHLER, MAURICIO SALGADO Y SUSANA ACHURRA (), Técnicas e índices para evaluar la macrotextura en pavimentos, Universidad EAFIT, Colombia.
15. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, Inventario nacional de bancos de materiales, México.

16. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2012), Perspectiva estadística Michoacán de Ocampo, INEGI, Mexico.
17. RICARDO EUGENIO (1996), Criterio para jerarquizar la conservación de carreteras con base en su importancia económica, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
18. MAYRA FLORES, ALFONSO PÉREZ Y PAUL GARNICA (2008), Análisis de especificaciones de valor de pulido para agregado, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
19. FRANCISCO ACHÚTEGUI (2005), Características superficiales de los firmes de carretera, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX.
20. INEGI.ORG.MX, Corredores carreteros de México, Página de internet, <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/terciario/transporte/carreteras.aspx?tema=E>
21. DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS (2013), Red federal pavimentada por entidad federativa, Página de Internet, <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/longitud-red-federal/>
22. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, Normativa para la infraestructura del transporte, Página de internet, <http://normas.imt.mx/barra.php?tm=1>