



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**“ANÁLISIS Y SEGUIMIENTO DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN
DE CARRETERAS (TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN), MEDIANTE
LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO AMAAC”**

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA
RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:
ING. JUAN CARLOS MEJÍA ORDUÑA

ASESOR:
DR. RAFAEL SOTO ESPITIA

COASESOR:
DR. JORGE ALARCÓN IBARRA



Morelia, Michoacán, Mayo 2018



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaria de Comunicaciones y Transportes

A los funcionarios de la Dirección General de Conservación de Carreteras, que brindaron su apoyo para la realización de estos estudios de posgrado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

A excelentes catedráticos por compartir sus conocimientos para la realización de estos estudios de posgrado.

“La historia de los caminos en México, es la historia del esfuerzo del hombre que, aplicando su ingenio sobre la naturaleza, cambió el entorno de la tierra de acuerdo a sus necesidades”. (Triulzi, 2012).



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene por objeto realizar el análisis y seguimiento de la implementación de estrategias de conservación de carreteras mediante la ejecución de trabajos de reconstrucción de tramos carreteros, aplicando el criterio del Protocolo AMAAC para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño como capa de rodadura.

Derivado de las sobrecargas en los vehículos de transporte y de la intensidad de tránsito que registran las carreteras federales libres de peaje, este análisis está basado en la información recolectada en campo de un tramo carretero previamente seleccionado, localizado en el Noroeste de nuestro país, en el Estado de Sonora para ser precisos, toda vez que es este el que cumple perfectamente con los parámetros de diseño establecidos en el Protocolo AMAAC para temperaturas extremas ya que actualmente se registran en un rango de temperatura ambiente que va de -10°C a 50°C .

Mediante la realización de esta investigación se pretende coadyuvar a la mejora de los caminos de México, toda vez que representa una herramienta práctica que proporciona la prevención oportuna de posibles desviaciones en la ejecución de trabajos de pavimentos en cuya capa de rodadura se incluya mezcla asfáltica de granulometría densa diseñada bajo el criterio del Protocolo AMAAC.

Palabras clave: pavimento, conservación, diseño de mezcla asfáltica, alto desempeño, protocolo amaac, verificación de calidad.



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

ABSTRAC

This work research is aimed at the analysis and monitoring of the implementation of conservation strategies roads through the implementation of reconstruction work of road sections, applying the criterion of AMAAC Protocol for the design of asphalt mixtures of grain dense high performance as wearing course.

Derived from overloading transport vehicles and traffic intensity that record free federal toll roads, this analysis is based on data collected in the field from a previously selected road section, located in the northwest of our country, the State of Sonora to be precise, since it is this which complies perfectly with the design parameters set out in the Protocol to extreme temperatures AMAAC as currently recorded in a range of environment ranging from -10°C to 50°C .

By conducting this research it is to contribute to improving the roads of Mexico, since it represents a practical tool that provides timely prevention of possible deviations in the execution of works of pavement whose wearing course asphalt inclusion of dense particle size designed under the criteria of AMAAC Protocol.

Key words: pavement, conservation, asphalt mix design, high performance, quality assurance.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	ii
ABSTRAC	iii
ÍNDICE	iv
RELACIÓN DE FIGURAS	viii
RELACIÓN DE TABLAS	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Justificación.....	2
1.2.- Objetivo general	3
1.3.- Objetivos particulares.....	3
1.4.- Hipótesis	4
CAPITULO II.....	5
MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO	5
2.1.- Definiciones.....	5
2.2.- Comportamiento de la Mezcla.....	6
2.2.1- Densidad de la Mezcla	6
2.3.- Propiedades consideradas en el diseño de mezclas de alto desempeño.....	13
2.3.1- Estabilidad	14
2.3.2- Durabilidad	16
2.3.3- Impermeabilidad.....	17
2.3.4- Trabajabilidad	18
2.3.5- Flexibilidad	20
2.3.6- Resistencia a la fatiga	20
2.3.7- Resistencia al deslizamiento	21
2.4.- Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño.....	22



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2.5.- Criterios de Diseño.....	23
2.5.1.- Granulometría de la Mezcla.....	23
2.5.2.- Calidad de los agregados.....	25
2.5.3.- Selección del asfalto.....	26
2.5.4.- Selección del nivel de diseño requerido.....	29
2.5.5.- Diseño volumétrico de la mezcla.....	31
2.6.- Pruebas a las mezclas asfálticas de alto desempeño.....	34
2.6.1.- Propiedades de Consenso.....	34
2.6.2.- Propiedades de la fuente de origen.....	34
2.6.3.- Pruebas al Cemento Asfáltico.....	35
2.7.- Equipo de ensaye.....	36
2.7.1- Horno de Película Delgada Rotacional (RTFO).....	36
2.7.2.- Vasija de envejecimiento a presión (PAV).....	37
2.7.3.- Reómetro de corte dinámico (DSR).....	38
2.7.4- Viscosímetro Rotacional (RV).....	39
2.7.5- Reómetro de flexión en vigas (BBR).....	40
2.7.6- Equipo de tensión directa (DT).....	41
2.7.7.- Compactador Giratorio.....	42
2.8.- Susceptibilidad a la deformación permanente.....	43
2.8.1.- Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA).....	43
2.8.2.- Rueda Cargada de Hamburgo (HWTD).....	46
2.8.3.- Pista Española.....	47
CAPITULO III.....	49
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.1.- Información del Tramo.....	49
3.1.1.- Ubicación.....	49
3.1.2.- Geomorfología.....	49
3.1.3.- Datos de tránsito.....	50



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3.1.4.- Datos hidrológicos e hidráulicos	50
3.1.5.- Datos geológicos y geotécnicos	51
3.1.6.- Datos de planes de desarrollo urbano, regionales y estatales	51
3.2.- Efecto de la temperatura y del medio ambiente	51
3.2.1.- Análisis de las Condiciones Ambientales.....	52
3.3.- Levantamiento topográfico.....	53
3.4.- Levantamiento de fallas en el pavimento	55
3.4.1.- Falla funcional.....	57
3.4.2.- Falla estructural	58
3.5.- Daños y deterioros	59
3.5.1.- Procedimientos.....	59
3.6.- Estudio geotécnico	73
3.7.- Análisis de la estructura del pavimento existente	78
3.7.1.- Delimitación de Tramos Homogéneos.....	79
3.8.- Análisis de Tránsito.....	80
3.9.- Definición de Opciones de Conservación.....	83
3.9.1.- Análisis de Costo - Beneficio de las Alternativas de Conservación	85
3.9.2.- Control de Calidad	87
CAPITULO IV	89
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	89
4.1.- Antecedentes	89
4.2.- Tramo: Hermosillo – Moctezuma, Subtramo: Km 14+000 al Km 19+000.....	89
4.2.1. Localización.....	89
4.2.2. Geomorfología	90
4.2.3. Clima	91
4.2.4. Topografía	91
4.2.5. Recorrido de Reconocimiento	91
4.2.6. Estado general de la superficie de rodamiento	94



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

4.2.7. Composición vehicular del tramo..... 96

4.2.8. Estudio geotécnico..... 97

4.2.9. Análisis de la estructura del pavimento existente 99

CONCLUSIONES..... 106

RECOMENDACIONES 108

BIBLIOGRAFÍA 110

APÉNDICE 1. CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA BASE HIDRÁULICA..... 112

APÉNDICE 2. CALIDAD DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO..... 122

APÉNDICE 3. CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO GRADO PG 70-22 136

APÉNDICE 4. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TENDIDA Y COMPACTADA 138



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de compactación de una mezcla asfáltica	8
Figura 2 Criterios de diseño volumétrico	10
Figura 3 VMA en una probeta de mezcla compactada.....	10
Figura 4 Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos de VMA).....	11
<i>Figura 5 Puntos de control para granulometría de mezclas con Tamaño Máximo Nominal 19 mm (3/4")</i>	25
Figura 6 Requisitos de calidad Norma SCT N-CMT-4-05-002/06	27
Figura 7. Requisitos de Calidad Norma SCT N-CMT-4-05-004/08.....	28
Figura 8. Criterio de selección de ensayos para el diseño para mezclas asfálticas de acuerdo a lo indicado por el protocolo AMAAC	29
Figura 9. Selección del nivel de diseño de las mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño en función del tránsito vehicular	30
Figura 10. Horno rotatorio de película delgada (RTFO)	36
Figura 11. Vasija de envejecimiento a presión (PAV)	37
Figura 12. Reómetro de corte dinámico (DSR)	38
Figura 13. Viscosímetro Rotacional (RV)	39
Figura 14. Reómetro de flexión en vigas (BBR)	40
Figura 15. Equipo de tensión directa (DT).....	41
Figura 16. Compactador giratorio.....	42
Figura 17. Calibración de las ruedas del APA.....	44
Figura 18. Panel de control para el ensaye de deformación permanente en el APA .	44
Figura 19. Evaluación de la deformación permanente en el APA	45
Figura 20. Gráfica de deformación permanente en el APA	45
Figura 21. Rueda cargada de Hamburgo (HWTD).....	46
Figura 22. Pista española de laboratorio.....	47
Figura 23. Mapa de regiones de México para la clasificación del clima.....	53



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Figura 24. Grietas finas, definición y causas probables	61
Figura 25. Agrietamiento tipo mapa, definición y causas probables.....	61
Figura 26. Agrietamiento parabólico, definición y causas probables.....	62
Figura 27. Grieta longitudinal, definición y causas probables	63
Figura 28. Grieta transversal, definición y causas probables	63
Figura 29. Grieta en Zig - Zag, definición y causas probables	64
Figura 30. Grietas de reflexión, definición y causas probables	64
Figura 31. Grietas de reflexión tipo 2, definición y causas probables.....	65
Figura 32. Baches, definición y causas probables	66
Figura 33. Levantamiento por congelación, definición y causas probables.....	66
Figura 34. Piel de cocodrilo, definición y causas probables	67
Figura 35. Roderas, definición y causas probables.....	67
Figura 36. Protuberancias, definición y causas probables	68
Figura 37. Exudación, definición y causas probables.....	69
Figura 38. Pulido, definición y causas probables	69
Figura 39. Desintegración, definición y causas probables	70
Figura 40. Deformación transversal, definición y causas probables.....	71
Figura 41. Caída del hombro, definición y causas probables.....	71
Figura 42. Expulsión de finos, definición y causas probables	72
Figura 43. Desprendimiento de agregados, definición y causas probables	72
Figura 44. Toma de muestra de capa asfáltica con extractora.....	74
Figura 45. Medición de espesores de la estructura del pavimento.....	76
Figura 46. Gráfica de espesores de pavimento de una carretera evaluada	79
Figura 47. Ejemplo de un espectro de carga sobre los vehículos que pasan por un tramo de carretera.....	83
Figura 48. Ubicación Gráfica del Tramo: Hermosillo – Moctezuma, Subtramo: 14+000 al 19+000	90



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Figura 49. Tipo de terreno: a) plano Km 14+000..... 92

Figura 50. Grietas longitudinales en el Km 19+000..... 92

Figura 51. Grietas longitudinales y roderas en el Km 16+000..... 93

Figura 52. Levantamiento de la capa de rodadura por congelación en el Km 17+000
..... 93

Figura 53. Desprendimiento de carpeta y grietas longitudinales Km 15+500..... 94

Figura 54. Sondeo en PCA 1, Km 14+500 97

Figura 55. Perfil estratigráfico del tramo, Km 14+000 al Km19+000 98

Figura 56. Curva granulométrica de la base hidráulica 100

Figura 57. Curva granulométrica del agregado de la carpeta asfáltica existente 101



RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	15
Tabla 2. Causas y efectos de durabilidad	17
Tabla 3. Causas y efectos de la permeabilidad.....	18
Tabla 4. Causas y efectos de problemas de trabajabilidad	20
Tabla 5. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.....	21
Tabla 6. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.....	22
Tabla 7. Designación del Tipo de mezcla en función del tamaño nominal	23
Tabla 8. Requisitos de Granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (puntos de control).....	24
Tabla 9. Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.....	25
Tabla 10. Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.....	26
Tabla 11. Niveles de diseño en función del número de ejes equivalentes de 8.2t y el tipo de carretera	31
Tabla 12. Valores de los parámetros volumétricos necesarios para el diseño óptimo de una mezcla asfáltica de granulometría densa	32
Tabla 13. Esfuerzo requerido para la compactación giratoria según el tránsito esperado en el carril de diseño	32
Tabla 14. Determinación de los Parámetros Volumétricos de la Mezcla.....	32
Tabla 15. Pruebas utilizadas en el Protocolo AMAAC y el propósito de las mismas.	35
Tabla 16. Materiales constitutivos de la mezcla de agregados	36
Tabla 17. Configuración de la prueba de la Pista Española.....	48
Tabla 18. Tipos de deterioros.....	60
Tabla 19. Tipos de conservación para carreteras que se disponen en México	84
Tabla 20. Levantamiento de deterioros del tramo, Km 14+000 al Km 17+000.....	95
Tabla 21. Datos viales del tramo	96



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Tabla 22. Resultados de laboratorio del pavimento existente tramo, Km 14+000 al Km 19+000 98



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de los caminos en México como cualquier otro elemento de la vida social, son el resultado de una larga construcción histórica que permite, mediante el ensayo y el error, y a través de varias generaciones, establecer las mejores condiciones de infraestructura para el tránsito vehicular. De esta forma, la continuidad y supervivencia de un camino dependen del interés en mantener abierta la comunicación, así como de que existan las condiciones de eficiencia, mantenimiento, seguridad y abastecimiento (conservación).

Es la Dirección General de Conservación de Carreteras, la unidad administrativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes responsable de conservar y mejorar las condiciones físicas de las carreteras federales libres de peaje, a través de obras que realiza en la Red Carretera Libre de Peaje (tramos y puentes), para brindar a los usuarios una mayor seguridad y un mejor nivel de servicio.

Para lo cual implementa las siguientes acciones en pro del mejoramiento de la red de carreteras federal libre de peaje:

- Elabora, de conformidad con las políticas de la Secretaría, los criterios, estrategias y programas de inversión de corto, mediano y largo plazo en materia de conservación de carreteras federales libres de peaje;
- Emite los lineamientos en materia de conservación de la infraestructura carretera federal libre de peaje, así como determinar las características, especificaciones y los criterios conforme a los cuales deberán realizarse los programas y obras respectivos, dando seguimiento a los mismos;



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

- Supervisa que las obras se ejecuten conforme a las características, especificaciones, proyectos, precios unitarios y programas aprobados, de acuerdo con lo estipulado en los contratos de obra, cumpliendo con las leyes y tratados vigentes en la materia;
- Supervisa los trabajos de conservación de carreteras y puentes federales libres de peaje que realicen las unidades administrativas de la Secretaría y los organismos del Sector;

1.1.- Justificación

La conservación de caminos en México es una actividad primordial para el desarrollo económico del país, toda vez que contar con una infraestructura carretera con óptimos niveles de servicio impacta directamente en la economía del usuario.

Esta actividad es realizada por la Dirección General de Conservación de Carreteras en los caminos que tiene a cargo la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la cual implementa medidas estratégicas en la ejecución de trabajos de conservación orientadas a brindar mayor seguridad al usuario, así como confort en su tránsito por la red carretera federal libre de peaje. Dentro de estas desde el año 2010 ha implementado en la ejecución de trabajos de conservación periódica (trabajos para conservar en óptimos niveles de servicio la superficie de rodamiento de los pavimentos), la colocación de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño diseñadas bajo el criterio del Protocolo AMAAC en capas de rodadura en diversos tramos en los que se ha registrado mayor índice de tránsito y mayores temperaturas climáticas del país.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Derivado de lo anterior, es importante realizar un análisis a los resultados obtenidos de la ejecución y supervisión de este tipo trabajos, para obtener de forma práctica una evaluación de la durabilidad y desempeño de la superficie de rodamiento en operación bajo sus condiciones prevalecientes, identificando así directamente posibles debilidades que permitan sugerir mejoras a las acciones implementadas en la ejecución de obras y servicios relativos a la conservación de la infraestructura carretera federal libre de peaje.

1.2.- Objetivo general

Con esta investigación se pretende identificar posibles desviaciones en los procesos de ejecución y supervisión de los trabajos de conservación de carreteras en cuya estructura de pavimento incluya capas granulares no modificadas/estabilizadas y carpetas de mezcla asfáltica de alto desempeño diseñada bajo el criterio del Protocolo AMAAC (Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.), mediante el análisis de los resultados obtenidos de la verificación de calidad, para coadyuvar en la mejora de la ejecución de obras y servicios relacionados a las mismas relativos a conservación de carreteras.

1.3.- Objetivos particulares

- Identificar debilidades durante la ejecución y supervisión de trabajos de conservación de carreteras en los que se emplee mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño como capa de rodadura.
- Proponer mejoras en la implementación de estrategias para la ejecución, supervisión, seguimiento y verificación de la calidad de los trabajos de conservación de carreteras en los que se emplee mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño como capa de rodadura.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

1.4.- Hipótesis

El detectar posibles desviaciones en los procesos de ejecución de trabajos de conservación de carreteras, mediante su control de calidad, permitirá implementar acciones que deriven en mejorar el nivel de servicio al usuario, brindando así una mayor seguridad al transitar por la red federal de carreteras libre de peaje, además de favorecer la disminución de los costos de operación vehicular. Indirectamente con estas acciones se incrementa la vida remanente de los pavimentos optimizando así los recursos federales asignados anualmente en lo que a conservación de carreteras se refiere.



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

CAPITULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO

El objeto de la realización de esta tesis es el de analizar las estrategias de conservación de carreteras mediante la implementación de mezclas asfálticas diseñadas bajo el Protocolo AMAAC (Asociación Mexicana del Asfalto A.C.), al que la Secretaria de Comunicaciones y Transportes se refiere como mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño, las cuales desde el año 2010 ha implementado en la construcción de capas de rodadura para la conservación de la estructura de pavimentos en la Red de Carreteras Federal Libre de Peaje a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras.

Las mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño en capas de rodadura son utilizadas en trabajos relativos a conservación de carreteras por sus características físicas y mecánicas para prolongar la vida remanente de los pavimentos asfálticos y mejorar el nivel de servicio a los usuarios de los caminos de México, a continuación, veremos por qué.

2.1.- Definiciones

Mezcla asfáltica de granulometría densa.

Es una mezcla elaborada con agregados pétreos y un material asfáltico, eventualmente con aditivos, cuyas propiedades mecánicas dependen de las propiedades de cada uno de los componentes de su proporción relativa en mezcla. Para fines de diseño, se considera como un sistema trifásico compuesto por una fase sólida, constituida por el agregado pétreo, una fase líquida, dada por el cemento asfáltico y una fase gaseosa que constituye el aire.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Mezcla asfáltica de alto desempeño.

Se refiere a la mezcla asfáltica elaborada en caliente con materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico modificado grado PG, resistente a las deformaciones plásticas, al fenómeno de fatiga y al daño por humedad, cuyo comportamiento es superior al de las mezclas asfálticas convencionales. (Instituto Mexicano del Transporte, 2008)

2.2.- Comportamiento de la Mezcla

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

2.2.1- Densidad de la Mezcla

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio. (Flores, 2004)

Vacíos de aire (o simplemente vacíos)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada.

Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.



La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento. (Flores, 2004)

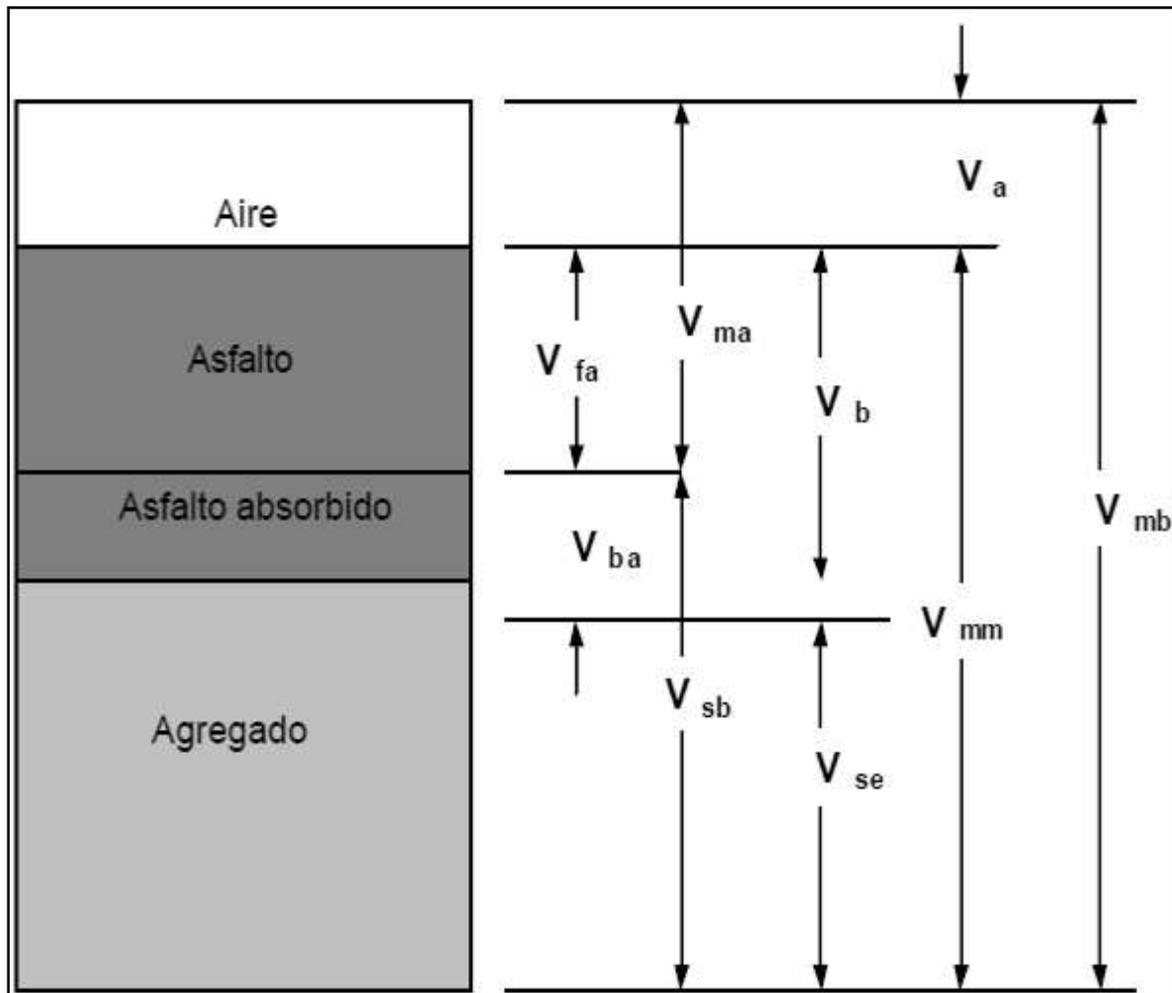


Figura 1. Diagrama de compactación de una mezcla asfáltica



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Donde:

- **V_{ma}** = Volumen de vacíos en agregado mineral
- **V_{mb}** = Volumen total de la mezcla asfáltica
- **V_{mm}** = Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos
- **V_{fa}** = Volumen de vacíos llenados con asfalto
- **V_a** = Volumen de vacíos de aire
- **V_b** = Volumen de asfalto
- **V_{ba}** = Volumen de asfalto absorbido
- **V_{sb}** = Volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa)
- **V_{se}** = Volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva)

Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. La fig. 3 ilustra el concepto de VMA y la fig. 4 presenta los valores requeridos. (Flores, 2004)

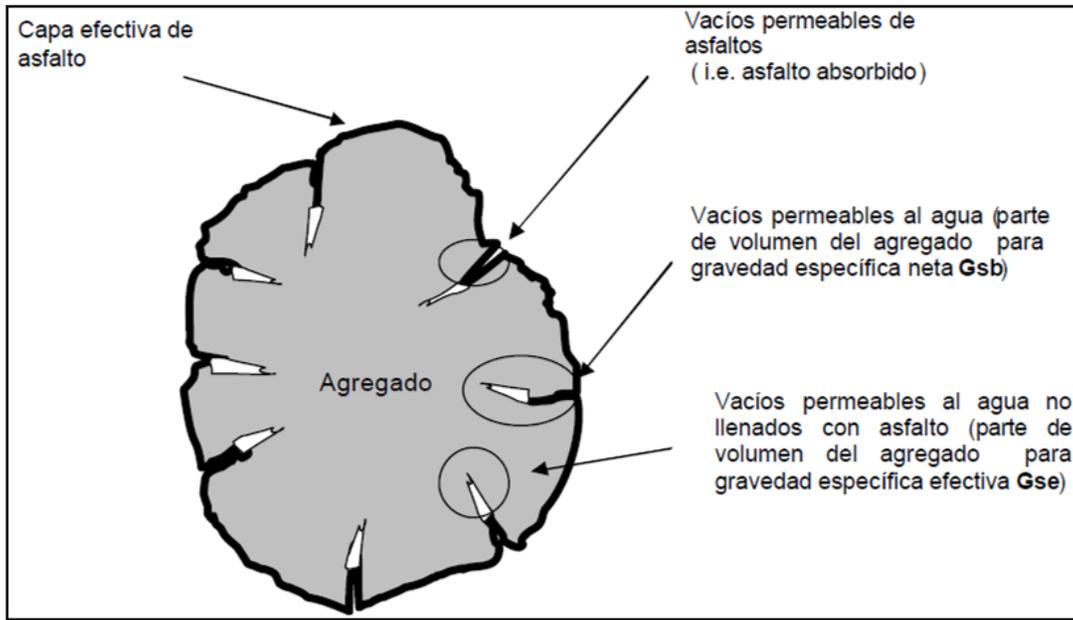
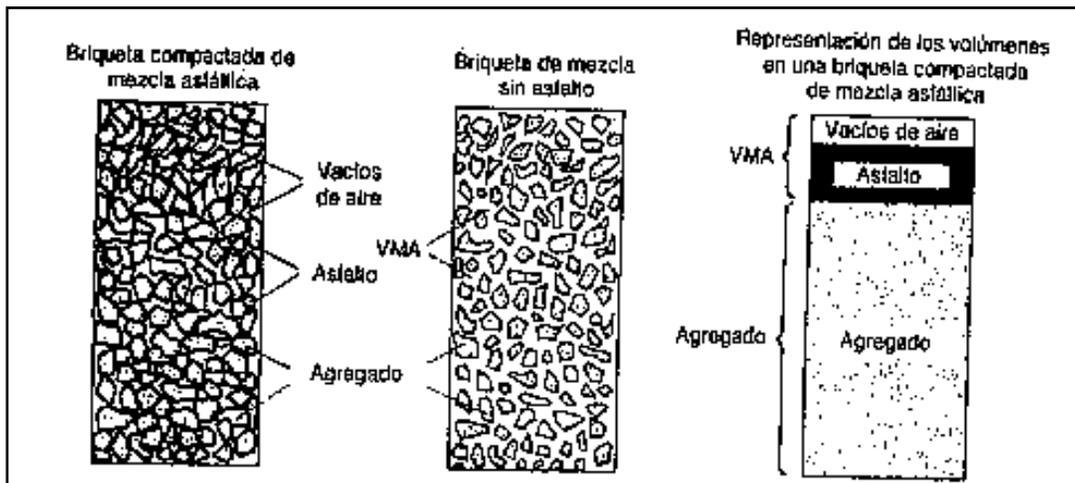


Figura 2 Criterios de diseño volumétrico



(Nota: para simplificar el volumen de asfalto absorbido no es mostrado)

Figura 3. VMA en una probeta de mezcla compactada



Tamaño Máximo en mm		VMA mínimo, por ciento		
Porcentaje		Vacíos de Diseño, por ciento ²		
mm	mm	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

¹ Especificación de Materiales para Pavimentos de Tráfico Pesado en Pruebas, ASTM E 11 (ASTM M 92)

² El tamaño máximo nominal de partícula es un número más grande que el primer tamaño que resulta más de 10 por ciento del material

³ Interprete el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentran entre los que están dados

Figura 4. Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos de VMA)

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto. (Garnica Anguas, 2005)

Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (Nº 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla. (Flores, 2004)



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla.

El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. (Garnica Anguas, 2005)

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas. (Garnica Anguas, 2005)

2.3.- Propiedades consideradas en el diseño de mezclas de alto desempeño

Las mezclas asfálticas en caliente tienen buen desempeño debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Existen varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

El objetivo primordial de este procedimiento de diseño, es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, se hace mención del significado e importancia de cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

2.3.1- Estabilidad

La estabilidad en un pavimento asfáltico es la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y textura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos o roderas (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficientemente altas para interactuar adecuadamente con el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. (Por eso es importante una buena condición granulométrica).

La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial, la cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.



En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con incrementos en la frecuencia de carga (tránsito). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con incrementos en el contenido de asfalto.

Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas- Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los pavimentos. (ver Tabla 1.) (Flores, 2004)

Tabla 1. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2.3.2- Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto.

Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima (intemperismo), el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. (Flores, 2004)



La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento. (ver Tabla 2.)

Tabla 2. Causas y efectos de durabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

2.3.3- Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.



El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Tabla 3. Causas y efectos de la permeabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

2.3.4- Trabajabilidad

La Trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso), tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable.

En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad. Un contenido demasiado alto de relleno mineral (filler), también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación. La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.



Tabla 4. Causas y efectos de problemas de trabajabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral. (filler)	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

2.3.5- Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada e bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.3.6- Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento.



(El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. (Flores, 2004)

Tabla 5. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

2.3.7- Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esté mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).



Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (Flores, 2004)

Tabla 6. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala Textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropilano
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

2.4.- Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño

En el año 2008, La Asociación Mexicana del Asfalto A.C. desarrolló el Protocolo AMAAC para mezclas asfálticas de alto desempeño con cuatro niveles de diseño, utilizando la metodología de Superpave desarrollada en los Estados Unidos, en el cual se establece el uso de cementos asfálticos Tipo PG. Como sucesor en nuestro país del Método Superpave, el Protocolo AMAAC establece las características de calidad que deberán considerarse para la construcción de Carpetas Asfálticas de Granulometría Densa de Alto Desempeño.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

De este tipo de pavimentos los dos primeros tramos se construyeron en Nuevo León, por el Centro SCT a través de la Residencia General de Carreteras Federales, el primero en 2011-2012 y el segundo en 2012-2013.

Actualmente y desde el año 2011 la Dirección General de Conservación de Carreteras ha dado gran apertura al uso de cementos asfálticos modificados con polímero grado PG en sus diferentes obras de recuperación y carpeta asfáltica en carreteras, especificado que las mezclas asfálticas cumplan el diseño del Protocolo AMAAC, y la Dirección General de Servicios Técnicos los contempla en sus proyectos.

2.5.- Criterios de Diseño

2.5.1.- Granulometría de la Mezcla.

La granulometría a utilizar en una mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño se debe seleccionar de acuerdo a la función requerida para la capa asfáltica en la estructura de un pavimento.

Con base en las necesidades del proyecto se pondrán fabricar cinco tipos de mezcla cuya designación es la que muestra la Tabla 7.

Tabla 7. Designación del Tipo de mezcla en función del tamaño nominal

Granulometría por tipo de mezcla		
Designación de la mezcla (mm)	Tamaño nominal (mm)	Tamaño máximo (mm)
37,5	37,5	50,0
25	25,0	37,5
19	19,0	25,0
12,5	12,5	19,0
9,5	9,5	12,5



Los requisitos recomendados para el caso de una carpeta asfáltica de granulometría densa son los que muestra la Tabla 8.

Tabla 8. Requisitos de Granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (puntos de control)

Tamaño nominal del material pétreo						
Designación	Abertura	37.5 1- 1/2"	25 (1")	19 (3/4")	12.5 (1/2")	9.5 (3/8")
		porcentaje que pasa				
2"	50	100 - 100				-
1 1/2"	37.5	90 - 100	100 - 100			-
1"	25	-90	90 - 100	100 - 100		-
3/4"	19	-	-90	90 - 100	100 - 100	-
1/2"	12.5	-	-	-90	90 - 100	100 - 100
3/8"	9.5	-	-	-	-90	90 - 100
4	4.75	-	-	-	-	-90
8	2.36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28- 58	32 - 67
16	1.18	-	-	-	-	-
30	0.6	-	-	-	-	-
50	0.3	-	-	-	-	-
100	0.15	-	-	-	-	-
200	0.075	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10

A manera de ejemplo, la siguiente gráfica ilustra los límites establecidos para una mezcla con tamaño nominal 19 mm. La escala de la abertura de la malla esta elevada a la potencia 0,45. En todos los demás casos se debe construir la gráfica correspondiente. La línea de máxima densidad de los agregados pétreos va desde el origen (0,0) hasta el tamaño de la distribución granulométrica que se desee representar. (Asociación de Meicana del Asfalto A.C. (AMAAC), 2008)

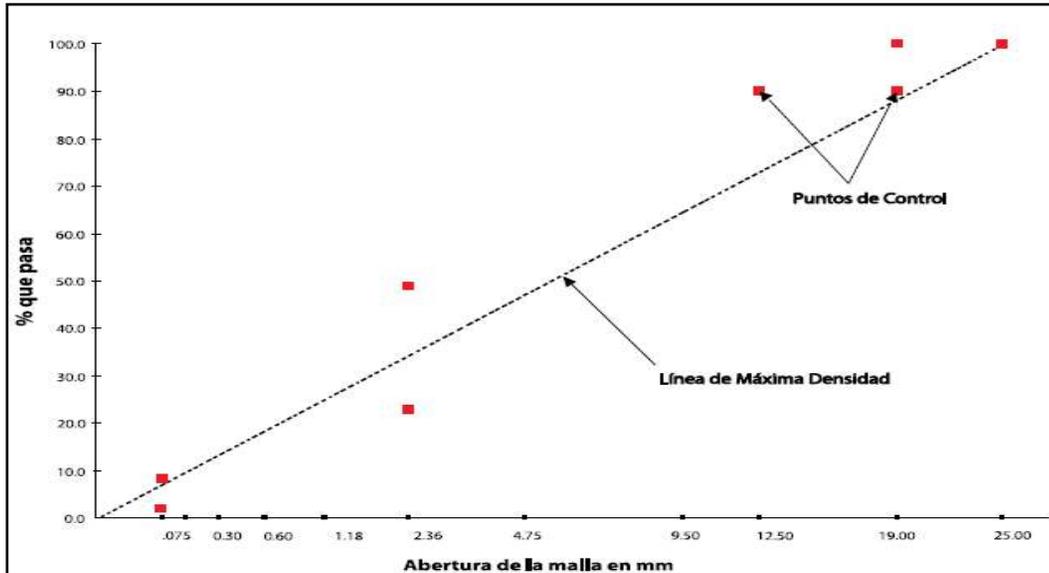


Figura 5 Puntos de control para granulometría de mezclas con Tamaño Máximo Nominal 19 mm (3/4")

2.5.2.- Calidad de los agregados

Las características físicas básicas que deben cumplir las fracciones gruesa y fina del agregado pétreo seleccionado son las indicadas en las Tablas 12 y 13, respectivamente. (Asociación de Meicana del Asfalto A.C. (AMAAC), 2008)

Tabla 9. Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa

Característica	Norma	Especificación
Desgaste de los Ángeles, %	ASTM C131	30 máx. (capas estructurales) 25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste microdeval, %	AASHTO TP 58-99	18 máx. (capas estructurales) 15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado	AASHTO T 104	15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas alargadas, %	ASTM D 4791	3 a 1 %, 15 máx.
Partículas lajeadas, %	ASTM D 4791	3 a 1 %, 15 máx.



Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA-08/2008	90 mín.
---	--------------------------------	---------

Tabla 10. Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa

Característica	Norma	Especificación
Equivalente de arena, %	ASTM D 2419	50 mín. (capas estructurales) 55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	Recomendación AMAAC RA-05/2008	15 máx. (capas estructurales) 12 máx. (capas de rodadura)

2.5.3.- Selección del asfalto

En la carpeta asfáltica estructural, se deberá utilizar como mínimo asfalto modificado con polímero **PG 70-22** que cumpla con los requisitos de calidad indicados para dicho grado en la Tabla No 2 de la Norma **N-CMT-4-05-004/08** y con las características descritas para un asfalto con modificador tipo 1 (AC-20 + modificador tipo 1) conforme a la tabla No. 1 de la Norma **N-CMT-4-05-002/06**.

Si el proyecto de pavimento y/o la experiencia local lo respalda y justifica, podrá utilizarse un tipo de asfalto de mejores características reológicas, elásticas o un mayor Grado PG. En estos casos, deberá hacerse la justificación técnica correspondiente y deberá ser aprobado por la Dependencia. Considerando que para la elaboración de asfalto modificado es necesario el empleo de una planta especial, es requisito indispensable que el responsable de la ejecución de los trabajos se comprometa a elaborar el producto y cumplir con las especificaciones indicadas en el **PA-MA-02/Versión actualizada**. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes , 2006)



N-CMT-4-05-002/06

TABLA 1.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC-20 modificados

Características	Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I ó II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
Del cemento asfáltico modificado:					
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	500	1000	1000	1000	--
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C; Pa s, máximo	2	4	3	4	--
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pa s, máximo	--	--	--	--	7
Penetración:					
• A 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	80	40	40	30	30
• A 4°C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	40	25	25	20	15
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento; °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera; °C, máximo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	25	35	30	15	40
Resiliencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm, 50 g):					
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1
Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	--	--	--	--	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s; %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C; %, mínimo	50	60	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	--	--	--	--	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	--	2,2	2,2	2,2	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	2,2	--	--	--	--
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 76°C; ° (grados), máximo	--	75	70	75	--
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 64°C; ° (grados), máximo	75	--	--	--	--

Figura 6. Requisitos de calidad Norma SCT N-CMT-4-05-002/06



NORMAS																	
N-CMT-4-05-004/08																	
TABLA 2.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos Grado PG																	
Grado de comportamiento	PG 64				PG 70				PG 76			PG 82			PG 88		
	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-22	-28	-34	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento (promedio de 7 días), °C	64				70				76			82			88		
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>-22	>-28	>-34	>-40	>-22	>-28	>-34	>-40	>-22	>-28	>-34	>-22	>-28	>-34	>-22	>-28	>-34
Asfalto original																	
Punto de inflamación Cleveland ^[1] , °C, min.	230																
Viscosidad dinámica a 135°C ^[2] , Pa·s (P ²²), máximo	3																
Módulo reológico de corte dinámico (G*sen δ) ^[3] , kPa, mínimo	1																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de prueba de película delgada y aire de horno ^[4]																	
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1																
Módulo reológico de corte dinámico (G*sen δ) ^[3] , kPa, mínimo	2,2																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de envejecimiento en vasija de presión temperatura y aire																	
Temperatura de envejecimiento PAV; °C																	
• En climas normales	100				100				100			100			100		
• En climas desérticos	100				110				110			110			110		
Índice de endurecimiento físico ^[4] , máximo	Reportar																
Rigidización (G*sen δ) ^[5] , kPa, máxima	5 000																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	25	22	19	16	28	25	22	19	31	28	25	34	31	28	34	31	28
Rigidez de Flexión S(t) ^[6] , MPa, máximo (m=0,3 min)	300																
• Temperatura de prueba @ 60 s; °C	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-12	-18	-24	-12	-18	-24

[1] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Clausula C. de esta Norma.
 [2] Poises
 [3] Para control de calidad de producción de asfaltos normales sin modificar, cuando sean líquido newtoniano, la viscosidad dinámica del cemento asfáltico original puede sustituir al módulo de corte dinámico G*sen δ, a las temperaturas de prueba.
 [4] El endurecimiento físico del asfalto es desarrollado de acuerdo con el número de muestras de viga, conforme a la determinación de la rigidez de flexión, mediante el Reómetro de flexión de viga BBR, excepto que las condiciones de tiempo se extiendan a 24 h y el valor m sea reportado únicamente para propósitos de información.
 [5] Si la rigidez de flexión es menor de 300 MPa, no es necesario la prueba de tensión directa. Si la rigidez de flexión resulta entre 300 y 600 MPa, se requiere que la deformación a la ruptura en la prueba de tensión directa cumpla también con lo indicado en esta Tabla. El valor m requerido será satisfactorio en ambos casos.

Figura 7. Requisitos de Calidad Norma SCT N-CMT-4-05-004/08



2.5.4.- Selección del nivel de diseño requerido

El método de diseño AMAAC, establece diferentes niveles de diseño para una mezcla asfáltica densa en función de la importancia de la carretera determinada por el nivel de tránsito o el desempeño deseado para la infraestructura que se requiere.

En la Tabla 11 se representa la recomendación para la selección del nivel de diseño de las mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño en función del tránsito vehicular. El criterio que resulte será el nivel para el cual se evaluará la mezcla asfáltica.



Figura 8. Criterio de selección de ensayos para el diseño para mezclas asfálticas de acuerdo a lo indicado por el protocolo AMAAC



<p>Nivel I. Tránsito bajo. Menos de 1 millón de ESALS</p>	<p>NIVEL II. Tránsito medio. De 1 a 10 millones de ESALS</p>	<p>NIVEL III. Tránsito alto. De 10 a 30 millones de ESALS</p>	<p>NIVEL IV. Tránsito muy alto. Más de 30 millones de ESALS</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selección de los agregados pétreos. La totalidad del material deberá ser obtenido por trituración. 2. Granulometría de la mezcla. Su selección depende de la función requerida para la capa asfáltica en la estructura del pavimento. 3. Calidad de los agregados pétreos. Tanto para la fracción gruesa como para la fracción fina. 4. Selección del cemento asfáltico. Con base en su Grado de Desempeño PG. Incluye ensayos de envejecimiento a corto y a largo plazo. 5. Diseño volumétrico. Fabricación de los especímenes en el compactador giratorio. El contenido de asfalto óptimo será necesario para obtener un porcentaje de vacíos de aire del 4%. 6. Susceptibilidad de la resistencia de la mezcla al daño inducido por la humedad. Los ensayos son de tensión indirecta. La relación entre las resistencias húmeda y seca deberá ser al menos del 80%. 7. Susceptibilidad de la mezcla a la deformación permanente. Se podrán usar indistintamente la rueda descarga de Hamburgo, el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), o la pista española. Permite minimizar los problemas de roderas. Los ensayos se realizan en especímenes compactados una vez determinada la fórmula de trabajo. 8. Modulo dinámico. Es un parámetro esencial para poder calcular los espesores de carpeta asfáltica en los nuevos métodos de diseño de pavimentos flexibles. Los ensayos se realizan en especímenes compactados una vez determinada la fórmula de trabajo. 9. Fatiga. Se recomienda el ensaye de flexión en 4 puntos. Permite asegurar un número mínimo de repeticiones antes de la aparición del agrietamiento por carga repetida. Los ensayos se realizan en especímenes compactados una vez determinada la fórmula de trabajo.
---	--	---	---	--

Figura 9. Selección del nivel de diseño de las mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño en función del tránsito vehicular



Tabla 11. Niveles de diseño en función del número de ejes equivalentes de 8.2t y el tipo de carretera

Designación del nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes	Tipo de carretera usuales	Ensayes recomendables
Tránsito bajo	menor a 1,000,000	carreteras federales tipo D	diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad
		carreteras alimentadoras	
		carreteras estatales y municipales	
		calles urbanas	
Tránsito medio	de 1,000,000 a 10,000,000	carreteras estatales	*diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad *susceptibilidad a la deformación permanente
		carreteras federales tipo B y C	
		vialidades urbanas	
Tránsito alto	de 10,000,000 a 30,000,000	carreteras federales tipo A	*diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad *susceptibilidad a la deformación permanente *Módulo dinámico
		autopistas de cuota	
Tránsito muy alto	más de 30,000,000	carreteras federales troncales	*diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad *susceptibilidad a la deformación permanente *Módulo dinámico *fatiga
		autopistas de cuota importantes	
		vialidades suburbanas en ciudades muy grandes	

2.5.5.- Diseño volumétrico de la mezcla

Los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica que se indican en la Tabla 9. El contenido de asfalto óptimo será el necesario para obtener un porcentaje de vacíos de aire (Va) en la mezcla del 4%, cumpliéndose además los requerimientos indicados en la Tabla 9 y 10. La fabricación de los especímenes debe realizarse en el compactador giratorio Superpave de acuerdo con la Recomendación **AMAAC RA-06/2011**. (Asociación Mexicana del Asfalto A.C., 2011)



Tabla 12. Valores de los parámetros volumétricos necesarios para el diseño óptimo de una mezcla asfáltica de granulometría densa

Requerimientos para el diseño volumétrico de la mezcla										
Nivel de Tránsito	Densidad requerida (% de la gravedad específica teórica máxima - Gmm)			Vacíos de agregado mineral mínimo en %- VMA					Vacíos llenos de asfalto	Relación filler asfalto
	Nivel de compactación giratoria			Tamaño nominal (mm)						
	Nini	Ndis	Nmax	37,5	25	19	12,5	9,5		
I Bajo	≤ 91,5	96	≤ 98	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	70 – 80	0,6 – 1,2
II Medio	≤ 90,5								65 – 78	
III Alto	≤ 90,5								65 – 78	
IV muy alto	≤ 89								65 – 75	

Tabla 13. Esfuerzo requerido para la compactación giratoria según el tránsito esperado en el carril de diseño

Ejes equivalentes (millones)	Parámetros de Compactación		
	Nini	Ndis	Nmáx
<0,3	6	50	75
0,3<3	7	75	115
3<30	8	100	160
>30	9	125	205

Tabla 14. Determinación de los Parámetros Volumétricos de la Mezcla

Fórmula de la propiedad volumétrica	Significado de las variables
Gravedad específica neta, Gsb $G_{sb} = \frac{P_1 + p_2 \dots + P_N}{\frac{p_1}{G_1} + \frac{p_2}{G_2} + \dots + \frac{p_N}{G_N}}$	Gsb = Gravedad específica neta para el agregado total P1, P2, Pn = porcentajes individuales por masa de agregado G1, G2, Gn = Gravedad específica neta individual del agregado



<p>Gravedad específica efectiva, Gse</p> $G_{se} = \frac{P_{mm} - p_b}{\frac{p_{mm}}{G_{mm}} - \frac{p_b}{G_b}}$	<p>Gse = gravedad específica efectiva del agregado Gmm = gravedad específica teórica máxima, obtenida en laboratorio Pmm = porcentaje de masa del total de la mezcla suelta= 100 Pb = contenido de asfalto con el cual ASTM D2041/ AASHTO T 209 desarrollo el ensayo ; el porcentaje por el total de la mezcla Gb = gravedad específica del asfalto</p>
<p>Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica. Gmm</p> $G_{se} = \frac{P_{mm}}{\frac{p_s}{G_{se}} + \frac{p_b}{G_b}}$	<p>Gmm = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla del pavimento (sin vacíos de aire) Pmm = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta= 100 Ps = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla Pb = contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla Gse = Gravedad específica del agregado Gb = gravedad específica del asfalto</p>
$gmb = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$	<p>Gmb = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 ó D 2726) Wa = masa de la probeta en el aire</p>
<p>Vacíos del agregado mineral, VAM</p> $VAM = 100 - \frac{Gmb \times P_s}{Gsb}$	<p>VAM = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto) Gsb = gravedad específica neta del total de agregado Gmb= gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada Ps = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica</p>
<p>Vacíos en el agregado mineral, VAM. Si la composición de la mezcla es determinada como el porcentaje de la masa del agregado.</p> $VAM = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right) \left(\frac{100}{100 + P_b} \right) (100)$	<p>Pb = contenido de asfalto, porcentaje de la masa del agregado</p>
<p>Vacíos de aire, Va</p> $Va = (1) \left(\frac{Gmb}{Gmm} \right) (100)$	<p>Va = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total Gmm = Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica Gmb = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada</p>



<p>Vacíos llenados con asfalto, VFA</p> $VFA = \left(\frac{VAM - Va}{VAM} \right) (100)$	<p>VFA = vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VAM VAM = vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total Va = vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total</p>
$P_{ba} = (100) \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \right) (G_b)$	<p>Pba = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado Gse = gravedad específica efectiva del agregado Gsb = gravedad específica neta del agregado Gb = gravedad específica del asfalto</p>
$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$	<p>Pbe = contenido de asfalto efectivo, porcentaje del total de la mezcla. Pb = contenido de asfalto, porcentaje de la masa de la mezcla Pba = asfalto absorbido, porcentaje de la masa de la mezcla</p>

Secuencia de cálculo de propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica

2.6.- Pruebas a las mezclas asfálticas de alto desempeño

Para medir el desempeño de este método, se evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfalto), y su interacción cuando están mezclados.

2.6.1.- Propiedades de Consenso

Las propiedades de consenso son: angularidad del agregado grueso; angularidad del agregado fino; partículas alargadas y aplanadas; y equivalente de arena.

2.6.2.- Propiedades de la fuente de origen

Además de las propiedades de consenso, hay otras características críticas del agregado que podrían también usarse como un control de aceptación de la fuente de origen. Las propiedades son: la tenacidad mediante la prueba de desgaste de Los Ángeles; la durabilidad a través de la prueba de intemperismo acelerado; y la prueba de materiales. (Garnica Anguas, 2005)



2.6.3.- Pruebas al Cemento Asfáltico

Las pruebas en cementos asfálticos miden las propiedades físicas que pueden estar directamente relacionadas con el desempeño en campo y son llevadas a temperaturas a las que se encuentran los pavimentos en servicio.

- Las pruebas realizadas en el asfalto original, representan la primera etapa: transportación, almacenamiento, y manejo.
- La segunda etapa representa el asfalto durante la producción, mezcla y construcción; es simulada por las especificaciones mediante el envejecimiento del asfalto en el Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO). Este procedimiento expone una película delgada de asfalto a calor y aire para aproximar el envejecimiento que sufre el asfalto durante su mezcla y construcción.
- La tercera etapa ocurre cuando envejece el cemento asfáltico desde que se coloca en la mezcla asfáltica, y carpeta asfáltica, hasta el fin de su vida de diseño para la cual fue planeado. Esta etapa se simula en la vasija de envejecimiento a presión (PAV), mediante la exposición de muestras de asfalto a calor y presión, para representar el envejecimiento del pavimento a lo largo de los años de servicio.

Tabla 15. Pruebas utilizadas en el Protocolo AMAAC y el propósito de las mismas

Equipo	Propósito
Horno rotatorio de película delgada (RTFO) Vasija de envejecimiento a presión (PAV)	Simula las características del envejecimiento
Reómetro de corte dinámico (DRS)	Mide las propiedades del asfalto a temperaturas altas e intermedias
Viscosímetro rotacional (RV)	Mide las propiedades del asfalto a altas temperaturas
Reómetro de viga en flexión (BBR) Ensayo de tensión directa (DTT)	Mide las propiedades del asfalto a bajas temperaturas



Tabla 16. Materiales constitutivos de la mezcla de agregados

Material	Porcentaje de aporte a la mezcla total
Grava (3/4" – 3/8")	30
Material para sello (3/4" – No.4)	25
Arena de trituración (Pasa No.4)	45
Total	100

2.7.- Equipo de ensaye

2.7.1- Horno de Película Delgada Rotacional (RTFO)

Se utiliza para dos propósitos. Uno es proveer un envejecimiento al cemento asfáltico que puede usarse en pruebas posteriores de propiedades físicas. La segunda es determinar la cantidad de masa de aceites volátiles perdida del asfalto durante el mezclado. La masa de aceites volátiles perdida, es una indicación de que el envejecimiento pudiera ocurrir en el asfalto durante las operaciones de mezclado y construcción.



Figura 10. Horno rotatorio de película delgada (RTFO)



2.7.2.- Vasija de envejecimiento a presión (PAV)

Este dispositivo se desarrolló para simular el envejecimiento en servicio. El PAV expone al asfalto a presiones y altas temperaturas durante 20 h para reproducir el efecto del envejecimiento a largo plazo. El asfalto que se expone al envejecimiento a largo plazo tiene que haber pasado por el proceso de mezclado y construcción; el procedimiento PAV utiliza el asfalto envejecido en el RTFO. (Garnica, 2003)

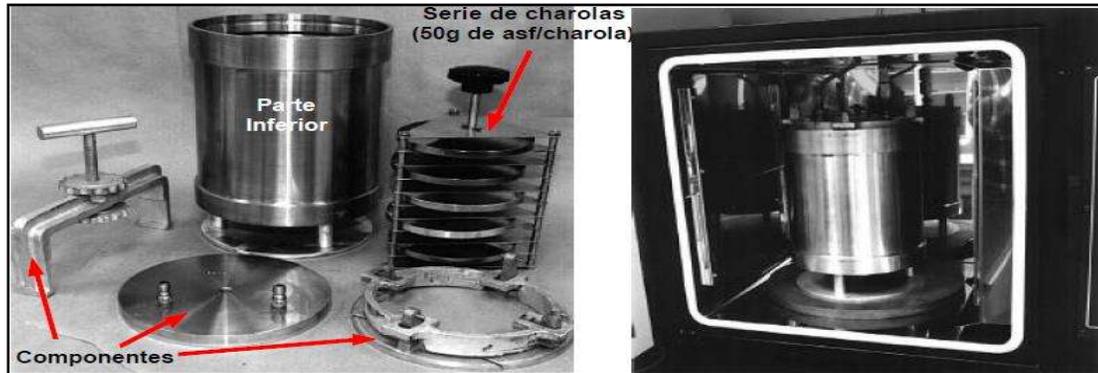


Figura 11. Vasija de envejecimiento a presión (PAV)



2.7.3.- Reómetro de corte dinámico (DSR)

La caracterización de los ligantes asfálticos en el DSR con el fin de evaluar su contribución a resistir las deformaciones plásticas en la mezcla, con base en la medición del parámetro reológico $G^*/\sin \delta$. La prueba se realiza a los asfaltos en su estado original y envejecido en el horno RTFO.



Figura 12. Reómetro de corte dinámico (DSR)



2.7.4- Viscosímetro Rotacional (RV)

La prueba del viscosímetro rotacional (Figura 13) se utiliza para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla asfáltica en el laboratorio. Se determinan las viscosidades a distintas temperaturas, y se construye una carta de viscosidad en donde se seleccionan las temperaturas de mezclado y compactación correspondientes a los rangos de viscosidades de 0.17 ± 0.02 y 0.28 ± 0.03 Pa.s respectivamente. (Garnica Anguas, 2005)

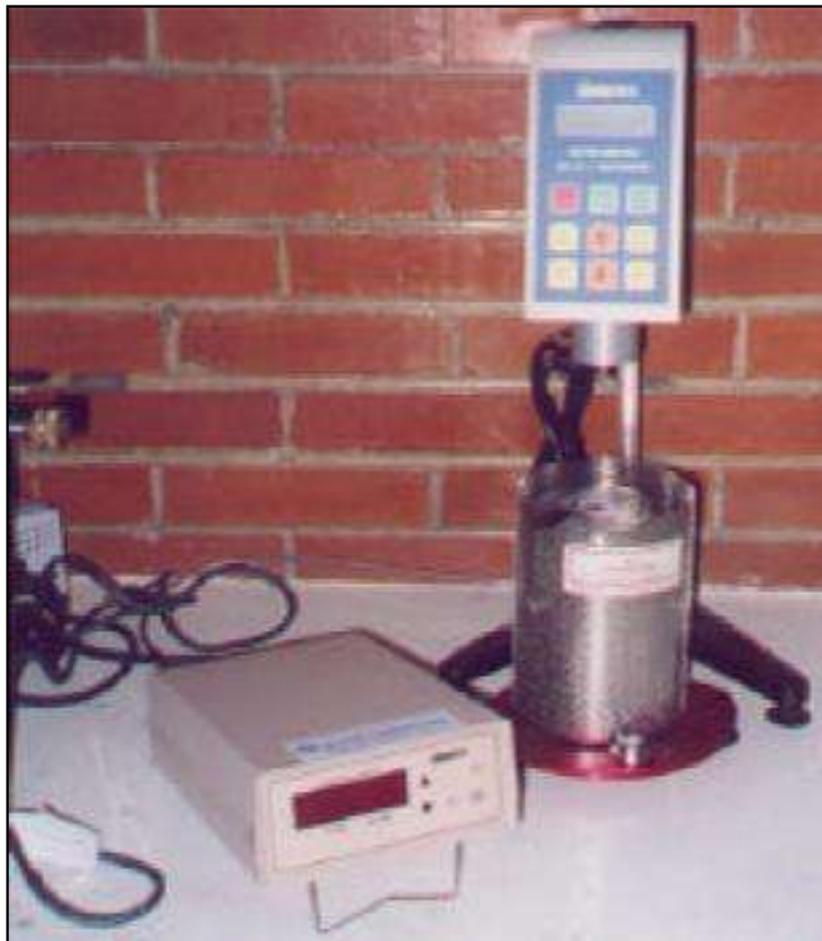


Figura 13. Viscosímetro Rotacional (RV)



2.7.5- Reómetro de flexión en vigas (BBR)

Los asfaltos son demasiado rígidos a bajas temperaturas, lo que hace que la mayoría de los reómetros dinámicos de corte que utilizan la geometría de placas paralelas, no puedan emplearse en forma confiable en tales condiciones.

El ensayo mide de manera precisa la rigidez y la velocidad de fluencia a temperaturas que representen las más bajas que puedan presentarse en el pavimento. El BBR se utiliza para medir qué tanto se flexiona o fluye el asfalto bajo una carga con temperatura constante y temperaturas que corresponden a las más bajas de servicio en el pavimento, para las que el asfalto actúa más bien como un sólido elástico. (Garnica, 2003)



Figura 14. Reómetro de flexión en vigas (BBR)



Usando conjuntamente las pruebas del reómetro de corte dinámico y del reómetro de flexión en vigas se podrá proveer el comportamiento de la rigidez de los cementos asfálticos alrededor de un gran rango de temperaturas.

2.7.6- Equipo de tensión directa (DT)

Numerosos estudios de comportamiento de cementos asfálticos a bajas temperaturas han mostrado una fuerte relación entre la rigidez del cemento asfáltico y la cantidad de alargamiento a que se somete antes de la ruptura. Asfaltos que se sujetan a un alargamiento considerable antes de la falla son llamados “dúctiles”; aquellos que se fracturan sin mucho alargamiento se conocen como “quebradizos”. Es importante que un cemento asfáltico sea capaz de una mínima cantidad de alargamiento. Típicamente, asfaltos más rígidos son más quebradizos y asfaltos más suaves son más dúctiles.

La prueba se da en rangos temperaturas donde el asfalto generalmente exhibe un comportamiento quebradizo 0°C a -36°C. Además, la prueba se ejecuta sobre asfaltos envejecidos tanto en el RTFO como en el PAV.

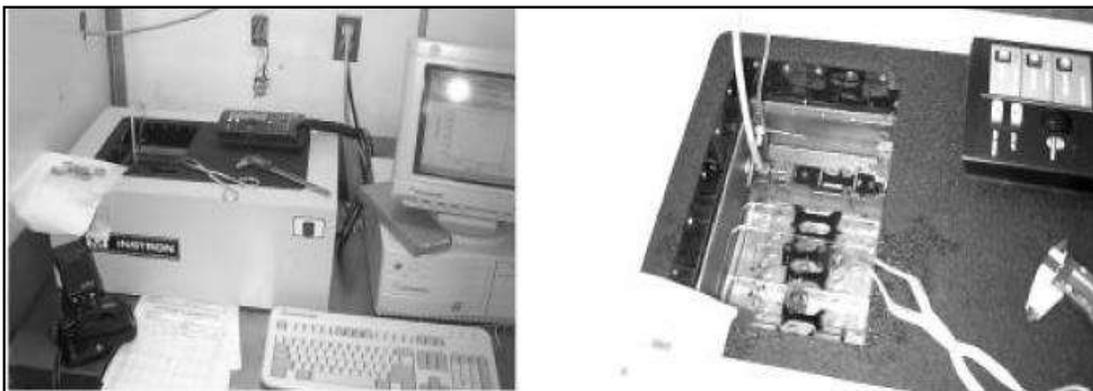


Figura 15. Equipo de tensión directa (DT)



La rigidez en fluencia es medida por el BBR y no es adecuada para caracterizar completamente la capacidad del asfalto por alargamiento hasta la rotura. Este requerimiento adicional aplica sólo para asfaltos que tienen una rigidez en fluencia en el BBR entre 300 a 600 MPa. Si esa rigidez está debajo de 300 MPa, adicionales, requerimiento y pruebas no son necesarias.

2.7.7.- Compactador Giratorio

En la compactación de la mezcla asfáltica caliente se utiliza el compactador giratorio. Una de las versatilidades del compactador giratorio son las mediciones de los esfuerzos de corte durante el proceso de compactación. (Garnica Anguas, 2005)



Figura 16. Compactador giratorio



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2.8.- Susceptibilidad a la deformación permanente

A continuación, referimos los métodos de simulación más empleados en nuestro país.

2.8.1.- Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)

La evaluación de la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la deformación permanente, se realiza mediante el ensayo de rueda cargada en el APA. El procedimiento de la prueba se describe a continuación:

1. Las probetas se acondicionan en el horno a la temperatura de prueba (64°C) por un espacio de 6 h previo al ensaye.
2. Se enciende el equipo, y desde el software de operación se introduce la temperatura de prueba en el panel de control principal.
3. Se lleva a cabo la calibración de las ruedas del APA mediante una celda de carga (Figura 25), a fin de asegurar que cada rueda aplique una fuerza de 100 lb durante el desarrollo de la prueba.
4. En el panel de control del ensayo de deformación permanente (Figura 26), se especifica el tipo de probeta (viga o moldes cilíndricos); número de ciclos; presión de las mangueras; posición de los medidores de deformación (LVDT,s), entre otros parámetros. La prueba se ejecutó a 8 000 ciclos, con una presión de aire en las mangueras de 100 lb/pulg².
5. Una vez que el equipo ha alcanzado los 64 °C se sacan las probetas del horno y se colocan las probetas dentro de los moldes de plástico, mismos que se introducen en el APA de tal forma que queden centrados por debajo de cada rueda (Figura 27. a). (Garnica Anguas, 2005)

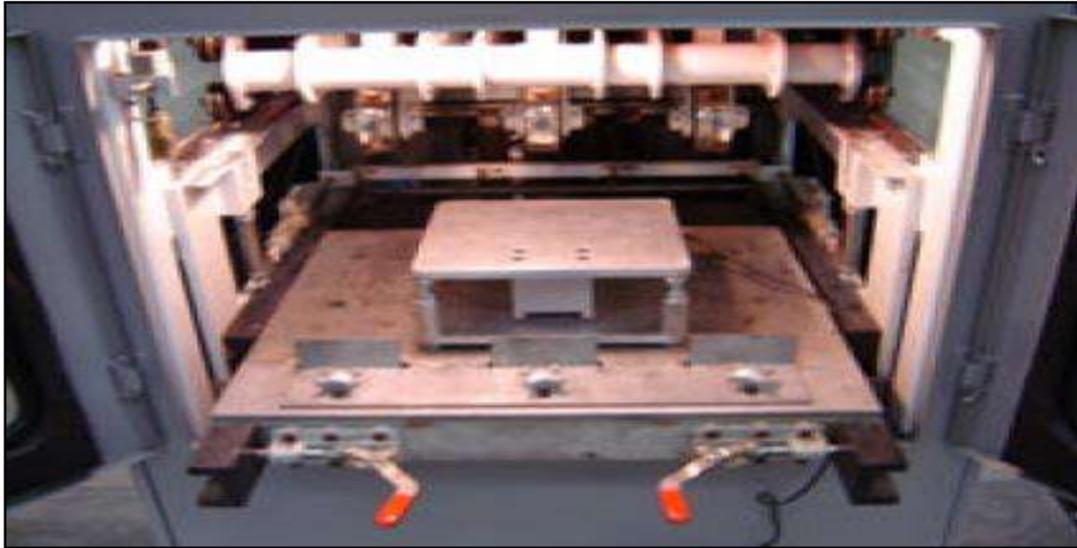


Figura 17. Calibración de las ruedas del APA

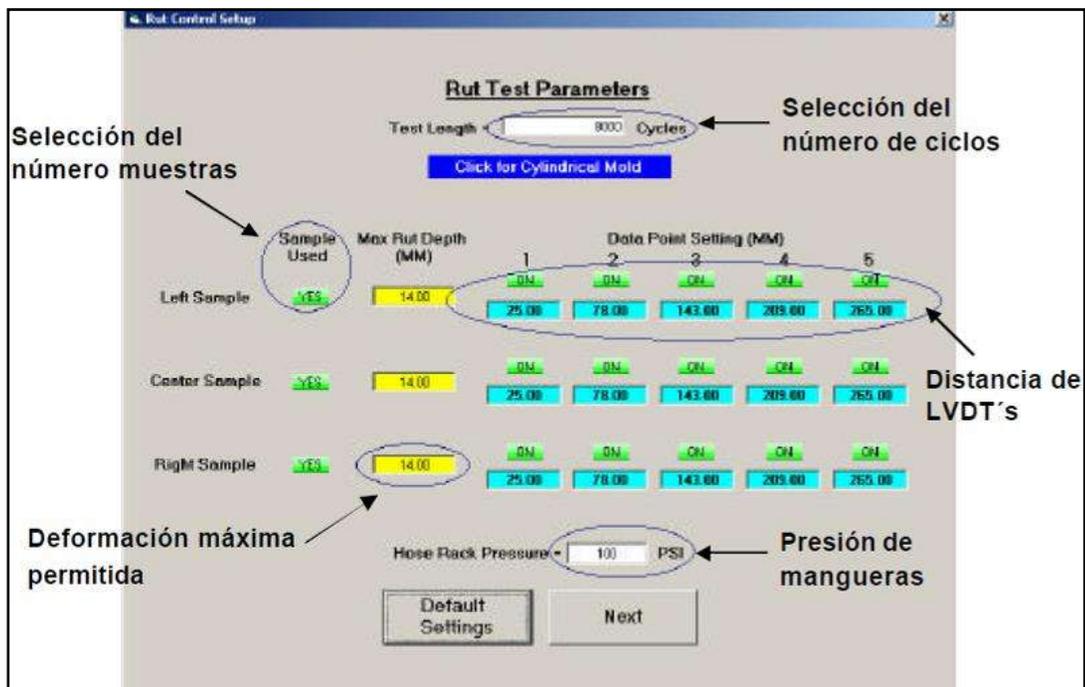


Figura 18. Panel de control para el ensaye de deformación permanente en el APA



Figura 19. Evaluación de la deformación permanente en el APA

La prueba termina una vez completados los 8 000 ciclos, la Figura 19 muestra la apariencia de las probetas después del ensayo de deformación permanente en el Analizador de Pavimentos Asfálticos. En la Figura 20 se aprecia una curva típica de la evolución de la deformación permanente durante la prueba.

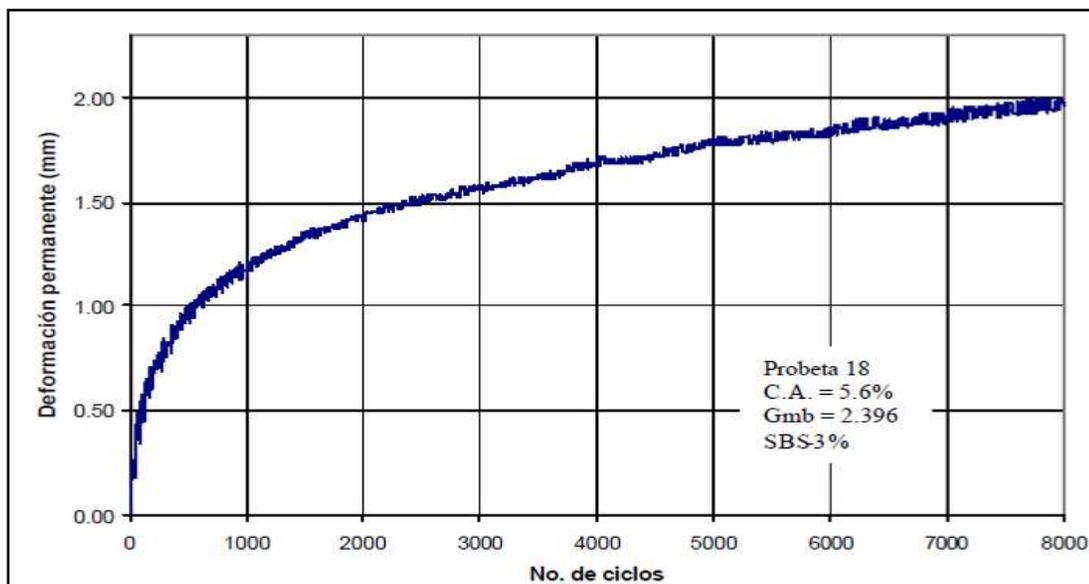


Figura 20. Gráfica de deformación permanente en el APA



2.8.2.- Rueda Cargada de Hamburgo (HWTD)

La rueda cargada de Hamburgo (HWTD) la desarrolló la compañía Helmit-Wind, de Alemania. Se utiliza como especificación en algunas de las carreteras más transitadas para evaluar la deformación permanente y la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la humedad (stripping).

Figura 21, se ensaya una viga de 260 mm de ancho, 320 mm de largo , y 40 mm de alto (10.2 x 12.6 x 1.6 pulgadas). Estas vigas se compactan por lo regular hasta un porcentaje de vacíos de aire de 7 ± 1 % mediante un compactador lineal de amasado (linear kneading compactor). (Garnica Anguas, 2005)



Figura 21. Rueda cargada de Hamburgo (HWTD)



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

El espécimen se prueba sumergido bajo el agua, a temperaturas que pueden estar entre los 25°C y 70°C, siendo 50°C la temperatura de ensaye más común. Se aplica una carga de 158Lbs mediante una rueda de acero de 47mm de diámetro.

La rueda de acero cargada realiza entonces movimientos de ida y vuelta sobre las vigas, hasta completar un total de 20 mil pasadas o hasta que ocurra 20 mm de deformación; lo que se presente primero. La velocidad de la rueda es aproximadamente de 340 mm por segundo. (Garnica Anguas, 2005)

2.8.3.- Pista Española

Figura 22, Resistencia a la Deformación Plástica de las Mezclas Asfálticas mediante la Pista de Ensayo de Laboratorio, conforme a la norma **UNE-EN-12697-22:2008+A1**.

Esta prueba consiste en someter una probeta de la mezcla asfáltica, al paso de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.



Figura 22. Pista española de laboratorio



El equipo consta de una cámara controlada termostáticamente que proporciona una temperatura constante durante todo el ensayo, con una variación máxima de ± 1 °C. Cuenta con una rueda metálica dotada de una banda de rodadura de goma maciza de 50 mm de ancho y 20 mm de espesor, con una dureza de 80 en la escala de Dunlop. La presión de contacto normalizada de la rueda sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo, es de 900 ± 25 KN/m². La deformación que sufren los especímenes durante el ensayo se mide mediante un transductor colocado en la misma posición de la rueda. El recorrido de ensayo es de 230 ± 10 mm y una frecuencia de 26.5 ± 1 ciclos de carga cada 60 s.

El ensayo se lleva a cabo a una temperatura de 60 ± 1 °C y una presión de contacto de 900 ± 25 KN/m², para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. Existen dos tipos de prueba A y B, en la tabla siguiente se muestran los parámetros para cada prueba.

Tabla 17. Configuración de la prueba de la Pista Española

Tipo de prueba	No. de ciclos	Deformación permitida, mm	Tiempo, minutos
A	1 000	15	38
B	10 000	20	377

La prueba puede terminar cuando se termine el número de ciclos programado o cuando se alcance la deformación permitida, lo primero que ocurra. Los ciclos se definen como dos pasadas, ida y vuelta, de la rueda cargada. (Ordoñez, 2014)



CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.- Información del Tramo

3.1.1.- Ubicación

Definir la ubicación de un tramo determinando, dimensiones, conceptos y cantidades de obra, así como los costos aproximados, a nivel preliminar, de la mejor alternativa para la conservación de un tramo carretero desde los puntos de vista económico, ambiental, social, político y cultural constituya la mejor solución para la región y el país en su conjunto, mediante el análisis de los aspectos de tránsito, topográficos, geológicos, hidrológicos, de uso del suelo, de los planes regionales y nacionales de desarrollo, de la legislación ambiental regional y nacional, así como de los sitios arqueológicos y demás conceptos culturales que deben preservarse. La selección del tramo es un proceso que involucra varias actividades, desde el acopio de datos, el estudio y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios que permitan determinar los costos y las ventajas de las diferentes rutas para elegir la más conveniente. Esta es una de las fases más importantes del proyecto de una carretera.

3.1.2.- Geomorfología

Se requiere la información topográfica, geológica, edafológica y de uso del suelo más actualizada, a escalas 1: 250,000, 1: 50,000 y otras, disponibles en INEGI y otras dependencias oficiales y privadas, en forma digital o vectorial, geo referenciada. También resultan de gran utilidad las orto fotografías y las fotografías aéreas de INEGI o de empresas privadas a diversas escalas y fechas de vuelo. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3.1.3.- Datos de tránsito

Los datos históricos de tránsito y su clasificación detallada pueden obtenerse de los libros de Datos Viales que publica la Secretaría de Comunicaciones y Transportes anualmente y que pueden consultarse por internet; asimismo, de estas publicaciones se puede deducir información relevante como las tendencias de crecimiento del tránsito, entre ellas la Tasa de Crecimiento Anual (TCA). También se pueden consultar por internet estudios de Origen y Destino que pueden complementarse con estudios específicos en la zona de influencia del proyecto, los cuales son insumos básicos para el cálculo de asignación del tránsito para el horizonte de proyecto.

3.1.4.- Datos hidrológicos e hidráulicos

Si al construir una carretera se altera notablemente el equilibrio natural de alguna de las corrientes que cruza, el agua busca de nuevo su equilibrio modificando las características hidráulicas y geométricas de su cauce, y en ese proceso, puede causar severos daños. El buen funcionamiento de una obra de drenaje depende de su adecuada ubicación y de que tenga capacidades hidráulica y estructural suficientes.

Con el fin de ubicar y dimensionar las obras de drenaje menor, los puentes y los viaductos que requiere cada alternativa de ruta, se debe consultar la información hidrológica disponible, como las gráficas de precipitación por cuencas en la región del proyecto, las precipitaciones máximas registradas, los gastos y las velocidades de las corrientes principales, las isoyetas y los periodos de retorno de las avenidas máximas extraordinarias especificadas por la Comisión Nacional del Agua a fin de realizar el diseño de las obras de cruce. Para cada obra menor o mayor se requiere contar con las características de la cuenca en cuanto a su superficie, vegetación, geomorfología, suelos, erosión o depósito, así como las características de las estructuras existentes, en su caso.



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3.1.5.- Datos geológicos y geotécnicos

En entidades oficiales como INEGI, el Instituto de Geología y el Consejo de Recursos Minerales pueden obtenerse mapas geológicos del país a Esc. 1:100,000 y 1:50,000, los que complementados con cartas edafológicas de INEGI y fotografías aéreas e imágenes satelitales, permiten conocer en forma general, las formaciones y fallas geológicas, rocas y suelos existentes en la zona del proyecto e identificar zonas de suelos inestables para buscar evitarlas o de no ser posible, estudiar soluciones realizables. Esta información servirá también para conocer los usos probables de los materiales de los cortes, para su aprovechamiento en la formación de la estructura del camino, y en forma preliminar, los bancos de materiales para terracerías, pavimentos y estructuras.

3.1.6.- Datos de planes de desarrollo urbano, regionales y estatales

Los planes de desarrollo urbano contienen el plan maestro de uso futuro de los terrenos de un municipio, una ciudad o una región para fines residenciales, comerciales, industriales, para servicio público, escolares, deportivos, agrícolas, bosques o reserva territorial. Esta información puede obtenerse localmente y debe estar actualizada y complementada con los mapas de uso del suelo que produce INEGI, para considerarlos durante el estudio de ruta, de manera que la nueva carretera o la modernización de la existente, se integren y sea tomada en cuenta con los planes de desarrollo referidos. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

3.2.- Efecto de la temperatura y del medio ambiente

A lo largo de su vida de servicio, el pavimento está expuesto a cambios de temperatura en el día y por los cambios de clima en el año. Los gradientes de temperatura a las que está expuesto, también varían por el lugar en el que esté ubicada la carretera, aunque por la posición geográfica de México.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Los efectos más perjudiciales por temperatura se tienen en las zonas más calurosas, siendo común medir temperaturas máximas en la superficie de rodadura, de hasta 70 ° C. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.2.1.- Análisis de las Condiciones Ambientales

Resulta muy importante la influencia que tiene el medio ambiente en el pavimento, como ya se ha comentado anteriormente, por lo que es necesario obtener las características de los fenómenos meteorológicos en el lugar en donde se ubica una carretera. La información que es útil corresponde a los aspectos siguientes:

- Clima Predominante
- Precipitación Pluvial
- Temperaturas Máxima y Mínima

Para el caso de México generalmente se recurre a la información estadística que aportan las estaciones meteorológicas y se utilizan los criterios de clasificación del clima “Köppen-Geiger”.

A través de mapas regionales en donde se puede ubicar el lugar de la carretera y consultando las Tablas de Clasificación “Köppen-Geiger” se obtienen las características climatológicas que prevalecen en un determinado lugar (Figura 23).

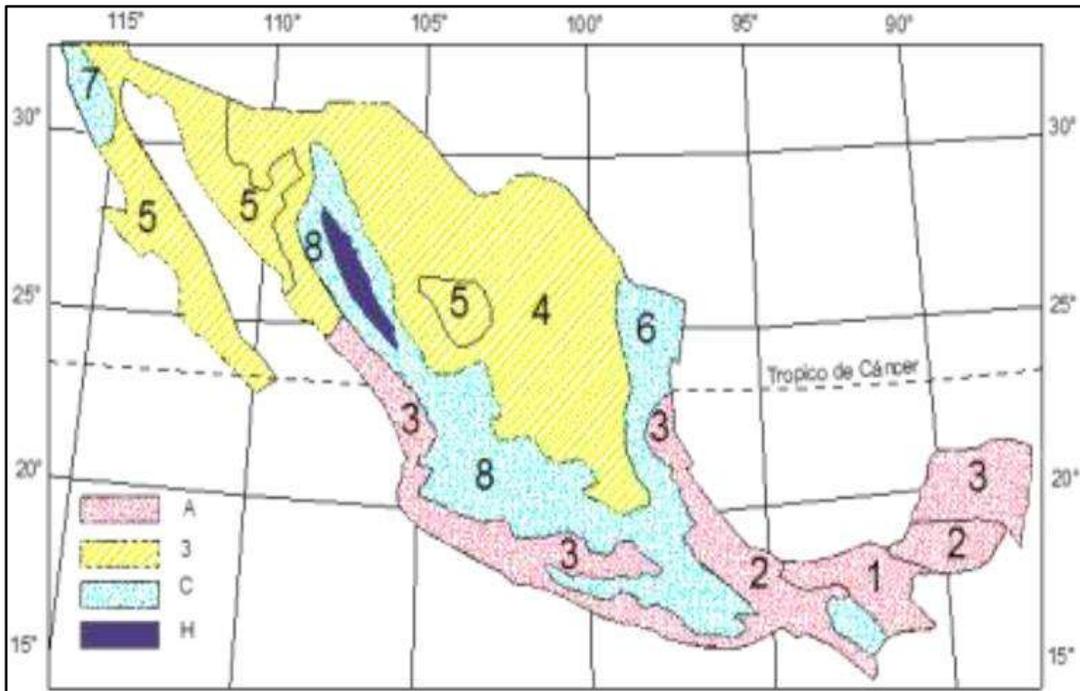


Figura 23. Mapa de regiones de México para la clasificación del clima

Es importante considerar los efectos del clima en la aplicación de los métodos de diseño con los que se definirán las alternativas de conservación de una carretera. Particularmente se pueden considerar soluciones de rehabilitación o de tipo de materiales para que se asegure un mejor comportamiento y la durabilidad previstos en el diseño. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.3.- Levantamiento topográfico

En la evaluación del pavimento de un tramo de carretera para definir su conservación, es necesario realizar un levantamiento topográfico para revisar las condiciones de alineamiento vertical y horizontal, así como para formular el proyecto de la nueva rasante, cuando se trata de una rehabilitación o reconstrucción.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

También se utiliza el levantamiento topográfico como referencia para definir los volúmenes de materiales que se utilizarán en los trabajos de conservación y para la cuantificación de los volúmenes de materiales colocados, al término de la conservación efectuada.

En estos trabajos se utilizan estaciones totales, niveles fijos y de mano, estadales y balizas, así como diversos accesorios topográficos. Comúnmente se realiza un “replanteo” del trazo del eje del tramo por evaluar, con referencia a dos bancos de nivel fijos permanentes por cada kilómetro (mojoneras de concreto hidráulico) ubicados a los lados de la corona de la carretera. El levantamiento o replanteo del trazo se efectúa a través de estacas colocadas a un lado de la corona, en los puntos principales del alineamiento horizontal y a cada 20 metros o menos en zona de curvas.

El levantamiento horizontal incluye, además del trazo del camino, los detalles aledaños que se encuentren a lo largo y ancho del eje, tales como vías de comunicación, obras de drenaje, líneas y ductos de conducción diversa, cercas, construcciones cercanas al derecho de vía, etc.

También se realiza un levantamiento vertical del eje del trazo y de las secciones transversales del camino, a cada 20 metros, con un ancho que abarque el derecho de vía o en donde existan terraplenes y cortes, hasta los “ceros” o nivel final constructivo, indicando principalmente los límites de la corona y los puntos de quiebre notorios de la sección. Generalmente en los Términos de Referencia que formulan las Dependencias responsables de las obras, para el desarrollo de la evaluación, estudio y proyecto, se indican las condiciones de trabajo, las comprobaciones topográficas, las aproximaciones y las tolerancias que deberán observarse en el levantamiento topográfico de un tramo en estudio.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

La información topográfica obtenida en el levantamiento, se presenta en formatos de registro de datos y con ella se elaboran con el apoyo de programas de cómputo, diversos planos específicos con el alineamiento horizontal y vertical del tramo en estudio, así como con las secciones transversales del eje.

Con esta información se formula en la etapa de proyecto los planos Tipo de secciones y perfiles de la nueva rasante, para la solución de conservación seleccionada.

Para obtener mayor detalle sobre el levantamiento topográfico de tramos de carreteras, se puede consultar la serie de normas contenidas en la Normativa SCT, con la denominación **N-PRY-CARV-1-01** Estudios Topográficos. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.4.- Levantamiento de fallas en el pavimento

La manera tradicional para evaluar las fallas que presente un pavimento, consiste en realizar un levantamiento de los deterioros que presente la superficie de rodadura con recorridos a pie para revisar kilómetro por kilómetro la carretera en estudio.

Las fallas pueden deberse a diversas causas, siendo las más comunes una estructura deficiente del pavimento, el clima y el drenaje prevalecientes, así como deficiencias de construcción por un control de calidad inadecuado.

Se califican los defectos conforme al grado de severidad observado y se determina el porcentaje de área dañada, con relación a la superficie total del pavimento, anotando los resultados en un Formato Tipo.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Conforme con este formato de evaluación, los deterioros se agrupan en dieciséis tipos, de los cuales tres se refieren a deformaciones, cinco a agrietamientos en la superficie y ocho a defectos atribuibles a la mala calidad de los materiales o al procedimiento constructivo.

Por otra parte, la severidad de los daños se clasifica en cinco niveles, como 1 (muy ligeros), 2 (ligeros), 3 (moderados), 4 (severos) y 5 (muy severos), de acuerdo a la importancia o magnitud de los defectos observados, y debe definirse la extensión en que se presentan, de acuerdo a cinco niveles del área afectada, definida como: menos de 10%, entre 10 y 20%, entre 20 y 50%, entre 50 y 80% y más de 80%, todo con relación al área total de la superficie del pavimento.

La valoración de cada tipo de falla también debe relacionarse con las posibles causas que la originan, para lo cual se utiliza alguno de los Catálogos disponibles, como son: el Catálogo de Fallas de Pavimentos elaborado por la Dirección General de Conservación de Obras Públicas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en 1984, el Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas elaborado por el Instituto Mexicano del Transporte en 1991, y los Catálogos de Deterioros de Pavimentos Flexibles y Rígidos elaborados por el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica en 2002.

Adicionalmente se pueden disponer de algunos más, recomendándose especialmente a los interesados la consulta de los Catálogos denominados: “DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL for the Long-Term Pavement Performance Program” de la FHWA de los EUA, así como el “Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles” de la República de Colombia, porque presentan una información bastante detallada y objetiva de todas las fallas en los pavimentos y de sus causas.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Como ya se comentó en esta misma sección, en la parte de la descripción de las Principales Fallas en Pavimentos y su Origen, para homologar criterios que definen el grado de severidad y el porcentaje de área dañada, se recomienda utilizar los que se indican en los Catálogos de Deterioros de Pavimentos Flexibles y Rígidos elaborados por el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.4.1.- Falla funcional

Se considera una falla de tipo funcional, cuando sólo afecta la capa de rodadura de la carretera, la cual tiene una repercusión directa en las expectativas de satisfacción y seguridad de los usuarios.

Como es de esperarse, la capa de rodadura debe proporcionar una superficie cómoda, a través de una adecuada regularidad superficial; también debe ser impermeable, para evitar la infiltración del agua pluvial a las capas inferiores del pavimento; y además debe tener un coeficiente de fricción elevado para proporcionar seguridad en el frenado y el tránsito de los vehículos:

Estas características de comodidad, impermeabilidad y seguridad, deben mantenerse bajo las cargas repetidas del tráfico y las cambiantes condiciones atmosféricas, durante el tiempo de servicio previsto en el proyecto.

Los indicadores que definen la funcionalidad de la capa superior del pavimento, son la regularidad superficial, la adherencia neumático-superficie de rodadura, la permeabilidad, el ruido por el paso del tráfico y las características reflectantes.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Ejemplos de fallas de tipo funcional son: la deformación y desplazamiento lateral de la capa asfáltica, el desprendimiento de partículas, el agrietamiento de la capa de rodadura, el deslizamiento o “arriñonamiento” de la capa superficial, el descascaramiento de la capa superficial, los baches superficiales, la exudación o “llorado” del asfalto, etc. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.4.2.- Falla estructural

Se define una falla estructural, cuando el deterioro afecta total o parcialmente la estructura del pavimento. Este tipo de falla es ocasionada por deficiencias de la estructura, que es definida por el diseño del pavimento y por la calidad de los materiales utilizados en la construcción, así como también por las condiciones de acomodo y capacidad drenante para desalojar el agua de infiltración.

Cuando se presenta una falla de tipo estructural, es necesario analizar detenidamente la forma en que el pavimento puede ser rehabilitado o reconstruido, porque las soluciones generalmente representan un mayor costo.

Para ello es importante que se determinen las características de calidad y los parámetros de desempeño de los materiales, como son la resistencia a la compresión o a la tensión, los módulos elásticos, la deformación o ahuellamiento de la mezcla asfáltica y la resistencia a la fatiga, para que en el análisis de las opciones de rehabilitación mediante los métodos de diseño aplicables, se defina una nueva estructura y los tratamientos de reutilización de los materiales existentes o los nuevos materiales que se requerirán, en el caso de una reconstrucción del pavimento.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Ejemplos de fallas estructurales son la deformación permanente, el agrietamiento por fatiga y podrían considerarse los baches profundos, cuando abarcan un área notable de la superficie del pavimento. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.5.- Daños y deterioros

La mejor forma de identificar las fallas del pavimento y determinar porqué se han producido, es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento deseablemente una vez al año, preferiblemente al comienzo de la primavera. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla. Además de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no-destructivas para determinar la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

3.5.1.- Procedimientos

De manera sintética y práctica se enuncia a continuación la metodología empleada:

- Se realiza el levantamiento topográfico del tramo estudiado.
- Se realiza el recorrido del tramo en estudio. El calificador debe ir a bordo de un vehículo automotor que circulara a una velocidad promedio de 10 km/hr. durante el recorrido el calificador deberá indicar el tipo de deterioro que se presenta, su área de influencia y la severidad que presenta. Los tipos de deterioro que se consideraron para el levantamiento se incluyen en la Tabla 21.
- La información obtenida durante el levantamiento se transfiere en gabinete a los formatos correspondientes y se realizan los cálculos indicados en el manual para calificar las condiciones de servicio en caminos de cuota de CAPUFE.
- Este último paso determina el estado físico del camino



Tabla 18. Tipos de deterioros

		DETERIORO	UNIDAD
TEXTURA		Perdida del agregado grueso	m2
		Perdida del agregado fino	m2
		Exudación de asfalto	m2
		Pulimiento de agregados	m2
		Desprendimiento de carpeta	m2
AGRIETAMIENTO		Longitudinal	m
		Transversales	m
	De mapa	En la rodera	m2
		Al centro del carril	m2
		En borde de pavimento	m2
	Piel de cocodrilo	En la rodera	m2
		Al centro del carril	m2
		En borde de pavimento	m2
	De reflexión	En la rodera	m2
		Al centro del carril	m2
En borde de pavimento		m2	
OTROS		Calavereo	m2
		Baches sin tapar	m2
		Baches tapados	m2

A continuación, se describen de manera general los deterioros en pavimentos flexibles más comunes:

Fisuras y grietas por fatiga

Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

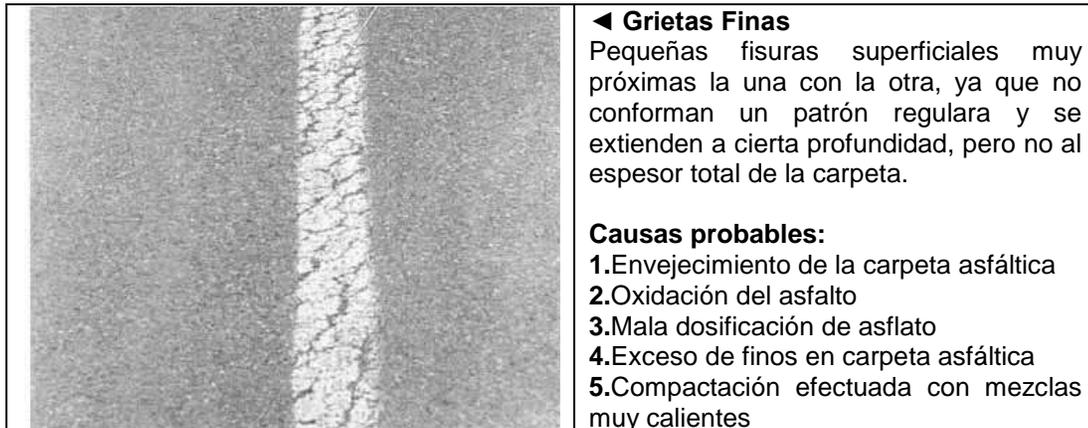


Figura 24. Grietas finas, definición y causas probables

Fisuras y grietas en bloque

En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, se pueden encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo debido al tránsito. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

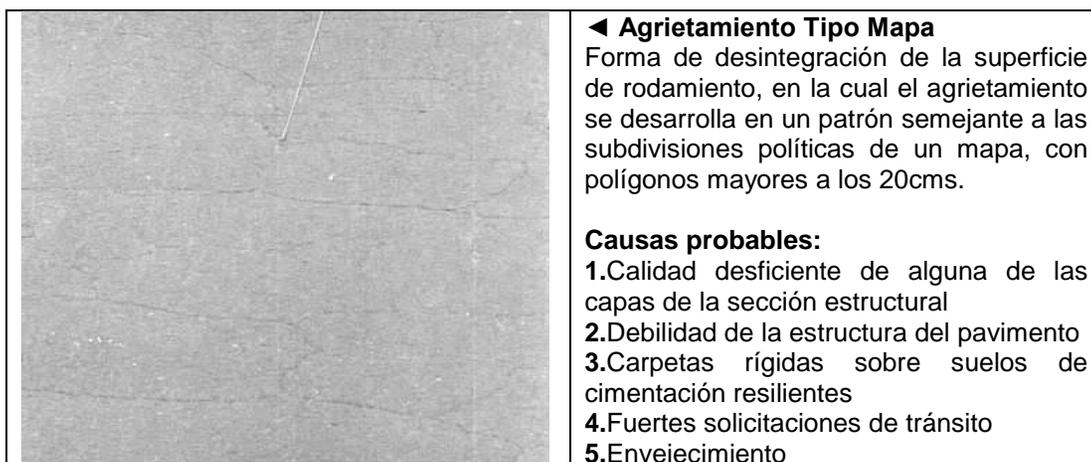


Figura 25. Agrietamiento tipo mapa, definición y causas probables



Grietas de borde

Son grietas con tendencia longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel de la berma y la calzada. Generalmente se ubican dentro de una franja paralela al borde, con ancho hasta 0,60 m². (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

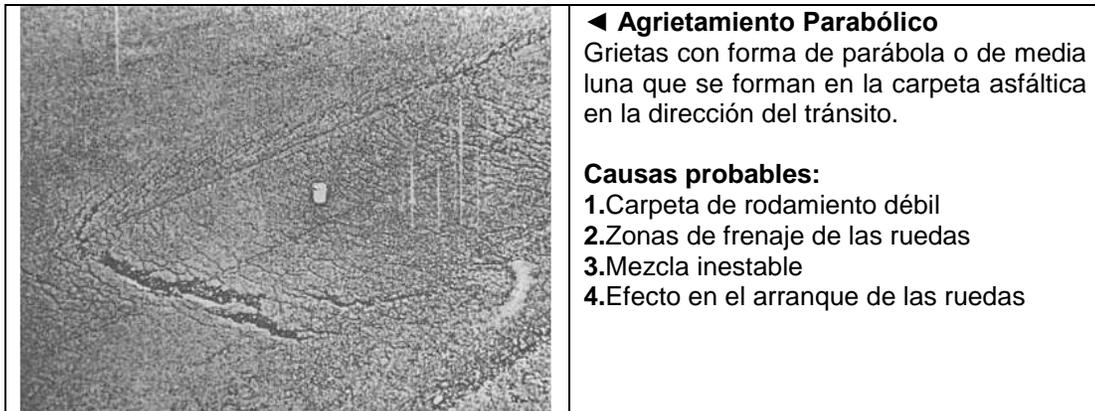


Figura 26. Agrietamiento parabólico, definición y causas probables

Fisuras y grietas longitudinales y transversales

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

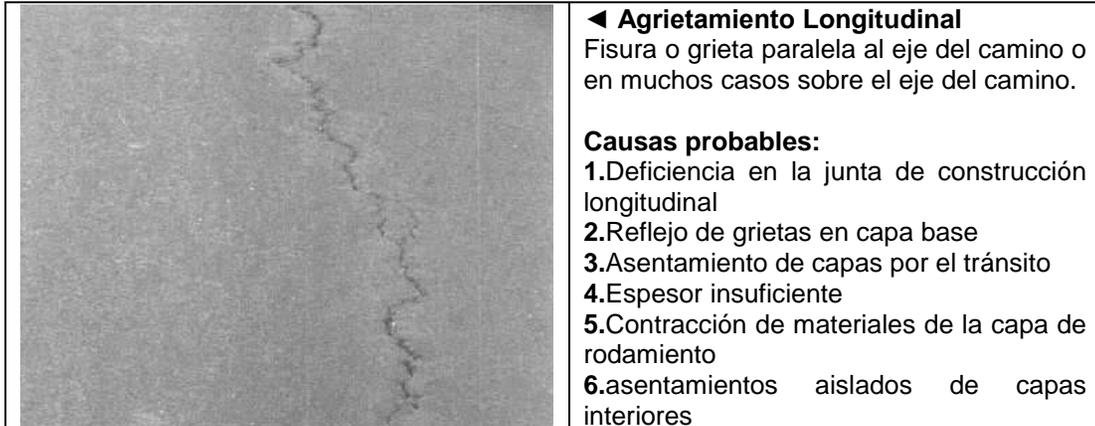


Figura 27. Grieta longitudinal, definición y causas probables

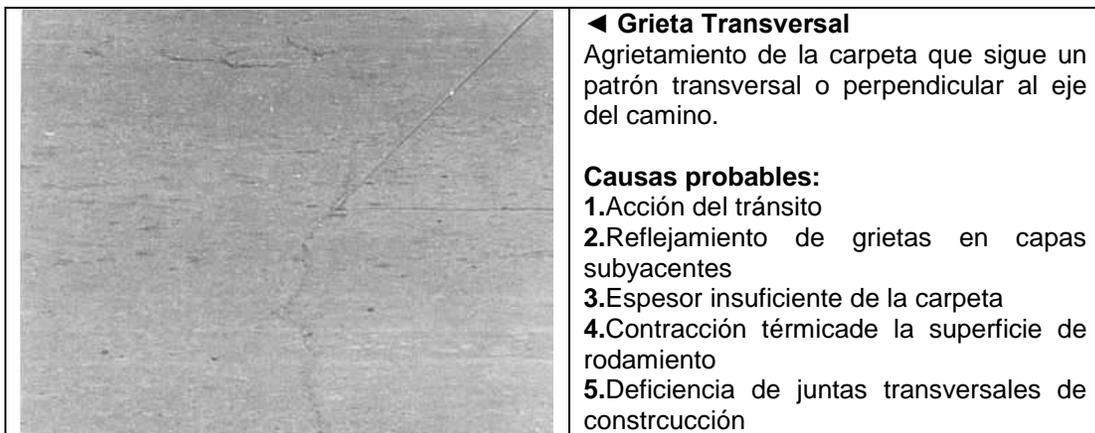


Figura 28. Grieta transversal, definición y causas probables

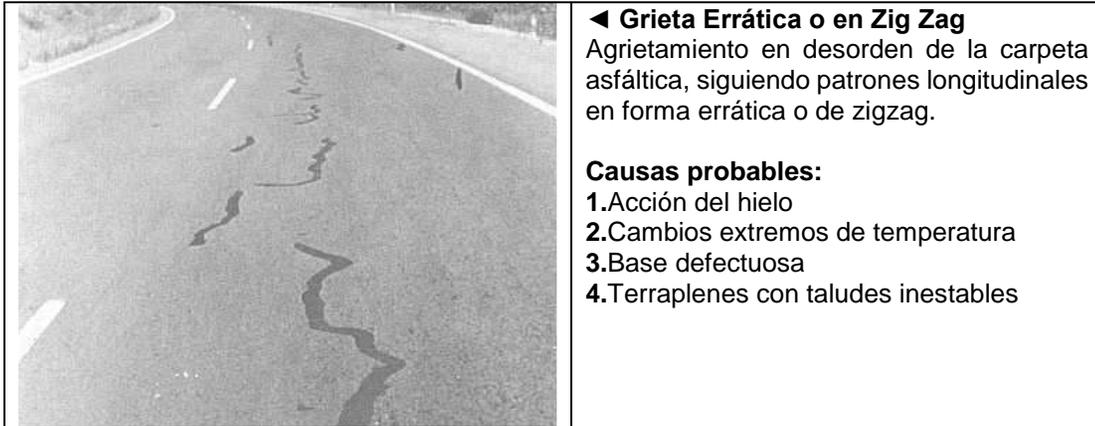


Figura 29. Grieta en Zig - Zag, definición y causas probables

Fisuras y grietas reflejadas

Este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido; estas fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas en dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

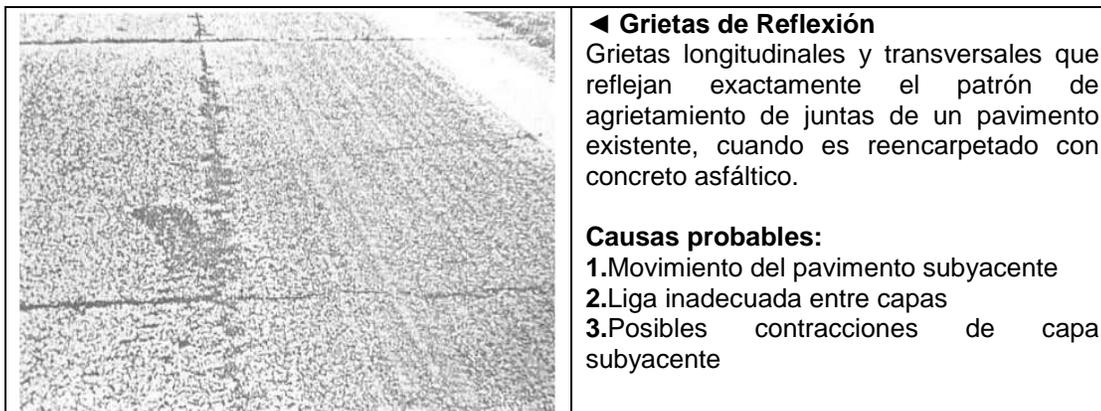


Figura 30. Grietas de reflexión, definición y causas probables

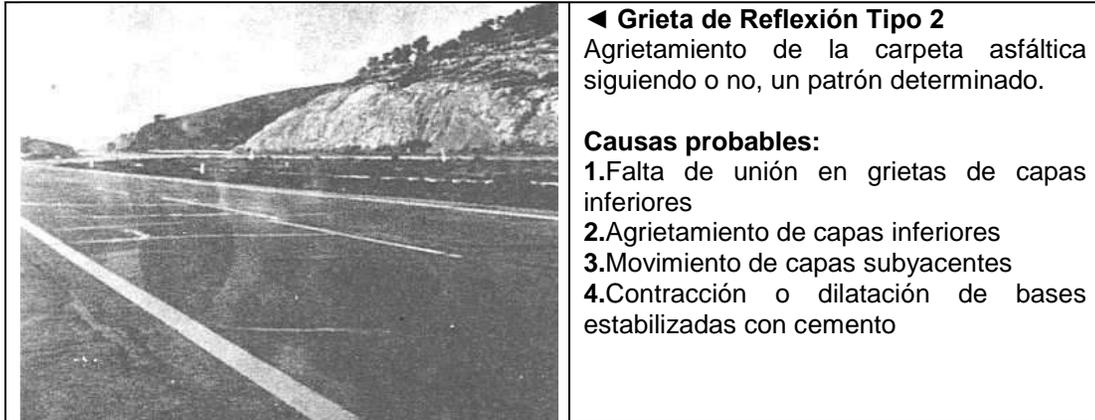


Figura 31. Grietas de reflexión tipo 2, definición y causas probables

Parches deteriorados

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel del pavimento asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (agua, gas, etc.). (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales

Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

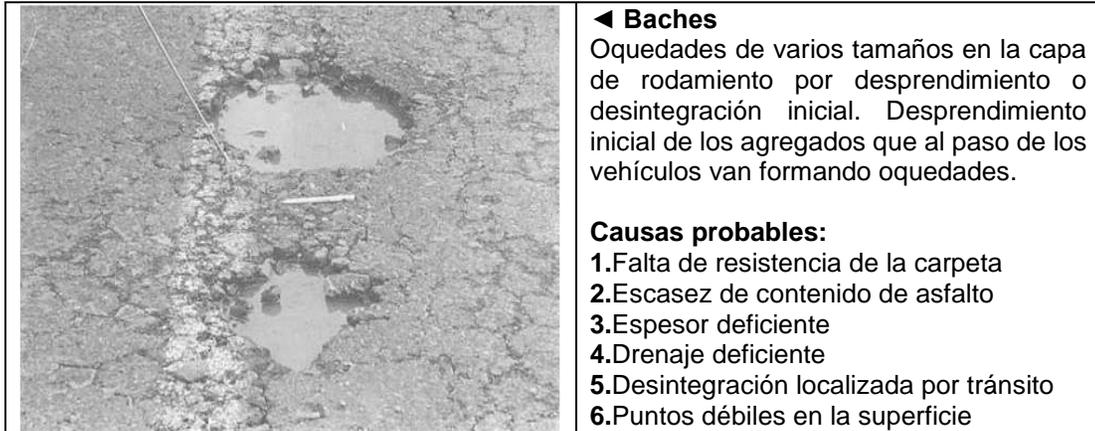


Figura 32. Baches, definición y causas probables



Figura 33. Levantamiento por congelación, definición y causas probables

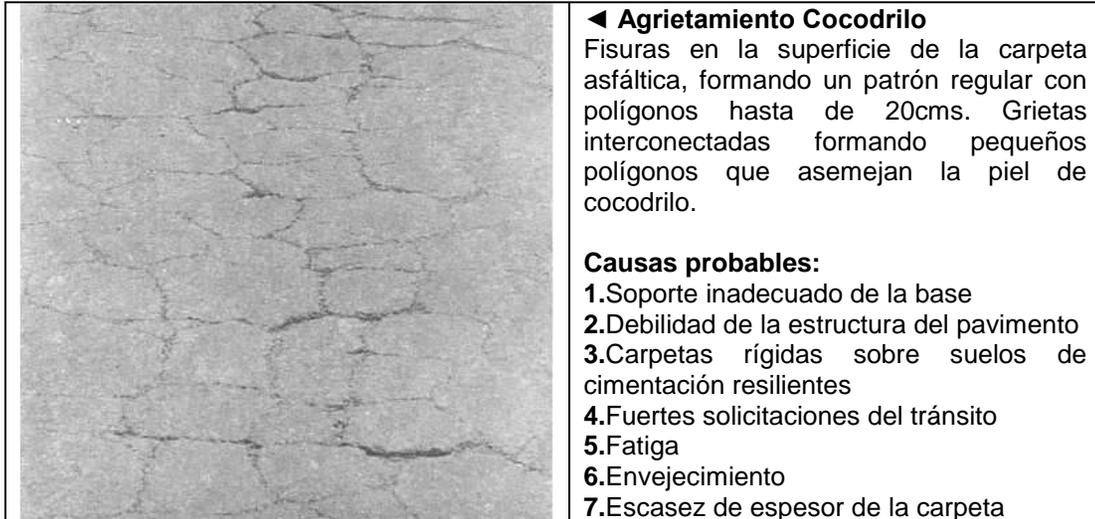


Figura 34. Piel de cocodrilo, definición y causas probables

Roderas

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Las roderas significativas pueden llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua.

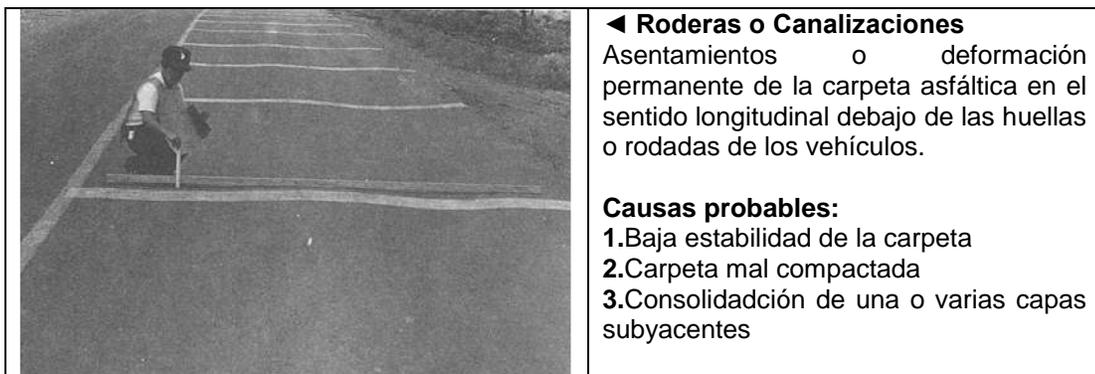


Figura 35. Roderas, definición y causas probables



Deformación transversal

Los desplazamientos se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse por la presencia de polvo, aceite, agua o cualquier otro material no adhesivo entre estas dos carpetas. Generalmente la falta de adherencia se produce cuando no se ha colocado un riego de liga. Algunas veces la mala compactación ocasiona la rotura de la adherencia entre las dos carpetas. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

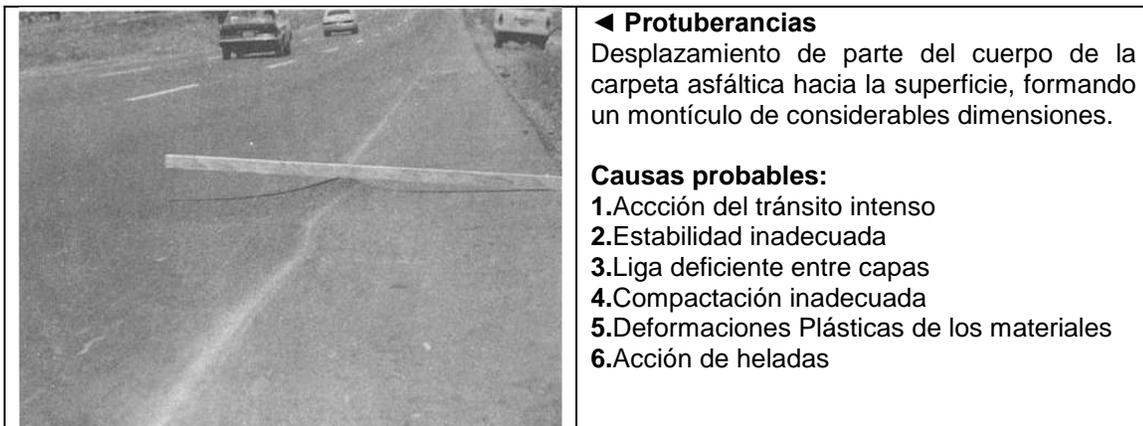


Figura 36. Protuberancias, definición y causas probables

Exudaciones

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

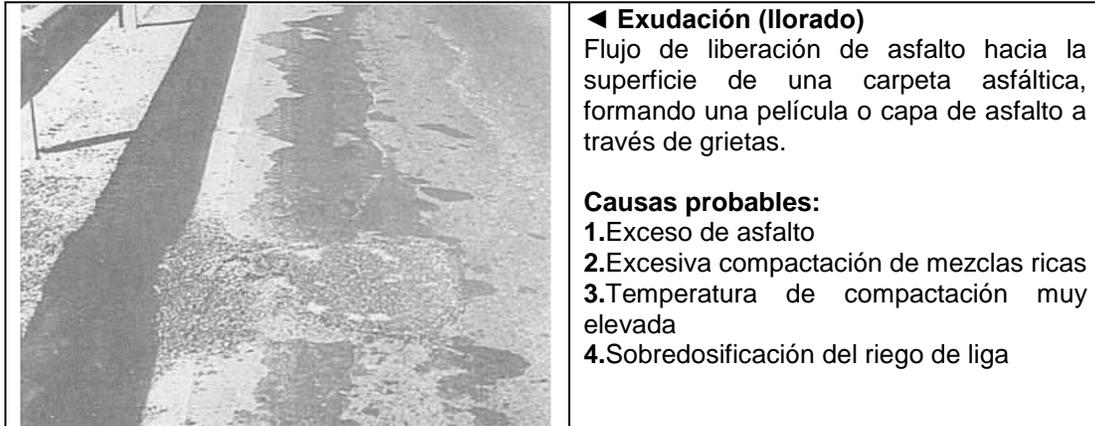


Figura 37. Exudación, definición y causas probables

Desgaste

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por la acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida del ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

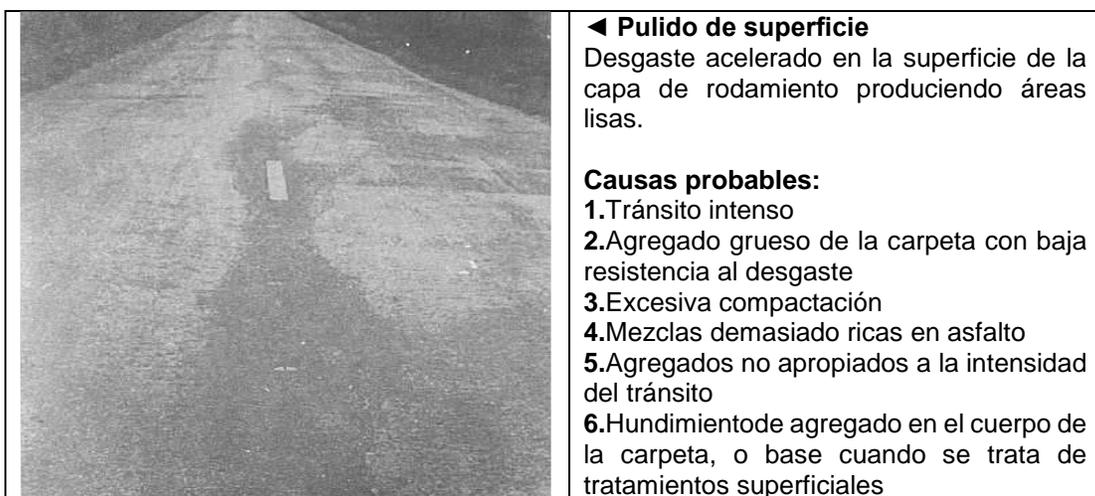


Figura 38. Pulido, definición y causas probables



Pérdida de agregados

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

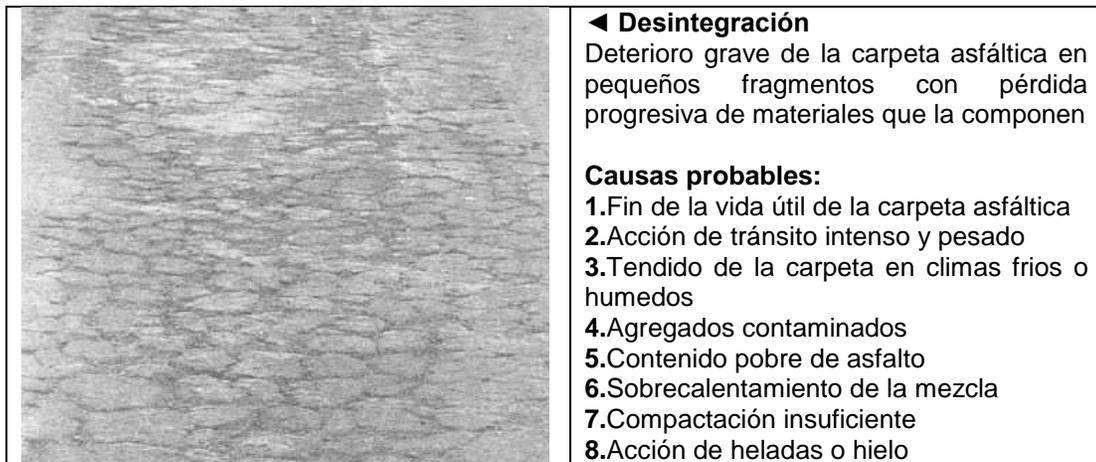


Figura 39. Desintegración, definición y causas probables

Ondulaciones

Es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores a 1.0 m. (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

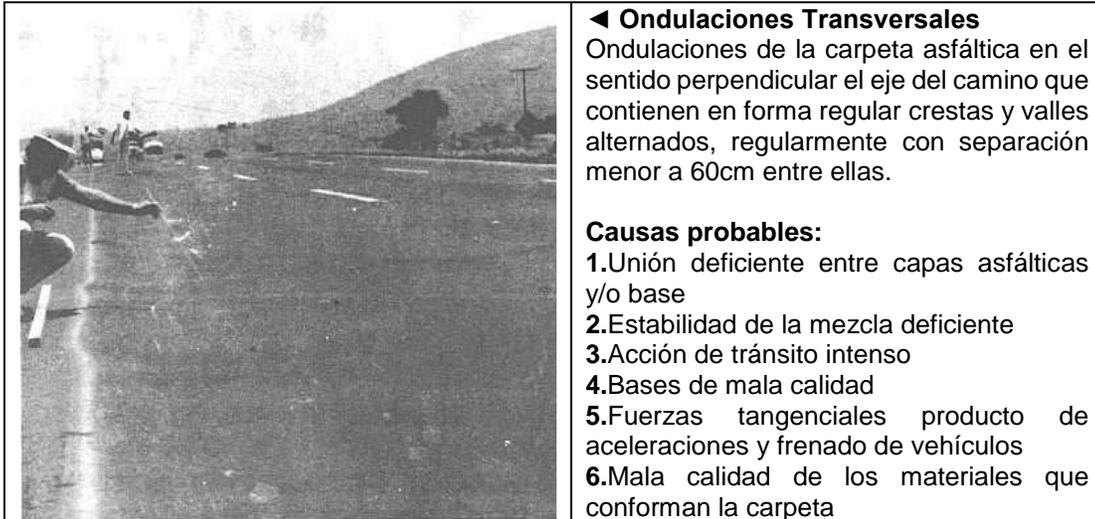


Figura 40. Deformación transversal, definición y causas probables

Caída del hombro

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

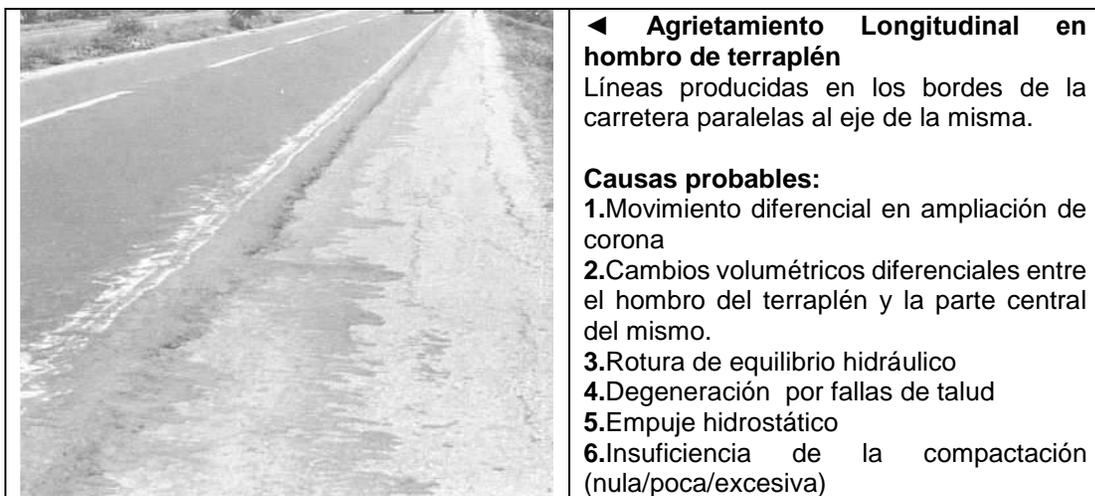


Figura 41. Caída del hombro, definición y causas probables



Expulsión de Finos

Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno. Se encuentra principalmente en pavimentos semirígidos (con base estabilizada). (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, 1996)

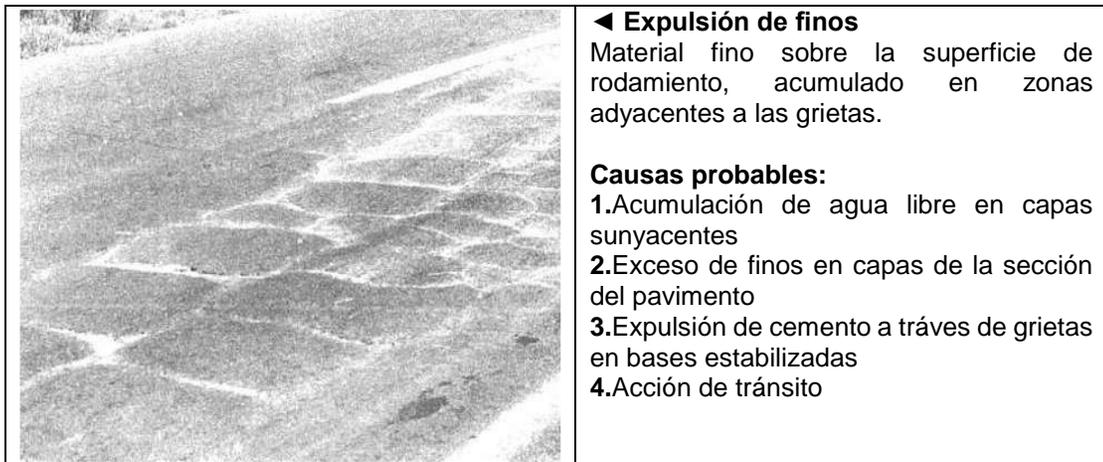


Figura 42. Expulsión de finos, definición y causas probables

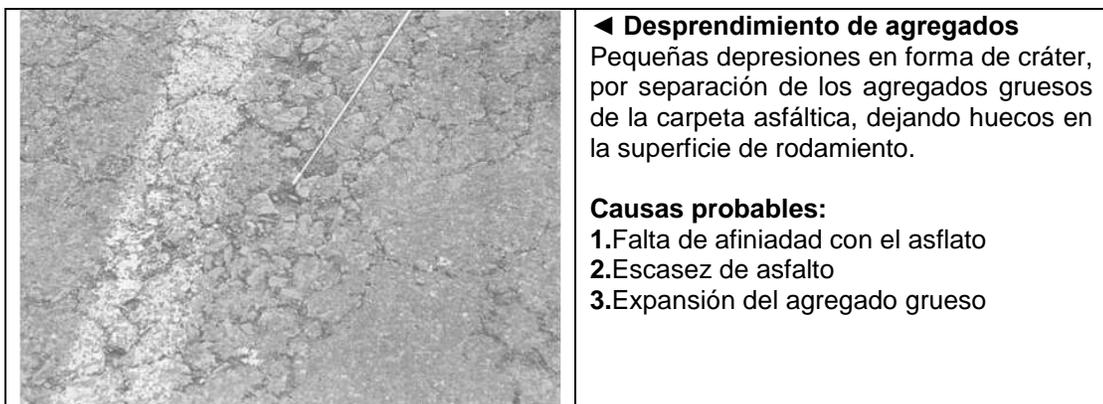


Figura 43. Desprendimiento de agregados, definición y causas probables



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3.6.- Estudio geotécnico

Determinación de la Estructura de Pavimentos Ejecución de Sondeos Tradicionalmente se realizan sondeos de exploración directa para medir los espesores de las capas en la estructura del pavimento, determinar en cada capa su grado de compactación y la humedad existente, así como recabar muestras que posteriormente son analizadas en el laboratorio para conocer sus propiedades mecánicas y características de calidad.

Para deducir de esta información las características estructurales. Es importante señalar que este procedimiento generalmente resulta costoso, requiere de un tiempo considerable y es de carácter destructivo.

Adicionalmente es importante considerar que se requiere cerrar un carril de la carretera en operación para realizar este trabajo, además de colocar bandereros y señalamiento de protección para evitar accidentes.

Por ello, es común que, en la evaluación de la estructura del pavimento mediante sondeos a cielo abierto, se utilice el criterio de realizar un sondeo a cada kilómetro, alternando los sondeos en el carril derecho de un sentido y otro de la circulación. Adicionalmente se intercala, entre sondeo y sondeo, la realización de calas en la orilla de la capa asfáltica, para determinar los espesores de la estructura del pavimento. De esta forma se logra contar con datos de los espesores de la estructura a cada 500 m.

Generalmente el procedimiento para la ejecución de un sondeo en pavimentos, es el siguiente:

1. Controlar y canalizar el tránsito con bandereros, así como colocar señalamiento de protección en la zona cercana al lugar donde se realiza el sondeo.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2. Obtener una muestra de la capa o las capas asfálticas existentes o en su caso, de la losa de concreto hidráulico, mediante el uso de una perforadora (Figura 32).
3. De esta manera se obtienen muestras de la o las capas asfálticas o de concreto hidráulico, para su análisis en el laboratorio y se determinan sus espesores, en centímetros con aproximación al milímetro.



Figura 44. Toma de muestra de capa asfáltica con extractora

4. Se marca en el pavimento el área para la ejecución del sondeo, que generalmente tiene una sección de 40 cm de ancho por 80 cm de largo y se ubica en el carril de circulación a una distancia de 60 cm, entre la orilla de la capa asfáltica hasta el centro del ancho del sondeo.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

5. Se recorta o induce un aserrado con equipo portátil en las marcas que delimitan el área del sondeo, hasta una profundidad del espesor de la capa asfáltica o de concreto hidráulico existente, para facilitar su remoción.
6. Con herramienta manual o con equipo neumático de corte, se desintegra y retira la capa asfáltica o de concreto hidráulico y se descubre y limpia la superficie de la primera capa que sirve de asiento a la capa superior.
7. En la capa descubierta se procede a efectuar una cala para determinar el grado de compactación y la humedad del material pétreo existente, con una profundidad del espesor de la capa descubierta, conforme al procedimiento que se indica en el Norma **M-MMP-08/03** Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica, de la SCT. El nivel inferior de la capa analizada se define cualitativamente por el tipo de material, el color, la graduación de las partículas y su acomodo, en comparación con las que presente la capa subyacente.
8. A continuación, se efectúa un recorte y disgregación del material pétreo en la capa descubierta, con herramienta de mano, para obtener una muestra alterada que se recupera en una bolsa o recipiente de muestreo, para ser analizada en el laboratorio.
9. Una vez tomada la muestra, se continúa sacando el material excedente de la capa descubierta en toda el área del sondeo, hasta descubrir y limpiar la superficie de la siguiente capa.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

10. Los pasos 6, 7 y 8 se vuelven a realizar en cada una de las capas subyacentes que se van descubriendo, para obtener la compactación, humedad y recabar la muestra de material pétreo para su análisis en el laboratorio.
11. Generalmente el sondeo se realiza hasta lograr definir toda la estructura del pavimento y además la capa de desplante o capa subrasante. En algunas evaluaciones especiales, puede ser necesario que adicionalmente se obtenga información del material de la capa inferior a la capa subrasante, para tener más certeza sobre la calidad de las terracerías.
12. Cuando el sondeo está concluido, con una regla se procede a medir el espesor de cada una de las capas del pavimento, en centímetros y con aproximación de un milímetro, ver Figura 33



Figura 45. Medición de espesores de la estructura del pavimento.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

13. Se procede a rellenar el sondeo por capas, con el material remanente de cada capa, compactándolo con pisón de mano, hasta llegar al nivel de desplante de la capa asfáltica. Para rellenar la parte faltante de la capa asfáltica, se utiliza mezcla asfáltica recién producida y se compacta hasta lograr igualar el nivel de la superficie de rodadura.
14. Finalmente, se limpia todo el material suelto en la superficie donde se **realizó** el sondeo y se retira el señalamiento de protección. Es importante comentar que todas las muestras de materiales que se recaben de un sondeo, que se envían al laboratorio para determinar su calidad, deben ser adecuadamente identificadas, para evitar confusiones de su procedencia. De igual manera, en el laboratorio deben ser registradas en un libro de control de muestras, para su manejo interno y la formulación del informe de calidad correspondiente.

Los datos que deben considerarse para identificar una muestra, son los siguientes:

- Número de muestra
- Nombre de la obra
- Número y ubicación del sondeo
- Localización del sitio de muestreo en la carretera
- Tipo de material
- Profundidad a la que se tomó la muestra
- Espesor de la capa
- Responsable del muestreo
- Fecha y hora de muestreo
- Uso a que se destina el material muestreado



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Para mayor detalle sobre el muestreo de materiales pétreos para terracerías y pavimentos, pueden consultarse las Normas **M-MMP-1-01/03** Muestreo de Materiales para Terracerías y **M-MMP-4-04-001/02** Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la SCT. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.7.- Análisis de la estructura del pavimento existente

Después de haber realizado la auscultación en el campo de los diversos aspectos que afectan el comportamiento de un pavimento, toda la información obtenida se analiza en gabinete, elaborando tablas resumen y calculando para cada característica particular sus medidas de tendencia central y de dispersión, a fin de valorar estadísticamente el nivel de influencia que tiene cada parámetro o característica, en el comportamiento y nivel de servicio de la carretera. Además, es típico graficar la información obtenida de cada parámetro, para poder observar con mayor objetividad la tendencia de los resultados.

También resulta objetivo presentar los resultados de calidad de los materiales de cada capa del pavimento y de la capa subrasante, tanto en la tabla resumen como en la gráfica correspondiente, comparándolos con los requisitos de calidad especificados por la Normativa SCT, en función de su uso dentro de la estructura del pavimento, en la Figura 46. Se presenta una gráfica de ejemplo sobre los espesores obtenidos en la auscultación de la estructura de un pavimento.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

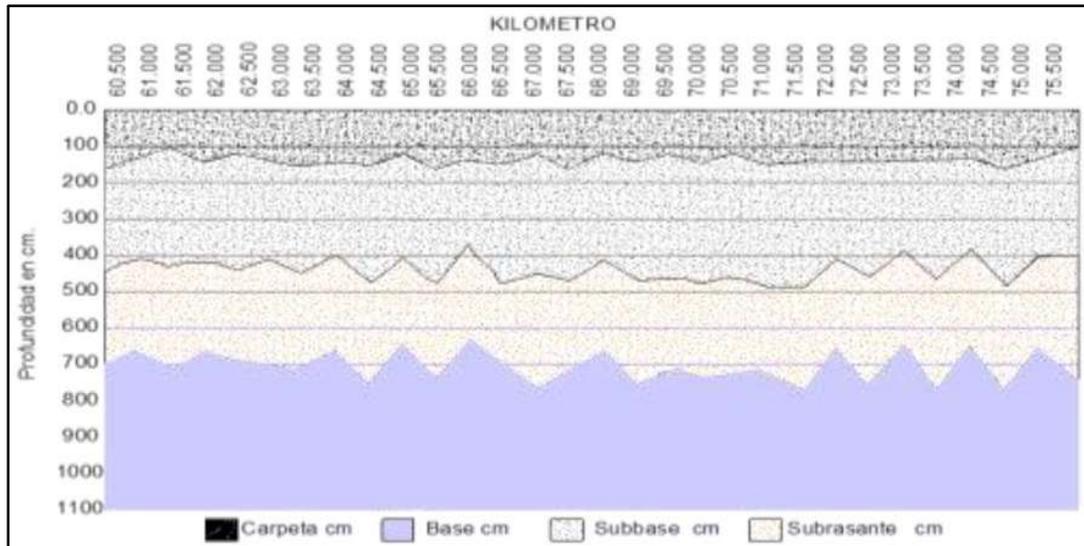


Figura 46. Gráfica de espesores de pavimento de una carretera evaluada

3.7.1.- Delimitación de Tramos Homogéneos

Con la información obtenida y analizada de la evaluación de un pavimento, es común realizar una delimitación de tramos de la carretera en estudio, en los que se observe una tendencia de presentar un comportamiento o datos de características con valores sensiblemente similares. La información que generalmente se analiza es la siguiente:

- Deterioros de la Superficie
- Índice Internacional de Rugosidad (IRI)
- Profundidad de Rodera (PR)
- Capacidad Estructural
- Espesores de la Estructura
- Compactación y Calidad de Materiales
- Condiciones de Drenaje y Subdrenaje



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

La delimitación de tramos homogéneos tiene como por objeto revisar si es posible correlacionar el comportamiento del pavimento con la estructura y calidad de los materiales existentes, así como con las condiciones de drenaje y subdrenaje prevalecientes, a efecto de que, si presentan características y condiciones similares, se definan opciones de conservación particulares para cada tramo delimitado.

Sin embargo, es importante considerar que las soluciones que se planteen para cada tramo delimitado, no deben ser divergentes entre cada uno de ellos y tampoco es conveniente que se apliquen a longitudes de carretera muy pequeñas.

Se recomienda que se utilice un criterio para definir una longitud mínima en la delimitación de tramos homogéneos, del orden de 5 km, longitud que se estima de tamaño adecuado para definir soluciones específicas de conservación. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

3.8.- Análisis de Tránsito

La información del tránsito que circula por una carretera en evaluación, es otro de los parámetros importantes para atender su conservación. Los datos que son necesarios recabar para el estudio de un tramo, son los siguientes:

- Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)
- Clasificación Vehicular
- Tasa de Crecimiento Anual



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

La información de tránsito generalmente se puede obtener a través de la Página de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, en la sección de Datos Viales.

Esta Dependencia realiza permanentemente conteos de tránsito en diversos puntos sensibles de cada una de las carreteras que conforman la red nacional de México.

La estadística de datos viales que se puede consultar en esta Página es desde el año 2004 hasta el año 2014, aclarándose que la información que se presenta en un determinado año, realmente corresponde a los conteos realizados el año anterior.

A través de un tratamiento estadístico de la información de tránsito de varios años, se determina la tasa de crecimiento anual, mientras que la clasificación vehicular y el TDPA que se aplican para el análisis estructural son los del último año, a efecto de definir las acciones de conservación con la proyección del tránsito en el horizonte del proyecto requerido.

Aunque se dispone de varios métodos para definir la tasa de crecimiento anual del tránsito en el tramo en estudio, se recomienda aplicar el “Método de Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados”, porque su cálculo estadístico permite obtener resultados confiables. Por otra parte, es importante que en cada análisis se observe la tendencia de los valores de TDPA de los años que se tenga información, para considerar sólo

Los valores de los años consecutivos que definan un crecimiento sostenido, principalmente en los últimos años.

En la sección de Apéndices de esta Guía, se presenta un ejemplo sobre la determinación de la tasa de crecimiento del tránsito, aplicando el Método de Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados.



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

En el caso de que no se tenga información disponible del tránsito para atender alguna carretera, se recurre a la realización de aforos, los cuales consisten en el conteo y clasificación de los vehículos que pasan por uno o varios puntos del tramo en estudio, durante un periodo de tiempo que no sea menor de una semana. El conteo de vehículos y de su clasificación por tipo, durante el aforo del tránsito en un punto de la carretera en estudio, generalmente se realiza con el apoyo de un formato.

También es necesario contabilizar el tránsito diario promedio, obtenido en el periodo del aforo, para proceder a calcular el TDPA mediante ajustes con la aplicación de los factores mensual y diario. Para determinar el TDPA con la información de un estudio de aforo.

La información del tránsito es utilizada en la aplicación de los métodos de diseño, cada uno de los cuales tiene una metodología particular para convertir los tipos de vehículos que circulan por una carretera en ejes equivalentes con un determinado peso, que con la proyección que se considere para el número de años como horizonte de proyecto, finalmente se calcula el número total de ejes equivalentes para el periodo de diseño.

Adicionalmente es conveniente señalar que actualmente el Instituto Mexicano del Transporte promueve la aplicación de un nuevo criterio para el análisis del tránsito y de su configuración para evaluar el peso de los vehículos en una carretera troncal.

El criterio está basado en obtener la información del peso real de los vehículos a través de básculas de pesaje instaladas en algún lugar de la carretera en estudio, para que, con un tratamiento estadístico de las cargas, se definan los “espectros de carga”.

En la Figura 35, se muestra un ejemplo de un espectro de carga, cuya aplicación se puede realizar en los métodos de diseño de pavimentos.



Particularmente en la sección de Innovaciones Tecnológicas de esta Guía, se comenta un nuevo método de diseño que propone el IMT, basado en la aplicación de los espectros de carga definidos para un tramo de carretera. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

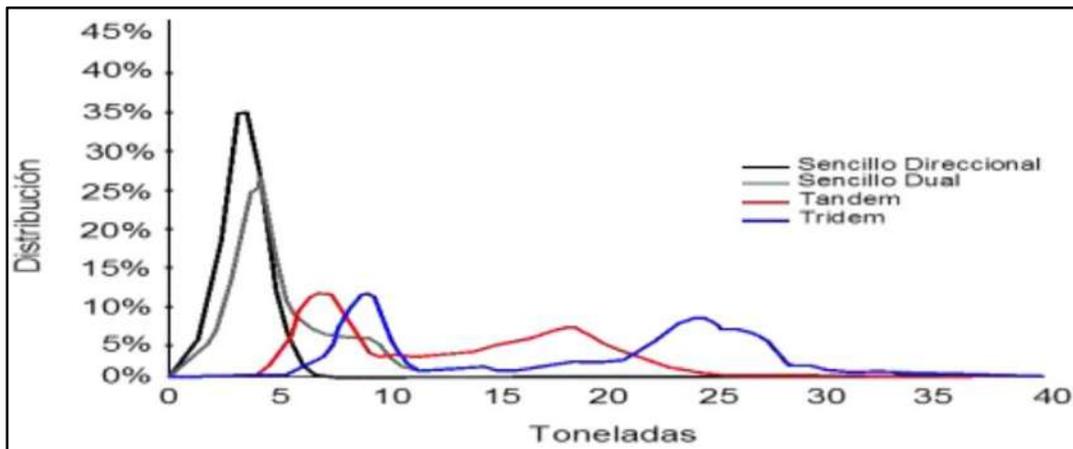


Figura 47. Ejemplo de un espectro de carga sobre los vehículos que pasan por un tramo de carretera

3.9.- Definición de Opciones de Conservación

En México se dispone de una serie de soluciones técnicas para atender la conservación de las carreteras, cuya aplicación depende de las condiciones de servicio del pavimento, de la disponibilidad de equipos y materiales, así como del costo de cada solución.

Para definir la aplicación de cada una de estas técnicas, se pueden consultar las secciones incluidas en esta Guía, sobre Técnicas Tradicionales para la Conservación de Pavimentos e Innovaciones Tecnológicas, en donde se indican las ventajas y limitaciones de cada una de ellas. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)



En la Tabla 19 se indican de manera enunciativa las distintas opciones de conservación que se disponen para mejorar la operación del pavimento de una carretera. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

Tabla 19. Tipos de conservación para carreteras que se disponen en México

Técnica de Conservación	Tipo de Conservación en el Pavimento		
	Mejoramiento Superficial	Rehabilitación	Reconstrucción
Calafateo y Sellado de Juntas	x	x	
Bacheo Superficial	x		
Bacheo Profundo		x	
Riego de Asfalto	x		
Carpeta de un Riego	x		
Carpeta de Dos o Tres Riegos	x		
Capa Asfáltica de Granulometría Densa	x	x	
Recorte o Fresado Superficial	x	x	
Renivelaciones Aisladas	x		
Capa Asfáltica de Granulometría Abierta	x	x	x
Capa Asfáltica de Alto Desempeño		x	x
Capa Asfáltica Tipo CASAA	x	x	x
Capa Asfáltica Tipo SMA	x	x	x
Mortero Asfáltico (Slurry Seal)	x	x	
Microaglomerado (Micro Surfacing)	x	x	
Reciclado Asfáltico en Planta		x	
Reciclado Asfáltico en el Lugar "In Situ"		x	
Recuperación del Pavimento con Adición de Nuevos Materiales Pétreos		x	x
Recuperación del Pavimento con Adición de Emulsión Asfáltica		x	x
Recuperación del Pavimento con Adición de Asfalto Espumado		x	x
Recuperación del Pavimento con Adición de Cemento Portland		x	x
Capa Delgada de Concreto Hidráulico (White Topping)		x	
Concreto Compactado con Rodillos			x
Reparación de Losas de Concreto Hidráulico		x	
Reposición de Losas de Concreto Hidráulico		x	
Inyección de Lechadas para Estabilización de Terracerías		x	x
Estabilización de la Capa subrasante con cal			x



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3.9.1.- Análisis de Costo - Beneficio de las Alternativas de Conservación

Una vez que se han definido las alternativas de conservación para el pavimento que se evalúa, se realiza una valoración técnica-económica de cada una de ellas, seleccionando aquella que resulte más conveniente y proponiéndola a la Dependencia responsable, a efecto de que determine si la alternativa seleccionada es procedente para continuar con la ejecución del proyecto correspondiente.

Los aspectos de interés en este análisis, para cada una de las alternativas definidas, son los costos de ejecución, la disponibilidad de equipo y materiales, la confiabilidad de alcanzar el periodo de vida del proyecto, las estrategias de mantenimiento a lo largo de su vida útil, el costo de operación estimado y el costo o beneficio que se espera para los usuarios. La comparación de los aspectos de las alternativas definidas, permite distinguir la opción de conservación que presente los mayores beneficios.

Actualmente este análisis se realiza con una de las aplicaciones del Sistema denominado HDM-4, describiéndose a continuación los aspectos de interés de este sistema.

El HDM-4 es un conjunto de herramientas para el análisis técnico y económico de alternativas de inversión relacionadas con la conservación y mejoramiento de carreteras; estas herramientas se encuentran integradas en un programa de cómputo desarrollado por la Universidad de Birmingham, como producto principal del Estudio Internacional sobre Desarrollo y Gestión de Carreteras (ISOHDM por las siglas de International Study of Highway Development and Management).

Los beneficios económicos de las opciones evaluadas se determinan mediante la comparación de los flujos de costos de las medidas analizadas con la alternativa base (opción de “no hacer nada” o de “hacer lo mínimo posible”).



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

En general, la mayor parte de los beneficios generados por las medidas evaluadas corresponden a la reducción en los costos de operación vehicular con respecto al caso base.

De acuerdo con la Guía de Aplicación del HDM-4, el análisis por tramos (o proyectos) consiste en la evaluación de uno o más tramos de carretera u opciones de inversión. Para tal efecto, se analiza un tramo de carretera con las medidas seleccionadas por el proyectista, a partir de los costos y beneficios asociados, los cuales son pronosticados anualmente durante el período de análisis. Se determinan los indicadores económicos para las diferentes opciones de solución.

El análisis de tramos se utiliza para establecer la factibilidad económica o técnica de la inversión en mejoras a los caminos al considerar los aspectos siguientes:

- Comportamiento estructural del pavimento
- Predicciones del ciclo de vida para el deterioro del camino, los efectos que tendrá el esquema seleccionado de conservación y para los costos
- Costos y beneficios para el usuario del camino
- Comparaciones económicas entre las opciones evaluadas

Se lleva a cabo un análisis costo beneficio financiero, con objeto de evaluar la viabilidad de cada una de las propuestas de rehabilitación del pavimento y para determinar cuál es la más viable económicamente entre ellas.

El estudio de costo-beneficio sobre las opciones de conservación de un pavimento, requiere de la valoración de diversos parámetros y de la predicción de las estrategias de mantenimiento de cada una de las opciones a comparar, para finalmente seleccionar la más conveniente, con base en los resultados obtenidos en este tipo de estudio. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3.9.2.- Control de Calidad

Control de Calidad, es un sistema que permite valorar las características de interés de un producto, comparar estos valores con los requisitos del proyecto o diseño, evaluar las desviaciones de calidad que presenta el proceso productivo, identificando sus causas, y finalmente, efectuar las acciones que corrijan las deficiencias observadas.

El Control de Calidad no es un procedimiento de tipo “policíaco” que obstaculiza los avances, sino que es un mecanismo que incide en el proceso productivo para corregir desviaciones y eliminar tendencias y causas de calidad indeseables.

Una calidad inadecuada y variable en la construcción, generalmente provoca rechazos, reprocesos, repeticiones, retrasos y desperdicios, cuyos costos pueden reducir ostensiblemente las utilidades de la Empresa y afectar su prestigio.

Para reducir estos costos, el control de calidad maneja como filosofía que: “si las cosas se hicieran bien desde la primera vez, prácticamente no habría problemas de fallas y retrasos” y que: “lograr buena calidad tiene un costo, pero el costo de la mala calidad, siempre es mayor”.

De acuerdo con estos axiomas, se puede esperar que un buen control de calidad aporte los siguientes beneficios: internamente las empresas incrementan su productividad y la satisfacción por el trabajo, obteniendo costos de producción menores, mientras que externamente los clientes se muestran satisfechos y se obtiene una mayor participación en el mercado. Con la conjunción de estos beneficios, finalmente se pueden esperar ingresos mayores y la consolidación y el crecimiento de las empresas.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

El control de calidad tiene como cualidades esenciales la economía, la confiabilidad y la oportunidad:

- Para que sea costeable, debe estar enfocado a la evaluación de las características principales del producto, cuyos efectos incidan en su comportamiento y duración.
- Para que sea confiable, debe hacer uso de criterios de muestreo aleatorios, que aseguren la representatividad de la construcción en estudio, aplicar métodos estándar de prueba, así como aplicar a los resultados obtenidos, una evaluación estadística, que aseguren tendencias o desvíos de la calidad.
- Y se requiere que sea oportuno, para que con las acciones correctivas o de ajuste que haya que hacer en el proceso productivo o de construcción, se optimice la utilización de los recursos disponibles, con las menores pérdidas de tiempo y económicas.

Es importante insistir que el cumplimiento de la calidad del proyecto, tiene como objetivo principal lograr una obra que tenga el comportamiento y la durabilidad previstos, con un elevado y consistente nivel de servicio, que satisfaga ampliamente las expectativas de los usuarios de las carreteras. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)



100 años
1917-2017

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.- Antecedentes

Debido a los altos volúmenes de tránsito y condiciones climáticas prevalecientes en las carreteras de nuestro país, hacen del Estado de Sonora susceptible del análisis planteado en esta tesis, toda vez que las temperaturas máximas registradas se encuentran perfectamente dentro de los parámetros PG establecidos en la Norma SCT **N-CMT-4-05-004/08**.

4.2.- Tramo: Hermosillo – Moctezuma, Subtramo: Km 14+000 al Km 19+000

4.2.1. Localización

El tramo en estudio se encuentra en la zona centro del Estado de Sonora, localizado en el Municipio de Hermosillo, a una altura de 1,100 metros sobre el nivel medio del mar, con una temperatura media anual de 25°C y precipitación promedio anual 360 mm. Delimitado al norte por los municipios Pitiquito, Carbo y San Miguel Horcasitas, al este por los municipios Ures, Mazatan y La Colorada, al oeste con el Golfo de California y Pitiquito y al sur por los municipios de Guaymas y el Golfo de California. Su coordenada de inicio N 29° 12' 23.78" W 110° 46' 41.09" y de termino N29° 14' 3.72" W 110° 44'17.66".



Figura 48. Ubicación Gráfica del Tramo: Hermosillo – Moctezuma, Subtramo: 14+000 al 19+000

4.2.2. Geomorfología

El tramo en estudio se encuentra localizado en el Municipio de Hermosillo, sin embargo, este posee una superficie de 14,880.2 kilómetros cuadrados, que representa el 8.02 por ciento del total estatal y uno de los municipios más grandes también; las localidades más importantes, además de la cabecera son: Miguel Alemán, San Pedro el Saucito, Bahía Kino, Kino Nuevo, La Victoria y La Manga. Las características del relieve varían desde zonas accidentadas, semiplanas y planas. El subtramo del 14+000 al 19+000 de la Carretera Hermosillo – Moctezuma, está conformado por zonas planas en su mayor parte y semiplanas, acompañados de vegetación autóctona.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

4.2.3. Clima

En el municipio de Hermosillo existen dos regiones climáticas: la primera que corresponde a la región costera la cual presenta un clima desértico semicálido con inviernos frescos y temperaturas de -6°C en enero y febrero, hasta temperaturas de 48°C en julio y agosto. La segunda región la conforma el resto del municipio, con un clima muy seco con temperaturas de 4°C a 6°C en los meses de enero y febrero, con extremas de 31 a 47 en los meses de julio y agosto.

4.2.4. Topografía

La orografía a lo largo del tramo presenta dos principales secciones: la primera corresponde a zonas accidentadas que abarcan aproximadamente el 10 por ciento de la superficie total del tramo que se localiza en la parte poniente del municipio de Hermosillo.

La segunda corresponde a zonas planas con una extensión aproximada de 80 por ciento del territorio municipal y se localiza en todo el municipio (incluye zonas costeras).

4.2.5. Recorrido de Reconocimiento

Se realizó recorrido para conocer las condiciones actuales de la estructura del pavimento y el estado físico del tramo objeto de este estudio. Conteniendo imágenes de los siguientes apartados:



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Tipo de terreno



Figura 49. Tipo de terreno: a) plano Km 14+000

En la figura 49, se aprecia el tipo de terreno que predomina en el tramo carretero, ya que las pendientes longitudinales no sobrepasan el 4%.

Fallas estructurales del pavimento existente



Figura 50. Grietas longitudinales en el Km 19+000



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



Figura 51. Grietas longitudinales y roderas en el Km 16+000

En la figura 51, existen grietas longitudinales, así como se empiezan a apreciar roderas de acuerdo al criterio 10 mm por tramos de 20 m – carril. (Mendoza Díaz A. Abarca Pérez E, 2011)



Figura 52. Levantamiento de la capa de rodadura por congelación en el Km 17+000



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

En la figura 52, se aprecia que existen desprendimientos de la capa de rodadura, así como también se aprecia exudación del asfalto



Figura 53. Desprendimiento de carpeta y grietas longitudinales Km 15+500

4.2.6. Estado general de la superficie de rodamiento

En la tabla 23, se establece el porcentaje de deterioros en el tramo en estudio, podemos ver que para el Km 14+000 al 15+000, el estado se considera como regular, sin embargo, el tema del agrietamiento al momento de la evaluación se consideró en malas condiciones de mapeo, por lo que eventualmente se convertirán en piel de cocodrilo y se presentará falla estructural.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Tabla 20. Levantamiento de deterioros del tramo, Km 14+000 al Km 17+000

INFORME DE DETERIOROS																			
CARRETERA: Federal No. 14							FECHA: 15 de Septiembre 2014												
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma							EVALUADOR: Ing. Juan Carlos Mejía Orduña												
SUBTRAMO: km 14+000 - 19+000							ORIGEN: Entronque San Pedro												
DETERIOROS	AREA DAÑADA EN %				AREA DAÑADA EN %				AREA DAÑADA EN %										
	DEL KM 14		A KM 15		DEL KM 15		A KM 16		DEL KM 16		A KM 17								
	<10	10 A 20	20 A 50	50 A 80	>80	<10	10 A 20	20 A 50	50 A 80	>80	<10	10 A 20	20 A 50	50 A 80	>80				
TEXTURA	PERDIDA DE AGREGADO GRUESO																		
	PERDIDA DE AGREGADO FINO																		
	EXUDACIÓN DE ASFALTO																		
	PULIMIENTO DE AGREGADOS																		
	CON EXUDACIÓN DE AGUA																		
	DESPRENDIMIENTO DE CARPETA																		
DEFORMACION	TRANSVERSALES																		
	POR INESTABILIDAD																		
	RODERAS (*)																		
	(*) Indicar la magnitud de la profundidad de la rodera, en cm.																		
AGRIETAMIENTO	LONGITUDINAL																		
	TRANSVERSAL																		
	TIPO MAPA	EN LA RODERA																	
		EN EL CENTRO DEL CARRIL																	
		EN EL BORDE DEL PAVIMENTO																	
	TIPO PIEL DE COCODRILO	EN LA RODERA																	
		EN EL CENTRO DEL CARRIL																	
		EN EL BORDE DEL PAVIMENTO																	
	DE REFLEXIÓN	EN LA RODERA																	
		EN EL CENTRO DEL CARRIL																	
EN EL BORDE DEL PAVIMENTO																			
OTROS	CALAVEREO																		
	BACHES SIN TAPAR																		
	BACHES TAPADOS																		
NOTA: CALIFICAR LOS DAÑOS CON LA SIGUIENTE ESCALA:																			
1) MUY LIGEROS				2) LIGEROS				3) MODERADOS				4) SEVEROS				5) MUY SEVEROS			
MANTENIMIENTO	BACHEO SUPERFICIAL																		
	BACHEO PROFUNDO																		
	TRATAMIENTO SUPERFICIAL																		
	RENIVELACIÓN																		
	SOBRECARPETA																		
	CARPETA RECICLADA																		
	REHABILITACION DE CARRIL																		
NOTA a).- CALIFICAR LA CALIDAD DEL MANTENIMIENTO COMO:																			
1) BUENO				2) REGULAR				3) MALO											



4.2.7. Composición vehicular del tramo

En la tabla 21, se indica el Tránsito Promedio Diario anual (TDPA), así como la composición vehicular, se destaca que durante los años 2002 al 2007 existe un atencencia al crecimiento de la tasa vehicular, sin embargo desciende de manera crítica en el año 2008 y mantiene una tasa regular hasta el año 2012, donde se incrementa de manera importante per sigue la tendencia que había hasat el año 2007. Del análisis de la tasa de crecimiento anual se obtuvo una del 1.48%.

Tabla 21. Datos viales del tramo

DATOS VIALES: (HERMOSILLO-MOCTEZUMA)									
AÑO	TDPA	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
2002	1022	71.00	4.60	6.80	3.70	5.10	2.60	1.60	4.60
2003	1029	83.60	5.30	4.10	3.50	1.60	1.20	0.00	0.70
2004	1052	77.40	5.60	6.80	2.50	4.00	2.80	0.30	0.60
2005	1119	76.00	3.90	5.80	3.40	6.00	2.30	0.00	2.60
2006	1135	75.20	4.40	6.50	3.20	5.20	2.40	0.40	2.70
2007	1363	82.20	3.30	4.10	3.00	3.90	1.20	0.70	1.60
2008	843	89.20	4.30	2.70	1.00	0.70	0.40	0.30	1.40
2009	956	89.10	4.50	2.70	1.00	0.70	0.30	0.30	1.40
2010	910	88.90	2.00	5.50	0.90	0.80	0.40	1.20	0.30
2011	910	92.80	1.70	3.40	0.00	1.20	0.80	0.00	0.10
2012	1797	85.50	1.80	5.60	1.70	3.00	1.40	0.50	0.50
2013	1910	81.20	4.10	8.80	1.70	2.70	0.70	0.50	0.30



4.2.8. Estudio geotécnico

A lo largo del tramo en estudio, se pudieron observar a través de los pozos a cielo abierto (PCA), las diferentes capas que integran la sección estructural del pavimento, con la recuperación de dichos espesores se realizó la verificación de las mismas. En la figura 54, se visualizan tres capas, la primera una carpeta asfáltica y las subsecuentes capas de materiales granulares, en la figura 55 se observa un perfil de tramo en estudio, donde se observa la homogeneidad de los espacios de las capas del pavimento.



Figura 54. Sondeo en PCA 1, Km 14+500



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

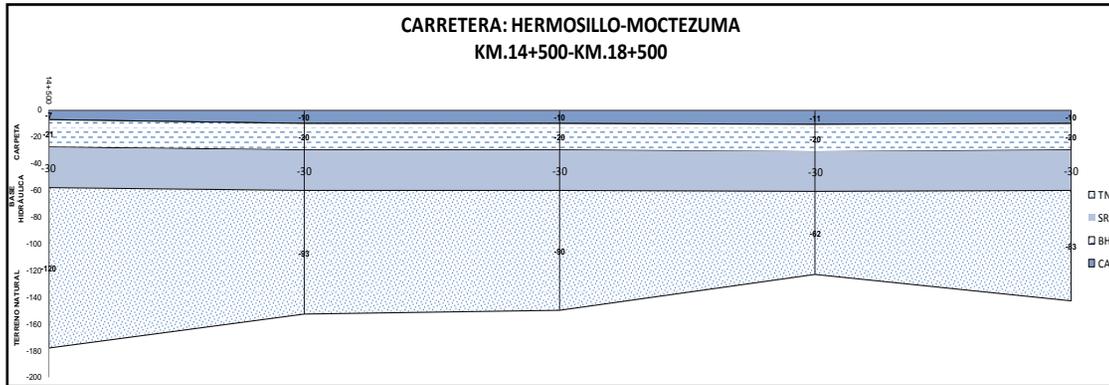


Figura 55. Perfil estratigráfico del tramo, Km 14+000 al Km19+000

En la tabla 22, se presenta un resumen de las calidades de los materiales

Tabla 22. Resultados de laboratorio del pavimento existente tramo, Km 14+000 al Km 19+000

CAPA	CARACTERISTICAS	PCA						VALORES PROMEDIO
		1 14+000	2 15+000	3 16+000	4 17+000	5 18+000	6 19+000	
TERRENO NATURAL	ESPESOR	150	150	150	150	150	150	150.0
	VRS	32.5	30.6	22.7	24.3	25.8	28.3	27.4
	% EQUIV. ARENA	N/A	NA	NA	NA	NA	NA	N/A
	% LIMITE LIQUIDO	24	25	24	26.3	26	24	24.9
	% INDICE PLASTICO	8	9	8	7.5	7.2	8	8.0
	% DE GRAVAS	89.7	90.2	95.2	94.2	69.8	88.3	87.9
	% DE ARENA	67.3	65.7	68.4	66.7	46.6	65.2	63.3
	% DE FINOS	29.9	40.3	42.3	38.2	24.4	25.4	33.4
S.U.C.S	SC	SC	SC	SC	SC	SC		
CAPA	CARACTERISTICAS	CALAS					VALORES PROMEDIO	
		1 14+500	2 15+500	3 16+500	4 17+500	5 18+500		
CA	ESPESOR	7	10	10	11	10	9.6	
	ESPESOR	21	20	20	20	20	20.2	
BASE HIDRAULICA	VRS	98.6	93.8	91.7	92.7	90.7	93.5	
	% EQUIV. ARENA	23	36	25	34	18	27.2	
	% LIMITE LIQUIDO	26	27	25	15	33	25.2	
	% INDICE PLASTICO	8	9	8	18	14	11.4	
	% DE GRAVAS	55	57	56	52	50	54.0	
	% DE ARENA	24	25	26	21	19	23.0	
	% DE FINOS	12	13	13	11	10	11.8	
	S.U.C.S	SP-SC	SC	SC	SP-SC	SP-SC		



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

4.2.9. Análisis de la estructura del pavimento existente

Subrasante: Compuesta mayormente de una arena- arcillosa del tipo (SC) de buena calidad misma que presenta un buen comportamiento, ya que los valores relativos de soporte (CBR en la actualidad) obtenidos en dicho presentan en promedio 27.7 %, cuando el valor mínimo adecuado es de 20%, en cuanto a los valores de limite liquido e índice plástico respectivamente, se encuentran por debajo de los valores máximos adecuados, lo mismo sucede con el contenido de finos y tamaño máximo de agregados adecuados, el espesor que presenta esta capa en promedio es de 30 cm. también puede seguir funcionando como tal.

En la misma tabla 22 vemos que la Base Hidráulica está compuesta de una arena- arcillosa con un espesor promedio de 20.2 cm, según los resultados de laboratorio obtenidos de las muestras tomadas en campo, el material de base existente en el tramo, presenta valores de Índice Plástico (entre 6% y 14%) cuando el valor máximo recomendado es 6% de acuerdo a la Norma. En cuanto al límite líquido los valores encontrados son entre 26% y 33% siendo el valor máximo recomendado de 25%, sin embargo, este material presenta buen comportamiento ya que los valores de soporte obtenidos en promedio son de 93.5%, en cuanto a la composición granulométrica se encuentra en los límites de los porcentajes permitidos para poder utilizar este material como base. Tal como se muestra en la figura 56 existe un porcentaje del material que tendría que ajustarse.

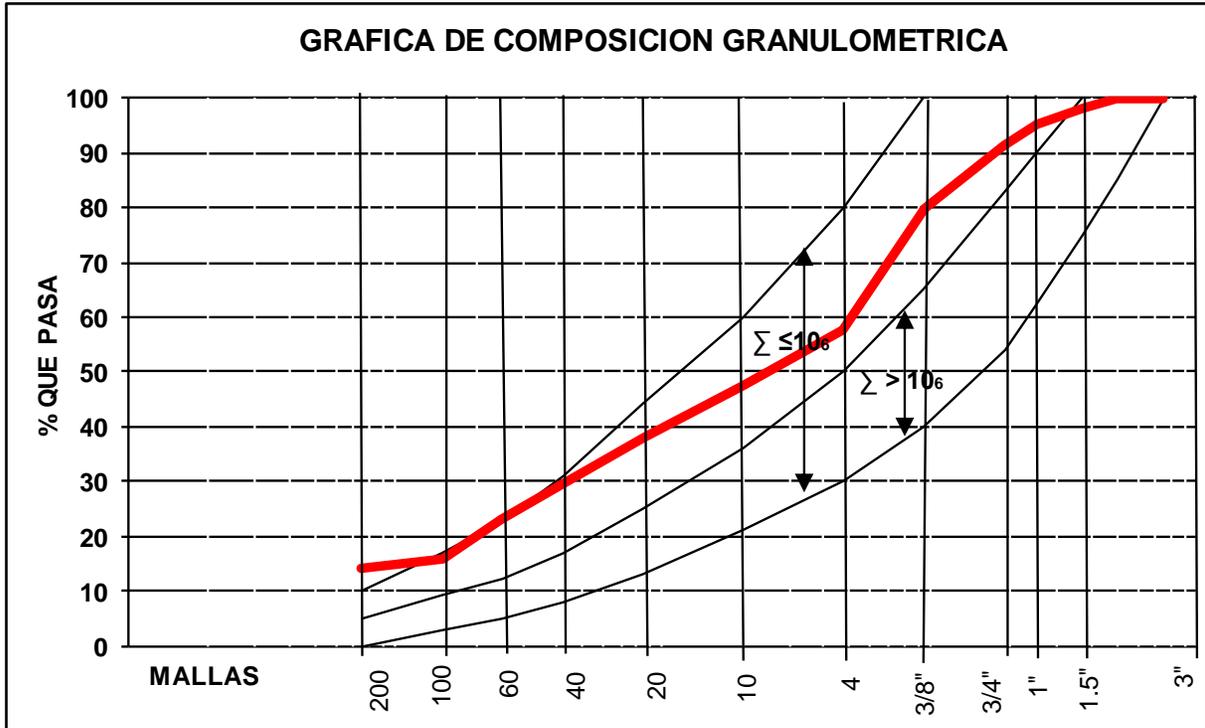


Figura 56. Curva granulométrica de la base hidráulica

Sin embargo, de acuerdo a los resultados mencionados, se hace notar que este material es de muy baja calidad para poder usarse como capa de base hidráulica, por lo cual se tendrá que mejorar con material de recargue para mejorar la granulometría y disminuir la plasticidad.

De los análisis realizados a la carpeta asfáltica, la figura 56 se presenta los ensayos de granulometría realizados a dicho material donde se encontraron resultados desfavorables en cuanto a la composición granulométrica, ya que no cumple con la normativa vigente.



Figura 57. Curva granulométrica del agregado de la carpeta asfáltica existente

A continuación se presenta la caracterización de la mezcla asfáltica de acuerdo a los parámetros que estipula el Protocolo AMAAC:

De los agregados pétreos para la mezcla asfáltica de alto desempeño, tenemos que:

Los porcentajes obtenidos de la prueba para determinar la Granulometría del material petreo que pasa por la malla de $\frac{3}{4}$ " a la malla Núm. 200 cumplen al estar en los parámetros establecidos en la Tabla 3 establecido en la Norma N-CMT-4-02-002-11.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

De acuerdo a la normativa ASTM C 131 el porcentaje de Desgaste de Los Ángeles registró un valor promedio de 18.40 el cual es inferior al máximo establecido en dicha Norma.

En el ensaye de Desgaste Microdeval el valor promedio registrado fue de 10.10% por lo que cumple con el valor máximo establecido en la Norma AASHTO T 327-99/ ASTM TP D6928-10 los cuales indican que el porcentaje mínimo es de 15.

En lo que corresponde a Intemperismo Acelerado se obtuvo un valor promedio de 14.59% por lo que de acuerdo a la Norma ASTM C 88-05 está dentro del parámetro aceptable siendo 15 máximo establecido.

Partículas Fracturadas, dentro de la caracterización el promedio obtenido fue de 94.06%, cumpliendo con el mínimo de 90% establecido en la Norma ASTM D 5821-01.

Se obtuvo un valor promedio de Partículas Lajeadas 3.89 y de 3.76 para las Partículas Alargadas, para la Forma de partícula de acuerdo al máximo de 10% establecido en la Norma ASTM D 4791-10.

Para el Desprendimiento por fricción se obtuvo un valor promedio de 9.33% lo que cumple con el máximo establecido en la Norma AMAAC RA 08/2010.

Determinación del Equivalente de Arena se obtuvo un valor promedio de 56% lo que cumple con el mínimo establecido en la Norma ASTM D 2419-09 de 55% mín.

Para el ensaye de Angularidad de Agregado se obtuvo un valor promedio de 45.76%, lo que cumple con el mínimo requerido de 40% establecido en la Norma AASTHO T304-11.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Para Azul de Metileno se obtuvo un valor promedio de 11mg/gr lo que cumple con lo establecido en la Norma AMAAC RA-06/2010.

De las pruebas realizadas al cemento asfáltico modificado con polímeros tipo I y grado PG 76-22, tenemos que:

El punto de Inflamación Cleveland promedio obtenido de 296, la Viscosidad Dinámica promedio obtenida de 1.695, el Módulo Reológico de Corte Dinámico con un valor promedio obtenido de 1.36, Temperatura de Prueba 76oC y la Pérdida por Calentamiento promedio obtenido de 0.277, los valores obtenidos cumplen con lo establecido en la Norma N-CMT-4-05-004/08.

De las pruebas realizadas a la mezcla asfáltica de alto desempeño, tendida y compactada tenemos que:

El espesor de la carpeta asfáltica cumplió en un 87.67%, mientras que el espesor promedio fue de 10.62cm.

El Grado de Compactación de los 30 núcleos extraídos, 19 cumplen con el mínimo requerido de 96%, los que representan el 36.63%, mientras que el porcentaje promedio obtenido fue de 94.6%, aquí se destaca que no se cumplió con la energía de densificación de la carpeta. Una primera causa que se supondría es que la temperatura de tendido no fue la necesaria.

Para la Susceptibilidad a la Deformación Permanente (Rueda Cargada de Hamburgo) el 100% de los núcleos ensayados cumple con el límite máximo establecido de 10mm, siendo el promedio obtenido 7.34mm.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

El ensaye de Susceptibilidad al Daño Inducido por la Humedad (TSR) el 100% de las muestras ensayadas cumple con el porcentaje superior al mínimo establecido de 80%, tanto que el promedio obtenido fue de 92.43%.

El porcentaje de contenido de Cemento Asfáltico que se obtuvo fue inferior al rango establecido de 6.88% - 7.48%, siendo el promedio 6.03%. Se puede suponer que el diseño de la mezcla fue inadecuado debido a la porosidad del material pétreo, el 83.33% no cumple con la Granulometría de la mezcla obtenida mediante lavado por centrifugado (Rotarex).

De la revisión a los parámetros de Diseño de la Mezcla se tenemos que:

Para los agregados pétreos, se consideró un Tamaño Máximo Nominal (T.M.A.) de 19.0 mm (3/4"), y una arena triturada de 1/4", procedentes de bancos de préstamo, estos materiales fueron analizados para corroborar y asegurar el cumplimiento de las características físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño diseñada con 30'000,000 de Ejes Equivalentes, compactando los especímenes a 100 giros en el compactador giratorio.

El cemento asfáltico, considerado para el diseño de la mezcla asfáltica de carpeta de granulometría densa de alto desempeño es PG 70-22.

Para la composición granulométrica de la mezcla de diseño se utilizaron diferentes combinaciones posibles de los agregados, siendo la combinación satisfactoria la siguiente:

55% – Grava triturada de 3/4" (19.0 mm)

45% – Arena triturada de 1/4" a finos.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Análisis de la mezcla, el contenido óptimo de asfalto determinado para la mezcla fue de 6.2% con respecto de la mezcla y de 6.6% con respecto al peso del agregado con lo que se obtuvo el 4% de vacíos para el agregado mineral y relación filler – asfalto, como lo indica el Protocolo AMAAC para mezclas de granulometría densa.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

CONCLUSIONES

Como primera conclusión, se destaca que el llevar una ordenada y sistemática revisión de las capas que componen el pavimento permite detectar omisiones y errores durante la ejecución de los trabajos.

De manera particular se encontraron las siguientes debilidades de las capas de pavimento:

Del análisis de la capa de base hidráulica los resultados arrojan una mala calidad en general del agregado empleado, es decir que no todos los parámetros evaluados cumplen la normativa vigente.

En cuanto al agregado pétreo empleado en la mezcla asfáltica el 2.54% no cumplió con la normativa para granulometría, pero no se considera significativo para el desempeño general de la mezcla asfáltica.

De las 157 pruebas realizadas en la carpeta asfáltica el 81.34% cumple con los parámetros de calidad establecidos en la normativa aplicable vigente relativa a la calidad de los materiales pétreos y del cemento asfáltico PG 70-22.

Para conocer la regularidad del tramo se verificó el Índice de Perfil, el cuál del Km 14+000 al km 19+000 se obtuvo un valor mínimo de 5.0cm y un máximo de 43.0cm, para un promedio de 22.46cm/km. Del Km 19+000 al Km 14+000 se obtuvo un valor mínimo de 6.0cm y un máximo de 42.0cm con un promedio de 21.46 cm/Km, estos valores cumplen con los parámetros establecidos en la Norma M-MMP-4-07-002/06.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Los resultados promedio de la medición del coeficiente de fricción de los Km 14+000 al Km 19+000 en ambos sentidos fueron de 0.699 respectivamente cumpliendo lo establecido en la Norma ASTM E 670, para calificar el tramo con una condición aceptable.

De lo anterior tenemos una estructura de pavimento que tiene una calidad aceptable, esto afecta directamente la vida remanente del pavimento, es decir la vida útil del tramo se verá reducida de su periodo de diseño, en condiciones normales de operación y prevalecientes del camino.

Sin embargo, no se puede omitir que es de suma importancia cumplir los estándares de calidad de cada uno de los elementos que conforman la estructura del pavimento, la ejecución de estos trabajos deben garantizar la seguridad de los usuarios el mayor tiempo posible.

Una estructura con deficiencias de calidad proporciona al usuario una superficie de rodamiento que le generará gastos de operación innecesarios, toda vez que la aparición de baches, desprendimientos, oquedades a temprana edad serán cada vez más frecuentes, generando un deterioro prematuro.

Así mismo la administración de los recursos se ve afectada al no realizarse trabajos que tengan resultados efectivos en pro de la seguridad del usuario, por lo que, si no se realizan trabajos de la calidad proyectada, se destinarán más y mayores recursos económicos al mismo tramo, ya que su vida útil será disminuye considerablemente.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

RECOMENDACIONES

El protocolo AMAAC, plantea la cobertura de los diferentes materiales y procesos durante la ejecución de los trabajos de pavimentos, para el control de calidad de los materiales pétreos y asfálticos, en caso particular de este trabajo de investigación se contempló analizar el empleo del método de diseño de la mezcla asfáltica de alto desempeño.

Por lo que, como primera recomendación, se propone dar continuidad al tema con una investigación similar para el resto de los materiales asfálticos, así como para todos los materiales pétreos de manera particular.

Como segunda recomendación durante el trabajo de investigación desarrollado y entrando al tema de los trabajos que la Dirección General de Conservación de Carreteras implementa, se pueden destacar, tres etapas que se consideran fundamentales en todos los trabajos de supervisión relativos a la utilización de la metodología del protocolo AMAAC

Primera etapa. - La Dirección General, contrata servicios de supervisión para que por medio de estas estar enterado de la calidad de las obras en la red federal de carreteras a su cargo. Por lo que la información debe ser veraz y oportuna para la toma de decisiones que corrijan las desviaciones que se registren referentes a la calidad de los materiales.

Segunda etapa, durante la ejecución de los trabajos. - Es conveniente realizar visitas periódicas de supervisión por parte del personal de la Dirección General, para coadyuvar a la solventación de las debilidades detectadas durante la ejecución de los



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

trabajos en la red federal, así como de realizar las sanciones correspondientes según la normativa aplicable.

Tercera etapa, una vez terminados los trabajos. - Supervisar que se haya cumplido lo establecido en la Normativa, así como los alcances estipulados en el contrato respectivo, para evitar incurrir en faltas y proceder en su caso de acuerdo a lo establecido en la Ley.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Mexicana del Asfalto A.C. (AMAAC). (2008). *Protocolo AMAAC PA-MA-02/08 Control y Aseguramiento de la calidad para mezclas en caliente de granulometría densa de alto desempeño*. México: Asociación Mexicana del Asfalto A.C.
- Asociación Mexicana del Asfalto A.C. (2011). *Recomendación AMAAC RA-06/2011 Compactación de la mezcla asfáltica con compactador giratorio*. México: Asociación Mexicana del Asfalto A.C.
- Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. (1996). *Norma CAPUFE 004-I-DT-1996 para calificar las condiciones de servicio en caminos de cuota*. México: CAPUFE.
- Flores, D. O. (2004). Diseño de Mezclas Asfálticas. En D. O. Flores, *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mexclas con emulsiones tibias* (págs. 62-70). Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Garnica Anguas, P. H. (2005). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS*. Sanfandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.
- Garnica, G. (2003). *ALGUNOS ASPECTOS DE LA DENSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON EL COMPACTADOR GIRATORIO*. Sanfandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2008). *Instituto Mexicano del Transporte*. Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte: <http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-004-08.pdf>
- Mendoza Díaz A. Abarca Pérez E, S. R. (2011). *Prácticas para evaluar la calidad de Infraestructura Carretera de Cuota*.
- Ordoñez, F. A. (2014). *COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A DIFERENTES NIVELES DE COMPACTACIÓN*. MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Secretaría de Comunicaciones y Transportes . (2006). *Norma N-CMT-4-05-002/06 Calidad de Materias asfálticas Modificadas* . México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes .

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *www.sct.gob.mx*. Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/guia-carreteras.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Manual de Proyecto Geométrico*. México: Dirección General de Servicios Técnicos .



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

APÉNDICE 1. CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA BASE HIDRÁULICA

1. Determinación del peso volumétrico seco suelto del material para base hidráulica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carre. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.				
CARRETERA: Federal No. 14		CLABE: CB -001		
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma		FECHA DE MUESTREO: 04/10/2015		
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000		FECHA DE INFORME: 10/10/2015		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA - ARENA PARA USARSE EN : BASE HIDRÁULICA EXISTENTE MEJORADA DEPOSITO DE MUESTREO: CAMELLÓN UBICACIÓN DEL MUESTREO: KM 14+000				
COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN MALLA No.4				
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL (GSR)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
2"				100
1 1/2"	230.00	1.7	1.7	96.3
1"	420.00	3.1	4.8	95.2
3/4"	530.00	4	8.8	91.2
3/8"	1,540.00	11.5	20.3	79.7
No. 4	2,940.00	21.9	42.2	57.8
Pasa No. 4	7,750.00	57.6		
SUMA	13,410.00			
TERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA				
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL (GSR)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
10	65	10.4	52.6	47.4
20	57.6	9.2	61.9	38.1
40	54.2	8.7	70.6	29.4
60	39.4	6.3	76.9	23.1
100	45.4	7.3	84.2	15.8
200	9.5	1.5	85.7	14.3
PASA No.200	89.3	14.3	100	
SUMA	360.4			
PESO HÚMEDO (1) grs:	623.3	VOLUMEN DESALOJADO (C:C) (4)	239.35	
PESO SECO (2) grs:	613.1	PESO PARCIALMENTE HUMEDO:	620.3	
AGUA ABSORBIDA (1) - (2):	10.2	DENSIDAD RELATIVA APARENTE =	2.592	
ABSORCIÓN (3)/(2)x100:	1.664			





2. Grafica granulometría del material para base hidráulica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.		REPORTE No.: EG-001	
		FECHA DE MUESTREO: 04/10/2015	
		FECHA DE INFORME: 10/10/2015	
DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	GRAVA - ARENA	
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	NINGUNO	
	UBICACIÓN DEL MUESTREO:	KM 14+500	
	UBICACIÓN DEL BANCO:	CAMELLÓN	
MASA VOLUMÉTRICA SECA SUELTA, (kg/m³)		1375	
MASA VOLUMÉTRICA SECA MÁXIMA, (kg/m³)		1375	
HUMEDAD ÓPTIMA, (%)			
MALLAS	% PASA	LA $\sum >10^6$	<p align="center">GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA</p>
2"	100	85 - 100	
1 1/2"	98.285	75 - 100	
1"	95.2	62 - 100	
3/4"	91.2	54 - 83	
3/8"	79.7	40 - 65	
Núm. 4	57.8	30 - 50	
Núm. 10	47.4	21 - 36	
Núm. 20	38.1	13 - 25	
Núm. 40	29.4	8 - 17	
Núm. 60	23.1	5 - 12	
Núm. 100	15.8	3 - 9	
Núm. 200	14.3	0 - 5	
CBR, (%) =		100 % MÍNIMO	ABSORCIÓN, (%) 1.66 *****
EXPANSIÓN, (%)		*****	DENSIDAD, (gr/cm³) 2.30 *****
EQUIVALENTE DE ARENA, (%)		50 % MÍNIMO	LÍMITE LÍQUIDO, (%) 29.33 25 % MÁXIMO
DESGASTE, (%)		30 % MÁXIMO	LÍMITE PLÁSTICO, (%) 21.10 *****
PART. ALARGADAS Y LAJEADAS, (%)		35 % MÁXIMO	ÍNDICE PLÁSTICO, (%) 2.70 6 % MÁXIMO
OBSERVACIONES:			
EL MATERIAL NO CUMPLE CON LA TABLA 3 DE LA NORMA N-CMT-4-02-002-11 , EN LOS PORCENTAJES DE QUE PASAN POR LA MALLA DE 3/8" A LA NÚMERO 200.			



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3. Límites de Atteberg del material para base hidráulica

OBRA:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: <u>Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.</u>						
EJECUTORA:							
CARRETERA:	Federal No.14						CONTRATO:
TRAMO:	Hermosillo - Moctezuma						FECHA DEL MUESTREO: 04/10/2016
SUBTRAMO:	Del km 14+000 al km 19+000						FECHA DEL INFORME: 10/10/2016

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCION DEL MATERIAL: GRAVA - ARENA						
	PARA USARSE EN : BASE HIDRAULICA EXISTENTE MEJORADA						
	DEPOSITO MUESTREADO: CAMELLÓN						
	UBICACION DEL MUESTREO: KM 14+500						

LÍMITE LIQUIDO							
CAPSULA	PESO DE LA CAPSULA	CAPSULA + SUELO HÚMEDO	CAPSULA + SUELO SECO	AGUA	PESO SECO	W	NUMERO DE GOLPES
No.	Gramos	Gramos	Gramos	Gramos	Gramos	%	Golpes
23	15.6	52.2	43.90	8.30	28.30	29.00	25

LÍMITE PLÁSTICO							
No.	Gramos	Gramos	Gramos	Gramos	Gramos	W	
13	15.9	25.6	23.91	1.69	8.01	21.00	
					PROMEDIO=		

NÚMERO DE GOLPES

MOLDE No. = 8.00

LONGITUD MOLDE = 99.40

LONGITUD BARRA = 96.70

CONTRACCIÓN LINEAL = 2.70

LL = 29.30%

LP = 21.10%

IP = 8.20%

GPO. SUCS. = SC

OBSERVACIONES:
EL LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE PLÁSTICO DE LA MUESTRA NO CUMPLEN CON LO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4 DE LA NORMA N-CMT-4-02-002/11



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

4. Gráfica VRS del material para base hidráulica

OBRA:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.		
EJECUTORA:		CONTRATO:	
CARRETERA:	Federal No.14	FECHA DE MUESTREO:	04/10/2016
TRAMO:	Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE INFORME:	15/10/2016
SUBTRAMO:	Del km 14+000 al km 19+000		

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	GRAVA - ARENA
	PARA USARSE EN:	BASE HIDRÁULICA EXISTENTE MEJORADA
	DEPOSITO MUESTREADO:	CAMELLÓN
	UBICACIÓN DEL MUESTREO:	KM 14+500

GRAFICA RESISTENCIA PENETRACIÓN RESISTENCIA EN KG.		CALCULO DEL PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO	
	BASE MUY BUENA	MOLDE	2
	100% BASE DE BUENA CALIDAD	Masa Seca	2278
	80% BASE DE REGULAR CALIDAD	Masa humeda	2514.1
	SUBBASE DE BUENA CALIDAD	Agua agregada	236.1
	50% BASE DE REGULAR CALIDAD	Altura molde	17.8
	SUBBASE DE BUENA CALIDAD	Altura faltante	11.59
	30% SUB RASANTE DE MUY BUENA CALIDAD	Altura del material	6.21
	20% SUBRASANTE DE REGULAR A BUENA	Area (cm²)	182.3
	10% MALA O DUDOSA	Volumen (cm³)	1132
	MUY MALA	Masa Vol. Humeda (kg/m³)	2221
		Masa Volumetrica Seca	2012
		Humedad Optima	10.37
PENETRACION			
	Def. (mm)	Lectura	Carga
	1.27	30	111.00
	2.54	95	351.00
	3.81	200	738.00
	5.08	356	1314.00
	7.62	478	1764.00
	10.16	589	2174.00
	12.7	688	2539.00
VALOR RELATIVO DE SOPORTE %			
66% CORREGIDO 71%			
PRUEBA DE EXPANSIÓN			
	Extencion No.	1	
	Lectura Inicial	4.55	
	Lectura Final	4.20	
	Diferencia	0.350	
	% de Expansión	0.30%	
CONTENIDO DE HUMEDAD			
	Tara No.	12	
	Masa tara (g)	168.6	
	Masa tara + muestra humeda (g)	356.0	
	Masa tara + muestra seca (g)	338.4	
	Masa del agua (g)	17.6	
	Masa de muestra seca (g)	169.8	
	% de humedad	10.37	

OBSERVACIONES: EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE LA MUESTRA **NO CUMPLE** CON LO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4 DE LA NORMA **N-CMT-4-02-002/11**



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

6. Desgaste de Los Ángeles del material para base hidráulica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.	
CARRETERA: <u>Federal No. 14</u>	CLABE: <u>EEA -001</u>
TRAMO: <u>Hermosillo - Moctezuma</u>	FECHA DE MUESTREO: <u>04/10/2015</u>
SUBTRAMO: <u>Del km 14+000 al km 19+000</u>	FECHA DE INFORME: <u>10/10/2015</u>
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : <u>GRAVA - ARENA</u> PARA USARSE EN : <u>BASE HIDRAÚLICA EXISTENTE MEJORADA</u> DEPOSITO DE MUESTREADO: <u>CAMELLÓN</u> UBICACIÓN DEL MUESTREO: <u>KM 14+500</u>	
DESGASTE LOS ANGELES	
TIPO DE PRUEBA DE DESGASTE:	A
NÚMERO DE ESFERAS:	ABRASIVO (12 ESFERAS W=5,035 GRS)
NÚMERO DE REVOLUCIONES:	500.00
MALLA No. 12 (Wl):	5000.10
MALLA No. 12 (Wf):	3943.50
PESO QUE PASA (Wl):	1056.60
PORCENTAJE DE DESGASTE:	21.13
MASA FINAL RETENIDA EN LA MALLA No. 12 (W)	3943.50 GRS
$D = \frac{Wl - Wf}{Wl} \times 100$	21.13%
OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE AL DESGASTE LOS ANGELES CUMPLE CON EL MÁXIMO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4 DE LA NORMA N-CMT-4-02-002/11	



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

7. Forma de la partícula del material para base hidráulica

<p>OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.</p>						
<p>CARRETERA: <u>Federal No. 14</u></p>		<p>CLABE: <u>CB -001</u></p>				
<p>TRAMO: <u>Hermosillo - Moctezuma</u></p>			<p>FECHA DE MUESTREO: <u>04/10/2015</u></p>		<p>FECHA DE INFORME: <u>10/10/2015</u></p>	
<p>SUBTRAMO: <u>Del km 14+000 al km 19+000</u></p>						
<p>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA - ARENA PARA USARSE EN : BASE HIDRÁULICA EXISTENTE MEJORADA DEPOSITO DE MUESTREO: CAMELLÓN UBICACIÓN DEL MUESTREO: <u>KM 14+500</u></p>						
PARTÍCULAS LAJEADAS						
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL (GRS)	PESOS ACUMULADOS RETENIDOS	% RETENIDO	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PESOS DE LAS QUE PASAN	% DE PARTÍCULAS LAJEADAS
1"	97.30	15.96	15.96	5.00	14.60	2.39%
3/4"	68.50	11.24	27.2	7.00	10.96	1.80%
1/2"	123.20	20.21	47.42	37.00	13.55	2.22%
3/8"	145.30	23.84	71.26	66.00	27.61	4.53%
1/4"	175.20	28.74	100.00	240.00	5.26	0.86%
SUMA	609.50			355.00		11.80%
PARTÍCULAS ALARGADAS						
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL (GRS)	PESOS ACUMULADOS RETENIDOS	% RETENIDO	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PESOS DE LAS QUE PASAN	% DE PARTÍCULAS ALARGADAS
1"	97.30	15.96	15.96	5.00	12.65	2.08%
3/4"	68.50	11.24	27.2	7.00	10.96	1.80%
1/2"	123.20	20.21	47.42	37.00	14.78	2.43%
3/8"	145.30	23.84	71.26	66.00	27.61	4.53%
1/4"	175.20	28.74	100.00	240.00	8.76	1.44%
SUMA	609.50			355.00		12.28%
<p>OBSERVACIONES: EL ENSAYE DEL MATERIAL RESPECTO A LA FORMA DE LA PARTÍCULA CUMPLE CON EL % MÁXIMO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4 EN LA NORMA N-CTM-4-02-002/11</p>						



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

8. Determinación del peso volumétrico seco máximo del material para base hidráulica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.

CARRETERA: Federal No. 14 **CLABE:** CB -001
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma **FECHA DE MUESTREO:** 04/10/2015
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000 **FECHA DE INFORME:** 10/10/2015

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA - ARENA
PARA USARSE EN : BASE HIDRAÚLICA EXISTENTE MEJORADA
DEPOSITO DE MUESTREO: CAMELLÓN
UBICACIÓN DEL MUESTREO: KM 14+500

AASHTO MODIFICADA	
NÚMERO DE CAPAS:	5
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA:	56
NÚMERO DE MOLDE:	4
VOLUMEN (V):	943.1

PRUEBA NÚMERO	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO G	3985.0	4075.0	4113.0	4098.0		
PESO MOLDE Gr	2039.4	2039.4	2039.4	2039.4		
PESO SUELO HÚMEDO GR (Wm)	1945.6	2035.6	2073.6	2058.6		
P.E. HÚMEDO KG/M3 (Ym=Wm/V)	2063.0	2156.0	2199.0	2183.0		
CAPSULA NÚMERO	2	3	5	9		
PESO CAPSULA + SUELO HÚMEDO	519.4	527.8	532.9	542.6		
PESO CAPSULA + SUELO SECO Gr	493.3	493.8	491.1	494.0		
PESO DEL AGUA Gr	26.1	34.0	41.8	48.6		
PESO CAPSULA Gr	123.3	125.2	126.1	125.8		
PESO SUELO SECO Gr	370.0	368.6	365.0	368.2		
CONTENIDO DE AGUA % m	7.1	9.2	11.5	13.2		
HUMEDAD ÓPTIMA						
P.E. SECO KG/M3 (Yd = Ym/1+m)	1,927.0	1976.1	1972.8	1928.3		

HUMEDAD (W) ÓPTIMA: **Yd máx.**



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

9. Compactación del material para base hidráulica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.

CARRETERA: Federal No. 14 **CLABE:** CB -001
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma **FECHA DE MUESTREO:** 04/10/2015
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000 **FECHA DE INFORME:** 10/10/2015

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: GRAVA - ARENA
PARA USARSE EN: BASE HIDRAÚLICA EXISTENTE MEJORADA
DEPOSITO DE MUESTREO: CAMELLÓN
UBICACIÓN DEL MUESTREO: KM 14+500

PESOS VOLÚMETRICOS Y COMPACTACIONES

CAPA NÚMERO	LOCALIZACIÓN	LADO	PROF. DEL SONDEO (cm)	PESO VOLÚMETRICO (KG/M3)		HUMEDADES		% DE COMPACTACIÓN
				MÁXIMO	DEL LUGAR	ÓPTIMA	DEL LUGAR	
ÚNICA	14+500	CEN	30.0	2010.0	2003.0	10.30	8.30	100.20%

MÉTODO UTILIZADO: TROMPA Y ARENA **REFERENCIA:** M-MMP-1-08/03

OBSERVACIONES:
 EL % DE COMPACTACIÓN OBTENIDO **CUMPLE** CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA N-CMT-4-02-002/11

10. Resumen de las características del material para base hidráulica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.

CARRETERA: Federal No. 14 **CLABE:** _____
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma **FECHA DE MUESTREO:** 26/11/2015
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000 **FECHA DE INFORME:** 06/12/2015

RESUMEN CARACTARÍSCAS DE LA BASE HIDRAULICA

CALIDAD	LOCALIZACIÓN				PROMEDIO
	14-500	15+800	16+500	17+350	
ESPESOR	30.0	30.0	30.0	30.0	30.00
PESO VOLÚMETRICO	2003.0	2029.0	2030.0	2003.0	2016.25
% DE COMPACTACIÓN	99.7	100.4	100.5	100.2	100.20



100 años

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

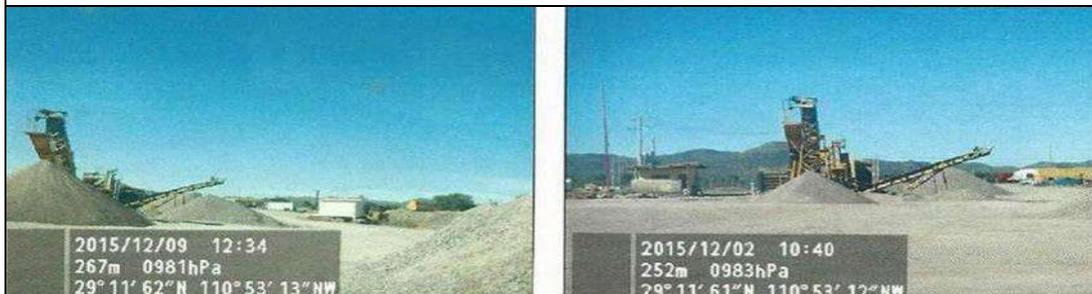
De acuerdo con el espesor, peso volumétrico y % de compactación del material colocado para base hidráulica, nos indican que cumple con la Normativa SCT por lo que tenemos una base hidráulica, protegida con un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica ECI 45-300 a una razón de 1.5 lt/m².



APENDICE 2. CALIDAD DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO

1. Composición granulométrica de los materiales para mezcla asfáltica de alto desempeño

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carre. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.				
CARRETERA: Federal No. 14		CLABE: CB -001		
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma		FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015		
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000		FECHA DE INFORME: 27/11/2015		
PESO HÚMEDO (1) grs:	634.3	VOLUMEN DESALOJADO:	240.1	
PESO SECO (2) grs:	626.4	PESO DE LA MUESTRA SECA:	631.3	
AGUA ABSORBIDA (1) - (2):	7.9	DENSIDAD REALTIVA APARENTE:	2.629	
BASSORCIÓN:	1.261			
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA - ARENA				
PARA USARSE EN : CARPETA ASFÁLTICA				
DEPOSITO DE MUESTREADO: ALMACEN				
UBICACIÓN DEL MUESTREO: KM 1+800 DESVIACIÓN DERECHA 200 MTS				
COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN MALLA No.4				
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL (GSR)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1"	0	0	0	100
3/4"	0.00	0	0	100
1/2"	3,735.00	30	30	70
3/8"	1,085.00	8.7	38.7	61.3
No. 4	2,005.00	16.1	54.8	45.2
8	1,740.00	14	68.8	31.2
16	1,470.00	11.8	80.6	19.4
30	770	6.2	86.8	13.2
50	520	4.2	91	9
100	350	2.8	93.8	6.2
200	250	2	95.8	4.2
PASA No.200	525	4.2	100	
SUMA	12450	100		
PESO HÚMEDO (1) grs:	634.3	VOLUMEN DESALOJADO (C:C): (4)	240.1	
PESO SECO (2) grs:	626.4	PESO PARCIALMENTE HUMEDO:	631.3	
AGUA ABSORBIDA (1) - (2):	7.9	DENSIDAD RELATIVA APARENTE =	2.629	
ABSORCIÓN (3)/(2)x100:	1.261			





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2. Grafica granulométrica de los materiales para mezcla asfáltica de alto desempeño

OBRA:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma. Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.
	REPORTE No.: EG-001
	FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015
	FECHA DE INFORME: 27/11/2015

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCION DEL MATERIAL:	GRAVA - ARENA
	PARA USARSE EN:	CARPETA ASFÁLTICA
	DEPÓSITO MUESTREADO:	ALMACEN
	UBICACIÓN DEL BANCO:	KM 4+300 DESVIACIÓN DERECHA 50 MTS

PESO VOLUMÉTRICO SECO:	1530
ABSORCIÓN:	1.26
DENSIDAD:	2.63

MALLAS	% PASA	NORMA SCT
1"	100.0	100.00
3/4"	100.0	100.00
1/2"	70.0	90-100
3/8"	61.0	76-90
Núm. 4	45.0	45-59
Núm. 16	19.0	15-22
Núm. 30	13.0	11-16
Núm. 50	9.0	8-13
Núm. 100	6.0	5-10
Núm. 200	0.0	2-6



OBSERVACIONES:
LA GRÁFICA CORRESPONDE AL MATERIAL ANTES DE ELEBORAR LA MEZCLA ASFÁLTICA





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3. Resultados de Desgaste de los Ángeles del agregado grueso para mezcla asfáltica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.															
CARRETERA: Federal No. 14	ENSAYE: 1														
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015														
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000	FECHA DE INFORME: 27/11/2015														
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA TRITURADA 3/4" PARA USARSE EN : ELABORACIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA DEPOSITO DE MUESTREO: BANCO MOLINA UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS															
DESGASTE LOS ANGELES															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE PRUEBA DE DESGASTE:</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NÚMERO DE ESFERAS:</td> <td>ABRASIVO (11 ESFERAS W=4,620 GRS)</td> </tr> <tr> <td>NÚMERO DE REVOLUCIONES:</td> <td>500.00</td> </tr> <tr> <td>MALLA No. 12 (Wi):</td> <td>5000.30</td> </tr> <tr> <td>MALLA No. 12 (Wf):</td> <td>4080.00</td> </tr> <tr> <td>PESO QUE PASA (WI):</td> <td>920.30</td> </tr> <tr> <td>PORCENTAJE DE DESGASTE:</td> <td>18.40</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE PRUEBA DE DESGASTE:	B	NÚMERO DE ESFERAS:	ABRASIVO (11 ESFERAS W=4,620 GRS)	NÚMERO DE REVOLUCIONES:	500.00	MALLA No. 12 (Wi):	5000.30	MALLA No. 12 (Wf):	4080.00	PESO QUE PASA (WI):	920.30	PORCENTAJE DE DESGASTE:	18.40	
TIPO DE PRUEBA DE DESGASTE:	B														
NÚMERO DE ESFERAS:	ABRASIVO (11 ESFERAS W=4,620 GRS)														
NÚMERO DE REVOLUCIONES:	500.00														
MALLA No. 12 (Wi):	5000.30														
MALLA No. 12 (Wf):	4080.00														
PESO QUE PASA (WI):	920.30														
PORCENTAJE DE DESGASTE:	18.40														
MASA FINAL RETENIDA EN LA MALLA No. 12 (W)	4080.00 GRS														
$D = \frac{WL - Wf}{WI} \times 100$	18.40%														
OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE AL DESGASTE LOS ANGELES CUMPLE CON LAS NORMAS N-CMT-4-04/08 Y M-MMP-4-04-005 PARA CARPETA ASFÁLTICA															



5. Resultados de Intemperismo Acelerado del agregado grueso

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.

CARRETERA: Federal No. 14 **CLABE:** EI - 001

TRAMO: Hermosillo - Moctezuma **FECHA DE MUESTREO:** 20/11/2015

SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000 **FECHA DE INFORME:** 27/11/2015

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA

PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA

DEPOSITO DE MUESTREADO: ALMACEN

UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS

INTEMPERISMO ACELERADO

MALLA		FRACCIÓN GRUESA		% DE INTEMPERISMO
MM	IN	MASA INICIAL G.	MASA FINAL G.	
19.0	3/4"	619.40	580.30	6.31
12.7	1/2"	335.20	307.45	8.28
TOTAL		954.60	887.75	14.59

OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE **CUMPLE** CON LA NORMA ASTM C 88 - 05 (15% MAX)



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

6. Porcentaje de Partículas Fracturadas del agregado grueso para la mezcla asfáltica

<p>OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.</p>							
CARRETERA: Federal No. 14		ENSAYE		1			
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma		FECHA DE MUESTREO:		20/11/2015			
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000		FECHA DE INFORME:		27/11/2015			
<p>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA TRITURADA DE 3/4" PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA DEPOSITO DE MUESTREO: BANCO MOLINA UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS</p>							
PARTICULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO PARA LA MEZCLA ASAFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO ASTM-D-5821-01							
MALLA	MASA (GRS)	1 O MAS CARAS FRACTURADAS (F1) G.	SIN CARAS FRACTURADAS (N1) G.	2 O MASCARAS FRACTURADAS (F2) G.	MENOS DE 2 CARAS FRACTURADAS (N2) G.	% DE PARTICULAS	
						1 CARA FRACTURADA	2 CARAS FRACTURADAS
1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
1"	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	308.8	289.70	19.10	279.50	29.30	93.81	90.51
1/2"	257.4	254.00	3.40	236.70	20.70	98.68	91.96
3/8"	185.10	185	0	173.8	11.3	100	93.9
1/4"	97.40	97.4	0	93.8	3.5	100	96.4
SUMA:	848.70	826.10	22.50	783.80	64.80	99.56	94.02
<p>$\%P \text{ 1 CARA} = F1/F1 + N1 + 100$ $\%P \text{ 2 CARA} = F2/F2 + N2 + 100$</p> <p>P: PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON EL NÚMERO DE CARAS FRACTURADAS ESPECIFICADO</p>							
<p>OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE CUMPLE CON LA NORMA ASTM D 5821 - 01 (2006). (90% MÍNIMO)</p>							



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

7. Determinación de Partículas Planas y Alargadas del agregado grueso para mezcla asfáltica

<p>OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.</p>					
CARRETERA: Federal No. 14		CLABE: EF - 001			
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma			FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015		
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000			FECHA DE INFORME: 27/11/2015		
<p>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA DEPOSITO DE MUESTREO: ALMACEN UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS</p>					
PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS					
MALLA	MASA (GRS)	MASAS INDIVIDUALES G.		PORCENTAJE	
		LAJEADAS	ALARGADAS	LAJEADAS	ALARGADAS
3/4"	308.8	6.80	5.00	0.80	0.59
1/2"	257.4	11.60	12.40	1.37	1.46
3/8"	185.10	8	8.8	0.94	1.04
1/4"	97.40	6.6	5.7	0.78	0.67
SUMA:	848.70			3.89	3.76
<p>OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE CUMPLE CON LA NORMA ASTM D 4791 - 10. PARTÍCULAS LAJEADAS RELACIÓN 5 A 1, 10% MÁXIMO PARTÍCULAS ALARGADAS RELACIÓN 5 A 1, 10% MÁXIMO</p>					



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

8. Resultados de Desprendimiento por Fricción de la fracción gruesa de los agregados

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.										
CARRETERA: Federal No. 14						CLABE: EF - 001				
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma						FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015				
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000						FECHA DE INFORME: 27/11/2015				
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA PARA USARSE EN : PÉTREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA DEPOSITO DE MUESTREO: ALMACEN UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS										
DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN EN LA FRACCIÓN GRUESA DE MATERIALES PÉTREOS, AMAAC RA-08/2010										
0% No deprendimiento										
100% Desprendimiento total										
DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN										
No.										
1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
7	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
8	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
9	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
11	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
12	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
13	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
14	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
15	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
16	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
17	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
18	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
19	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
20	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
21	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
22	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
23	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
24	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
25	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
26	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
27	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
29	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
30	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
SUMATORIA PARCIAL $\Sigma 1$										170
RESULTADO: PERDIDA POR FRICCIÓN PROMEDIO (%) $Pf = (\Sigma 1 + \Sigma 2) / n$ 9.33										
OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE CUMPLE CON LA NORMA AMAAC RA-08/2010										



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

9. Resultados de la Densidad Relativa y Absorción del agregado grueso para la mezcla asfáltica

<p>OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.</p>			
CARRETERA: Federal No. 14		ENSAYE: 1	
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma		FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015	
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000		FECHA DE INFORME: 27/11/2015	
<p>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : GRAVA TRITURA DE 3/4" PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA DEPOSITO DE MUESTREADO: BANCO MOLINA UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS</p>			
<p>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA (GARAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO ASTM-C-127-07</p>			
<p>DENSIDADES RELATIVA</p>			
Prueba No.		1	2
Masa de la muestra ensayada secada eb horno (A), g		2356.80	2575.80
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (B), g		2386.40	2608.40
Masa aparente en agua de la muestra saturada (C), g		1460.0	1596.2
Seca al horno (SH) = $A / (B-C) * 997.5 =$		2.544	2.545
Saturada y superficialmente seca (SSS) = $B / (B-C) =$		2.576	2.577
Aparente = $A / (A - C) =$		2.628	2.629
Seca al horno: 2.545	SSS: 2.577	Aparente: 2.629	
<p>ABSORCIÓN</p>			
Prueba No.		1	2
Masa tara + material saturado y superficial seco, g		-	-
Masa material saturado y superficial seco, (B),g		-	-
Masa tara + material seco, g (A),g		-	-
Masa material seca		-	-
% Absorción = $(B - A) / A * 100$		-	-
	Absorción Promedio, %=	1.259	1.266
<p>OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE CUMPLE CON LA NORMA ASTM C 121 - 07.</p>			



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

10. Determinación del equivalente de Arena del agregado fino para mezcla asfáltica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carre. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.

CARRETERA: Federal No. 14 ENSAYE: 1

TRAMO: Hermosillo - Moctezuma FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015

SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000 FECHA DE INFORME: 27/11/2015

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : ARENA TRITURADA
 PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA
 DEPOSITO DE MUESTREO: BANCO MOLINA
 UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETRA SAN PEDRO PESQUEIRA, KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS.

DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO

1ER CICLO		2DO CICLO		LECTURAS		% DE EQUIVALENTE
MUESTRA		ENSAYE		NIVEL DE ARCILLA	NIVEL DE ARENA	
10:16	10:26	10:28	10:48	5.90	3.30	55.90%
10:20	10:30	10:33	10:53	5.90	3.30	55.90%
10:23	10:33	10:36	10:56	6.00	3.30	55.00%
					PROMEDIO	56%

OBSERVACIONES: EL EQUIVALENTE DE ARENA **CUMPLE** CON LA NORMA ASTM D 2419-09 (55% MIN)



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

11. Resultados de Angularidad del agregado fino para mezcla asfáltica

<p>OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.</p>				
<p>CARRETERA: Federal No. 14</p>		<p>CLAVE: EAFG -001</p>		
<p>TRAMO: Hermosillo - Moctezuma</p>		<p>FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015</p>		
<p>SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000</p>		<p>FECHA DE INFORME: 27/11/2015</p>		
<p>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : ARENA PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA DEPOSITO DE MUESTREO: ALMACEN UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDOR PESQUEIRA, KM 1+800 DESVIACIÓN DER. 200 MTS</p>				
<p>CÁLCULO DE LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO</p>				
<p>Método Utilizado (g): A</p> <p>Masa del Molde: (g) 253.8</p> <p>Volumen del Molde: (mi) 104.10</p>				
Datos	Ensaye 1		Ensaye 2	
	1a Determinación	2a Determinación	1a Determinación	2a Determinación
Masa de molde + material, g	396.6	396.8	397.4	397.1
Masa del material, g	142.8	143	143.6	143.3
Densidad realtiva seca	2.531	2.531	2.531	2.531
% Vacios sin compactar	45.8	45.73	45.50	45.61
% Prom. de vacios sin compactar	45.76		45.56	
<p>OBSERVACIONES: LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO CUMPLE CON LAS NORMA AASTHO T 304-11 (40% MINIMO)</p>				



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

12. Resultados de la prueba Azul de Metileno del agregado fino

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.

CARRETERA: Federal No. 14 **ENSAYE:** 1

TRAMO: Hermosillo - Moctezuma **FECHA DE MUESTREO:** 20/11/2015

SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000 **FECHA DE INFORME:** 27/11/2015

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : ARENA TRITURADA
PARA USARSE EN : PETREOS PARA CARPETA ASFÁLTICA
DEPOSITO DE MUESTREADO: ALMACEN
UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDOR PESQUEIRA, KM 1+800 DESVIACIÓN DER. 200 MTS

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE AZUL DE METILENO PARA FILLER Y FINOS

PROPORCIÓN DE AZUL DE METILENO Y AGUA 1g: 200 ml _____
 1g: 1000 ml X _____

CANTIDAD DE FILLER O SUELO (g): 1.0 g _____

CANTIDAD DE SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO EN ADICIONADO, ML				
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	31	32	33	34

RESULTADO AM = 11.0 mg/gr

OBSERVACIONES: EL AGREGADO FINO **CUMPLE** CON LA NORMA AMAAC RA-05/2010



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

13. Resultado de Densidad y Absorción de agregado fino para mezcla asfáltica de alto desempeño

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.		
CARRETERA: Federal No. 14	ENSAYE: 1	
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE MUESTREO: 20/11/2015	
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000	FECHA DE INFORME: 27/11/2015	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL : ARENA TRITURADA		TEMPERATURA: 24.8°C
PARA USARSE EN : ELABORACIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA		
DEPOSITO DE MUESTREO: BANCO MOLINA		
UBICACIÓN DEL MUESTREO: CARRETERA SAN PEDRO - PESQUERÍA KM 1+800 DESV. DER. 200 MTS		
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO ASTM-C128-12		
DENSIDADES RELATIVA		
Prueba No.	1	2
Masa de la muestra ensayada secada al horno, g	488.90	489.00
Masa del matraz + agua, g	657.90	658.60
Masa del matraz + agua + muestra, g	964.6	965.5
Masa del material saturado y superficialmente seco, g	500	500
Densidad realtiva seca al horno (SH)	2.529	2.532
Densidad realtiva saturada y superficialmente seca (SSS)	2.586	2.589
Densidad realtiva aparente	2.683	2.685
Seca al horno: 2.531	SSS: 2.588	Aparente: 2.684
ABSORCIÓN		
Prueba No.	1	2
Masa de tara, g	100	100
Masa tara + material saturado y superficial seco, g	600.00	600.00
Masa material saturado y superficial seco, (B),g	500.0	500
Masa tara + material seco, g	588.9	589
Masa de material seco, g	488.9	489
Absorción Promedio, % =	2.270	2.249
OBSERVACIONES: EL MATERIAL DE ENSAYE CUMPLE CON LA NORMA ASTM C 128 - 12.		



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

14. Resumen de calidad de los agregados para mezcla asfáltica

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.			
CARRETERA: Federal No. 14	RESUMEN		1
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE MUESTREO:		26/11/2015
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000	FECHA DE INFORME:		06/12/2015
RESUMEN DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA			
FRACCIÓN GRUESA DEL MATERIAL PÉTREO PARA MEZCLA DE GRANULOMETRÍA DENSA			
DESCRIPCIÓN	PRUEBAS REALIZADAS LOTES	CUMPLE CON LA NORMATIVA %	NO CUMPLE CON LA NORMATIVA %
GRANULOMETRÍA	2.0	100.0	0.00
DESGASTE DE LOS ÁNGELES, %	2.0	100.0	0.00
DESGASTE MICRODEVAL, %	2.0	100.0	0.00
INTEMPERISMO ACELERADO, %	2.0	100.0	0.00
PARTÍCULAS FRACTURADAS, % (2 CARAS O MÁS)	2.0	100.0	0.00
PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS, %	2.0	100.0	0.00
ADHERENCIA CON EL ASFALTO, % DE CUBRIMIENTO	2.0	100.0	0.00
FRACCIÓN FINA DEL MATERIAL PÉTREO PARA MEZCLA DE GRANULOMETRÍA DENSA			
EQUIVALENTE DE ARENA, %	2.0	100.0	0.00
ANGULARIDAD, %	2.0	100.0	0.00
AZUL DE METILENO, ml/g	2.0	100.0	0.00

De acuerdo con las pruebas realizadas a los agregados para mezcla asfáltica de granulometría densa de alto rendimiento, los resultados obtenidos nos indican que cumple con la Normativa SCT.



APÉNDICE 3. CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO GRADO PG 70-22

1. Cálculo de cemento asfáltico de la muestra de

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.	
CARRETERA: Federal No. 14	MUESTRA: 1
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE MUESTREO: 20/10/2015
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000	FECHA DE INFORME: 09/12/2015
DESARROLLO Y CALCULO DE LA MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60°C	
DEL CEMENTO ASFÁLTICO ORIGINAL	
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa*s	Viscosidad Rotacional Brookfield a 153°C; Pa*s (ASTM D 4402/06 ó MMP-4 -05-004) 1.695
Viscosidad dinámica a 135°C; Pa*s	Penetración a 4°C; 200g, 60 s; 10⁻¹ mm L1= L2= L3=
Viscosidad Saybolt - Furol a 135°C; seg Tiempo de llenado=	Separación, diferencia anillo y esfera; °C
Penetración a 25°C, en 100g y 5 seg; 10⁻¹mm L1= 55.0 L2= 56.0 L3=55.0 Penetración = (L1+L2L3)/L3 = 55.33	Recuperación elástica por torsión a 25oC; % (MMP-4-05-024) 49.88%
Solubilidad de reblandecimiento; °C	Módulo Reológico de Corte Dinámico a 76°C/send kPa 1.36
Punto de reblandecimiento; °C	Ángulo de fase (γ)(visco-elásticidad), a 76oC; (grados) 72.3
DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA	
Perdida por calentamiento; % m1 = 0.276 rm1 = m2 = 0.277 rm2 = Prom. = 0.277	Penetración a 4°C; 200g, 60 s; 10⁻¹ mm (ASTM D 4402/06 ó MMP-4-05-006)
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa*s	Penetración a 4°C; 200g, 60 s; 10⁻¹ mm (ASTM D 4402/06 ó MMP-4-05-006)
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 76°C/send kPa, mínimo 3.28	Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C; % (MMP-4-05-026) Li = Lf =
Ángulo de fase (γ) (visco-elasticidad =, a 76oC; (grados), máx. 64.9	
OBSERVACIONES: EL MATERIAL ANALIZADO CUMPLE CON LA ESPECIFICACIÓN COMO UN CEMENTO PG 76-22	



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2. Resultados de las pruebas al cemento asfáltico en planta

OBRA: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el		
CARRETERA: Federal No. 14	MUESTRA:	1
TRAMO: Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE MUESTREO:	20/10/2015
SUBTRAMO: Del km 14+000 al km 19+000	FECHA DE INFORME:	09/12/2015
MUESTREO: En Planta		
Tipo de cemento Indicado en la remisión: PG 76 - 22 stylink modificado on plímero tipo I		
Depósito muestreado: Muestra tomada en Planta para mezcla asfáltica		
Cemento para emplearse en: Mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño		
PRUEBAS	RESULTADOS	N-CMT-4-05-005
Del cemento asfáltico original:		
Punto de inflamación Cleveland; °C mínimo	296	230
Viscosidad Dinámica a 135oC; Pa*s, máximo	1.695	3
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen d);kPa, mínimo	1.36	1
*Temperatura de prueba °C	76°C	-
Después de la prueba de película delgada y aire de horno:		
Pérdida por calentamiento, %, máximo	0.277	1
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen d);kPa, mínimo	3.28	2.2
*Temperatura de prueba °C	76°C	-
Después de envejecimiento en vasija de presión temperatura y aire		
*Temperatura de envejecimiento PAV; °C	-	-
*En climas normales	100	100
*En climas desérticos	110	110
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen d);kPa, mínimo	1580	5000
*Temperatura de prueba °C	31°C	-
Rigidez de Flexión S; Mpa, maximo	128.3076	300
*Temperatura de prueba °C	-12	-



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

APÉNDICE 4. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TENDIDA Y COMPACTADA

1. Granulometría y Contenido de Asfalto de la mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño.

Reporte No.: 1		Fecha de Informe: 21. nov. 2015				
Obra: Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.						
Estado: Sonora						
Carretera: Federal No 14						
Tramo: Hermosillo - Moctezuma						
Sub tramo: Del Km 14+000 al Km 19+000						
Composición Granulometrica						
Malla	Puntos de Control AMAAC para T.N. De 19 mm (3/4")		Parametros de aceptación (± %)		Granulom. de diseño	Granulom. obtenida
	Mínimo	Máximo	Minimo	Maximo		
1"	100	100	-	-	100.0%	100.0%
3/4"	90	100	90.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1/2"		90	50.0%	90.0%	68.9%	72.4%
3/8"					60.5%	61.3%
No. 4					44.7%	45.2%
No. 8	23	49	23.0%	49.0%	29.7%	29.8%
No. 16					18.8%	19.2%
No. 30					12.8%	13.2%
No. 50					8.8%	9.2%
No. 100					5.9%	6.4%
No. 200	2	8	2.0%	8.0%	3.9%	4.5%

CONTENIDO DE ASFALTO RESPECTO A LA MEZCLA		
MASA INICIAL	1245.3	% DE C.A.
MASA FINAL	1166.90	DE DISEÑO
% CA	5.92	6.19

TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PLANTA	173°C
TEMPERATURA DE TENDIDO	152°C

Observaciones:
 LA MEZCLA PRODUCIDA **NO CUMPLE** TODA VEZ QUE LOS LOS PORCENTAJES QUE PASAN LAS MALLAS DESDE 1/2" HASTA LA NÚMERO 200 SON SUPERIORES, Y EL CONTENIDO DE ASFÁLTO ES INFERIOR LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MEZCLA.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

2. Composición granulométrica de la mezcla asfáltica de alto desempeño

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA PARA CARPETA ASFÁLTICA							
CARRETERA: HERMOSILLO - MOCTEZUMA					FECHA DE ENSAYE: 09/11/15		
TRAMO: DEL KM 14+000 AL KM 19+000							
MATERIAL: CARPETA ASFÁLTICA							
MUESTRA: 15+454 Y 15+738							
PESO NETO = 1331.9							
PESO LAVADO (g)	PESO FILT CON FINOS (g)	PESO FILT LIMPIO (g)	PESO RET FILTRO (g)	PESO TOTAL (g)	CONT. ASF EN MEZCLA (g)	CONT ASF PET	CONT ASF EN MEZCLA %
1253.50	15.40	14.30	1.10	1252.40	78.40	6.26	5.91
MALLA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL QUE PASA %				
1"	0.0	0.0%	100.0%		1.0000		
3/4"	0.0	0.0%	100.0%		1.0000		
1/2"	345.7	27.6%	72.4%		0.7240		
3/8"	139.0	11.1%	61.3%		0.6130		
4	201.6	16.1%	45.2%		0.4520		
8	192.9	15.4%	29.8%		0.2980		
16	132.8	10.6%	19.2%		0.1920		
30	75.1	6.0%	13.2%		0.1320		
50	50.1	4.0%	9.2%		0.0920		
100	35.1	2.8%	6.4%		0.0640		
200			4.5%		0.0450		
200 CON RETENIDO EN FIL	23.8	1.9%					
PASA	56.4	4.5%					
TOTAL	1252.5	100.0%					



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

3. Resultados de susceptibilidad a la humedad TSR de la mezcla asfáltica de alto desempeño

Obra:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.	Ensaye	1				
		Fecha de prueba:	08/12/2015				
Descripción:	Corazones 4"	Fecha de Informe:	12/12/2015				
Identificación del espécimen		Seco			Saturado		
		1	2	5	6	9	10
Ubicación		14+040	14+264	14+998	14+188	15+730	14+854
Diámetro, (mm)	D	100	100	100	100	100	100
Espesor, (mm)	t	116.16	104.8	94.71	98.93	108.97	109.26
Peso en aire, (g)	A	1749.3	1593.7	1347.2	1466.1	1665.6	1744.2
Peso en aire parafina (g)	B	1755.5	1601.1	1352.8	1472.8	1672.2	1774.8
Peso sumergido parafina (g)	C	957.8	888.9	749.8	791.8	919.5	980
Volumen (B-C), cm³	E	797.7	712.2	603.0	681.0	752.7	770.0
Gravedad específica bruta	G_{mb}	2193.0	2238.0	2234.0	2152.0	2213.0	2265.0
Gravedad específica teórica máxima	G_{mm}	2284.0	2284.0	2284.0	2284.0	2284.0	2284.0
Vacios [100(G_{mm}-G_{mb})/G_{mm}]	P_a	4.0	2.0	2.2	5.8	3.1	0.8
Volumen de vacíos ((PaE/100), cm³)	V_a	31.9	14.2	13.3	39.5	23.3	6.2
Carga, N	P	408.0	390.0	366.0	359.0	363.0	347.0
Esfuerzo en seco (2000P/tDπ), kpa	S₁	1428.00	1365.00	1281.00	1257.00	1271.00	1218.00
Esfuerzo promedio		1358.00					
Saturación: 5 minutos a	250 mm Hg						
Peso SSS (g)	B'	N/A	N/A	N/A	1497.10	1683.1	1745.60
Volumen de agua absorbida (B' - A)	J'	N/A	N/A	N/A	31.00	17.5	4.40
% Saturación (100J'/Va)	S'	N/A	N/A	N/A	78.40	75%	70.60
Carga, N	P'	408.00	390	366	359.00	363	347.00
Esfuerzo en húmedo (2000P'/tDπ), kpa	S₂	1428.00	1365.00	1281.00	1257.00	1271.00	1218.00
Esfuerzo promedio		1248.67					
TSR (S2/S1)		91.9%					
Observaciones EL VALOR DE TSR ES SUPERIOR QUE EL MÍNIMO (80%), POR LO QUE CUMPLE CON LA RECOMENDACIÓN AMAAAC RA - 06/2008							



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Obra:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.		Ensaye	4			
			Fecha de prueba:	11/12/2015			
			Fecha de Informe:	12/12/2015			
Descripción :	Corazones 6"						
Identificación del especimen		Seco			Saturado		
Ubicación		1	2	3	4	5	6
		14+040	14+264	14+486	14+660	14+998	14+188
Diámetro, (mm)	D	100	100	100	100	100	100
Espesor, (mm)	t	104.68	115.08	113.28	114.61	115.16	112.61
Peso en aire, (g)	A	4334.8	4402.6	4315.8	4385.9	4430.5	4302.2
Peso en aire parafina (g)	B	4346.9	4415.0	4328.5	4398.6	4443	4315.6
Peso sumergido parafina (g)	C	2370.3	2404.7	2362.3	2399.6	2420.9	2354.7
Volumen (B-C), cm³	E	1976.6	2010.3	1966.2	1999.0	2022.1	1960.9
Gravedad específica bruta	G_{mb}	2193.000	2190.000	2195.000	2194.000	2191.000	2194.000
Gravedad específica teórica máxima	G_{mm}	2332.000	2332.000	2332.000	2332.000	2332.000	2332.000
Vacios [100(G_{mm}-G_{mb})/G_{mm}]	P_a	5.9	6.1	5.9	5.9	6.0	5.9
Volumen de vacíos ((PaE/100), cm³	V_a	116.6	122.6	116.0	117.9	121.3	115.7
Carga, N	P	768.0	797.0	750.0	630.0	649.0	628.0
Esfuerzo en seco (2000P'/tDπ), kpa	S₁	2688.00	2790.00	2625.00	2205.00	2272.00	2198.00
Esfuerzo promedio		2701.00					
Saturación: - minutos a	-	mm Hg					
Peso SSS (g)	B'	N/A	N/A	N/A	1497.10	1683.1	1745.60
Volumen de agua absorbida (B' - A)	J'	N/A	N/A	N/A	31.00	17.5	4.40
% Saturación (100J'/Va)	S'	N/A	N/A	N/A	78.40	75%	70.60
Carga, N	P'	408.00	390	366	359.00	363	347.00
Esfuerzo en húmedo (2000P'/tDπ), kpa	S₂	2688.00	2790.00	2625.00	2205.00	2272.00	2198.00
Esfuerzo promedio		2225.00					
TSR (S2/S1)		82.4%					
<p>2015/12/07 15:05 276m 0980hPa 29° 12' 91" N 110° 46' 05" NW</p>		<p>2015/12/02 10:39 256m 0982hPa 29° 11' 62" N 110° 53' 11" NW</p>					
Observaciones	EL VALOR DE TSR ES SUPERIOR QUE EL MÍNIMO (80%), POR LO QUE CUMPLE CON LA RECOMENDACIÓN AMAAAC RA - 06/2008						



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

4. Resultados de la prueba Rueda de Hamburgo de la mezcla asfáltica de alto desempeño

CARRETERA:	Hermosillo - Moctezuma	FECHA DE ENSAYE:	9/12/15
TRAMO:	Km 14+000 al Km 19+000	FECHA DE INFORME:	12/12/2015
MATERIAL:	Carpetasfáltica	LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	15+454 Y 5+738
MUESTRA TOMADA:	en Km 15+454 y en Km 15+738	CAPA EVALUADA:	Rasante final
MUESTREO POR:			

CONTROL DE CALIDAD PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO

CONTENIDO DE ASFALTO	
5.91	% con respecto a masa de la mezcla (Obtenido)
6.26	% con respecto a masa pétreos (Obtenido)
6.20	% con respecto a masa de la mezcla (Diseño)
6.60	% con respecto a masa pétreos (Diseño)
6.23 - 6.17	Tolerancia máxima permisible ($\pm 0.3\%$)

contenido de asfalto y la granulometría fueron obtenidos del Núcleo No.

MALLA	% QUE PASA		
	GRAN. OBTENIDA	GRAN. DE DISEÑO	PUNTOS DE CONTROL %
2"	100.0%	100.0%	
1 1/2"	100.0%	100.0%	
1"	100.0%	126670.0%	
3/4"	100.0%	100.0%	90.0% - 100.0%
1/2"	72.4%	68.9%	50.0% - 90.0%
3/8"	61.3%	60.5%	
4	45.2%	44.7%	
8	29.8%	29.7%	23.0% - 49.0%
16	19.2%	18.8%	
30	13.2%	12.8%	
50	9.2%	8.8%	
100	6.4%	5.9%	
200	4.5%	3.9%	2.0% - 8.0%

CARACTERÍSTICAS	NÚCLEO 15+454	NÚCLEO 15+738	ESPECIFICACIÓN
Gravedad Compacta, Gmb	2.286	2.238	NA
Vacios de aire, %Va	3.60	2.60	4%
Vacios llenos de asfalto, %VFA	80.67	85.37	65-78
Vacios en agregado mineral, %VMA	18.63	17.78	13 mín
Relacion filler/asfalto	0.76	0.76	0.6-1.2
Grado de compactación, %	96.4%	97.4%	
TSR, %	91.9%		80 mín
Deformación, mm (prueba 1)	8.73		
Deformación, mm (prueba 2)			10 máx.
Deformación, mm, promedio	8.73		

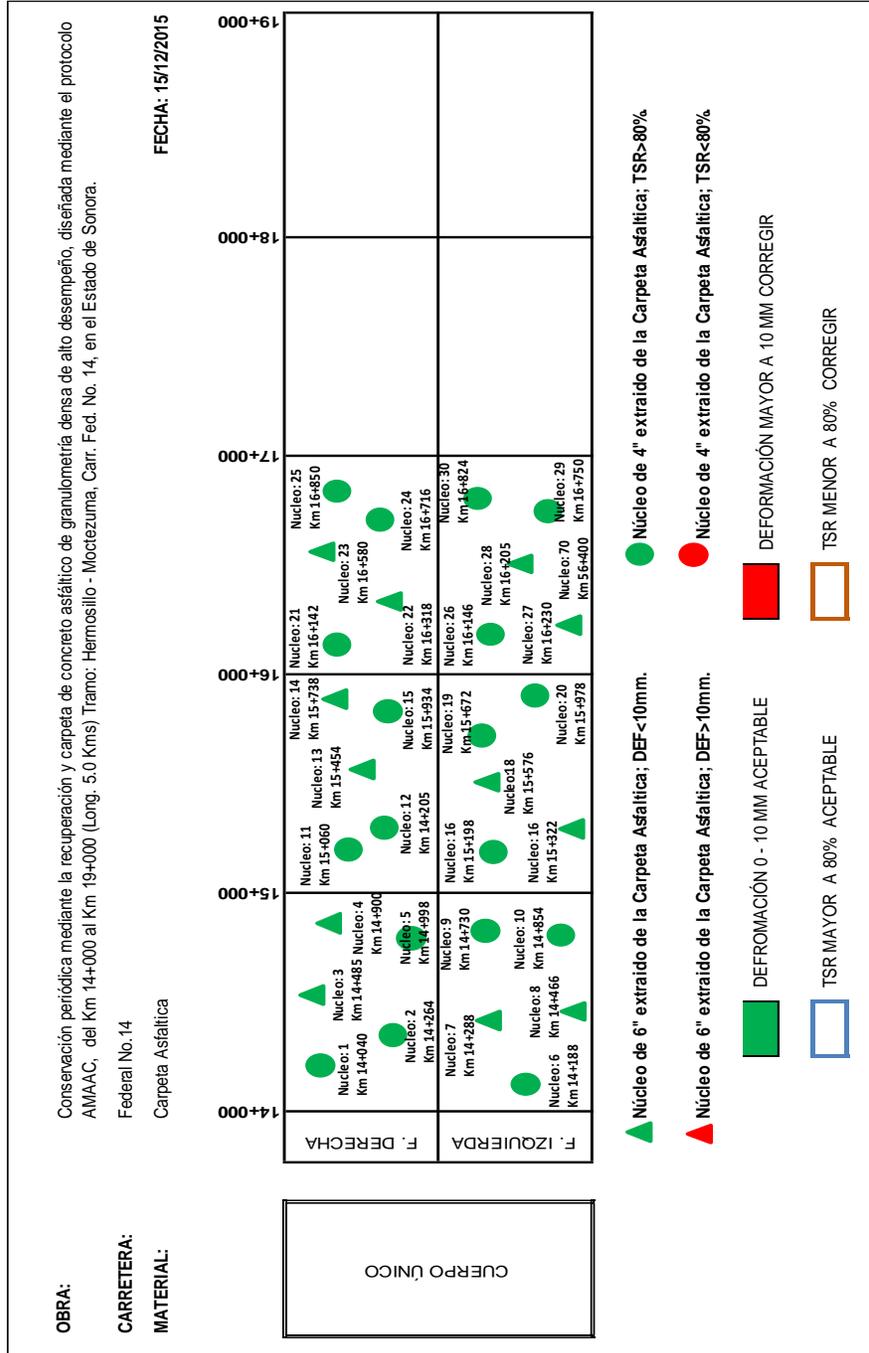
OBSERVACIONES:

EL VALOR DE DEFORMACIÓN ES INFERIOR QUE EL MÁXIMO (10mm), POR LO QUE **CUMPLE** CON LA RECOMENDACIÓN AMAAAC RA - 01/2008



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

5. Croquis de localización de extracción de núcleos de mezcla asfáltica de alto desempeño





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

6. Volumen de vacíos en la mezcla asfáltica de alto desempeño



ASPHALT INSTITUTE
Superpave Mix Design Program

Project Number : Conservación Periódica Hermosillo - Motezuma
Project Location : Km 14+000 al Km 19+000
Date : 16-nov-15

Print Worksheet

100%	Aggr.1 = Grava 19.0 mm (N4)	Aggr.6 =	
	Aggr.2 = Arena 14 a 200	Aggr.7 =	
	Aggr.3 =	Aggr.8 =	
	Aggr.4 =	Aggr.9 =	
	Aggr.5 =	Aggr.10 =	

CAA Test			Min.
Weight of 1-Frac Face sample	63.0	% 1 FF	100.0%
Weight of 2-Frac Face sample	783.9	% 2- FF	92.6%
Total dry weight of sample	846.9		

Gsb Course Sample			
Spec. #	Dry Wt.	Sub. Wt.	SSD Wt.
1	2356.8	1460.0	2386.4
2	2575.8	1596.2	2608.4
		Average	2.544
			2.629
			0.013

Gsb Fine Sample			
Spec. #	Oven Dry Sp. In Air	Flask + H ₂ O	FL-H ₂ O + Spec.
1	488.3	657.9	964.6
2	489.0	657.9	964.6
		Average	2.511
			2.683
			0.023

FAA Test Min. = 45%			
Volume of cylinder (cm ³)	104.1	104.1	
Wt. of cylinder (g)	253.8	253.8	
Wt. of cylinder + Sample (g)	396.6	397.4	
Gsb of the aggregate	2.511	2.511	
Percent uncompact voids	45.37%	45.06%	
Average % Uncompact Voids	45.2%		

F & E Particles Max. = 10%			
Total weight of dry sample	848.7		
Dry wt. of elongated particles	64.9		
% of Elong. Particles	7.6%		

Combined Gsb = 2.529			
Combined Gsa = 2.653			
Comb. H₂O Abs. = 1.57%			

G_{mm} @ 6.20% Asphalt Binder			
Specimen No.	Sample in air	Bowl in H ₂ O	Sample in H ₂ O
1	2538.5	3512.7	2060.0
2	2648.9	3569.9	2059.0
		Average	2.328
			2.333

Sand Equiv. Test			
Reading #1	3.3	5.9	55.9%
Reading #2	3.3	5.9	55.9%
Reading #3	3.3	6.0	55.0%
		Average	55.6%

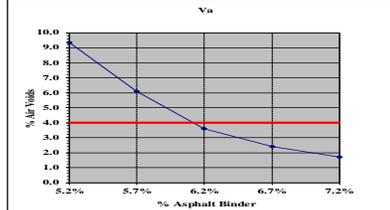
Min.			
Pb	6.20%		
G _{mm}	2.332		
G _b	1.03		
Calculate G _{se}	2.545		
Calculate P _{ba}	0.24		

Est. Gmb @ Nini			
1A	1.999	1.969	1.968
1B	2.000	1.967	1.968
2A	2.016	2.030	2.030
2B	2.016	2.016	2.030
3A	2.043	2.085	2.085
3B	2.043	2.085	2.085
4A	2.126	2.170	2.170
4B	2.127	2.170	2.170
5A	2.140	2.183	2.171
5B	2.139	2.160	2.171

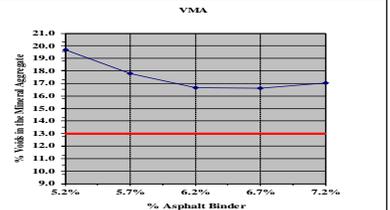
Meas. Gmb @ Ndes			
1A	2.176	2.143	2.143
1B	2.179	2.143	2.143
2A	2.190	2.205	2.205
2B	2.190	2.205	2.205
3A	2.203	2.248	2.248
3B	2.203	2.248	2.248
4A	2.215	2.260	2.260
4B	2.215	2.260	2.260
5A	2.229	2.274	2.262
5B	2.228	2.250	2.262

Volumetric Data			
Specimen No.	Va	VMA	VFA
1	9.33	19.68	65.8
2	9.33	17.80	65.8
Average	9.33	18.74	65.8

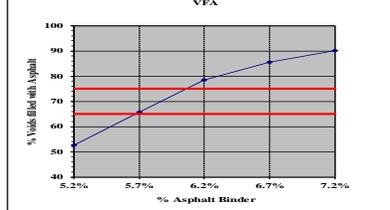
% Gmm @ Ndes			
1A	90.7%		
1B	90.7%		
2A	93.9%		
2B	93.9%		
3A	96.4%		
3B	96.4%		
4A	97.6%		
4B	97.6%		
5A	98.3%		
5B	98.3%		



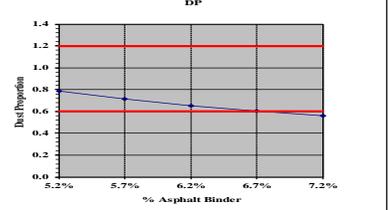
Va



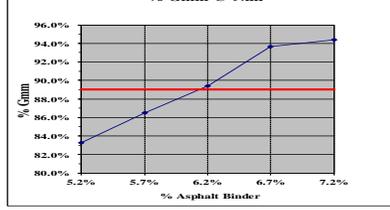
VMA



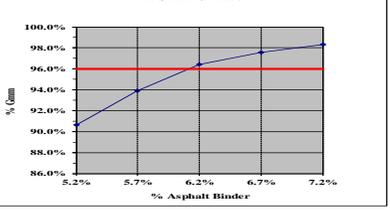
VFA



DP



% Gmm @ Nini



% Gmm @ Ndes



ASPHALT INSTITUTE
Superpave Mix Design Program

Print Worksheet

Design Air Voids = 4.00%			
Design Binder % = 5.82%			
Min VMA = 15.0			

VFA Min = 65			
VFA Max = 75			

DP Min = 0.6			
DP Max = 1.2			

% Gmm @ Ndes = 96%			
% Gmm @ Nini = 89%			



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

7. Resumen de la verificación de calidad de la mezcla de alto desempeño

RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO									
NÚMERO DE NUCLEO	DIAMETRO (Plgds)	CARRIL	LOCALIZACIÓN (Km)	ESPESOR (10cms)	COMPACTACIÓN (96%min)	DEFORMACIÓN (<10mm)	TSR (>80%)	CONTENIDO DE ASFALTO (6.88 - 7.48)	GRANULOMETRÍA OBTENIDA
1	4"	IZQ	14+040	11.61	96.0%	-	91.9	6.1	CUMPLE
2	4"	IZQ	14+264	10.48	98.0%	-	91.9	6.1	CUMPLE
3	6"	IZQ	14+486	10.38	96.3%	9.02	-	5.55	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
4	6"	IZQ	14+660	12.24	95.3%	9.02	-	5.55	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
5	4"	IZQ	14+998	9.47	97.8%	-	91.9	6.1	CUMPLE
6	4"	DER	14+188	9.89	94.2%	-	91.9	6.1	CUMPLE
7	6"	DER	14+288	10.23	97.2%	6.03	-	5.55	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
8	6"	DER	14+466	11.17	98.0%	6.03	-	5.55	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
9	4"	DER	14+730	10.89	96.9%	-	91.9	6.1	CUMPLE
10	4"	DER	14+854	10.91	99.2%	-	91.9	6.1	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
11	4"	IZQ	15+060	11.32	95.1%	-	93.3	6.26	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
12	4"	IZQ	15+208	10.1	96.3%	-	93.3	6.26	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
13	6"	IZQ	15+454	10.12	96.4%	8.73	-	6.17	CUMPLE
14	6"	IZQ	15+738	10.01	97.4%	8.73	-	6.17	CUMPLE
15	4"	IZQ	15+934	10.01	94.5%	-	93.3	6.26	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
16	4"	DER	15+198	10.49	95.1%	-	93.3	6.26	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
17	6"	DER	15+322	10.2	91.9%	6.25	-	6.17	CUMPLE
18	6"	DER	15+578	9.82	93.7%	6.25	-	6.17	CUMPLE
19	4"	DER	15+672	10.01	93.2%	-	93.3	6.26	% PASA < MALLA 8 % PASA > MALLA 1/2
20	4"	DER	15+928	10.58	95.7%	-	93.3	6.17	CUMPLE
21	4"	IZQ	16+142	10.28	92.6%	-	92.1	6.04	% PASA > MALLA 200 % PASA < MALLA 8
22	4"	IZQ	16+318	11.54	90.5%	-	92.1	6.04	% PASA > MALLA 200 % PASA < MALLA 8
23	6"	IZQ	16+580	10.26	91.6%	7.93	-	5.96	% PASA > MALLA 1/2
24	6"	IZQ	16+716	9.97	90.0%	7.93	-	5.96	% PASA > MALLA 1/2
25	4"	IZQ	16+850	11.54	92.3%	-	92.1	6.04	% PASA > MALLA 200 % PASA < MALLA 8
26	4"	DER	16+146	11.6	93.0%	-	92.1	6.04	% PASA > MALLA 200 % PASA < MALLA 8
27	6"	DER	16+230	10.41	93.4%	6.1	-	5.96	% PASA > MALLA 1/2
28	6"	DER	16+502	11.23	92.5%	6.1	-	5.96	% PASA > MALLA 1/2
29	4"	DER	16+750	10.6	92.8%	-	92.1	6.04	% PASA > MALLA 200 % PASA < MALLA 8
30	4"	DER	16+824	11.34	92.1%	-	92.1	5.96	% PASA > MALLA 1/2
PROMEDIO				10.62	94.6%	7.34	92.43	6.03	
PORCENTAJE QUE CUMPLE				87.67%	63.33%	100.0%	100.0%	0.0%	16.67%
PORCENTAJE QUE NO CUMPLE				13.33%	36.67%	0.00%	0.00%	100.00%	83.33%





8. Resumen de la revisión al diseño de la mezcla de alto desempeño

REVISIÓN AL DISEÑO DE LA MEZCLA			
DESCRIPCIÓN	VALORES DE DISEÑO	VALORES OBTENIDOS EN REVISIÓN	REQUERIMIENTO EN PROCOLO AMAAC
Contenido asfáltico con respecto a la mezcla %	6.2	6.17	-
Contenido asfáltico con respecto al agregado %	6.6	6.3	-
Vacios en la mezcla, Ndes% (%Gmm)	96	96	4.0 (96%)
Vacios en la mezcla, Nmax% (%Gmm)	98	98	≥2 (máx. 98%)
Vacios en la mezcla, Nini% (%Gmm)	86.3	89	≥9.5 (máx. 90.5%)
Vacios en el agredado mineral %	15.75	16.93	14 min.
Vacios llenos de asfaltos %	74.69	78.7	65 a 78
Proporción de Polco, Dp	0.73	0.64	0.6 - 1.2
Gravedad específica teórica máxima, Gmm	2.360	2.332	-
Gravedad específica de la mezcla compacta, Gmb TSR%	2.266	1.032	-
Simulación Hamburgo, 20,000 pasadas, mm	4.325	6.98	10 máx.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

9. Resumen de la verificación de calidad de los materiales de la estructura del pavimento

VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE LOS MATERIALES			
DESCRIPCIÓN	PRUEBAS REALIZADAS	CUMPLE	NO CUMPLE
BASE HIDRÁULICA			
Granulometría	5	0%	100%
Límites de consistencia (Atterberg)	5	0%	100%
Índice Plástico	5	0%	100%
Valor Soporte California (CBR)	5	0%	100%
Equivalente de Arena	5	0%	100%
Desgaste Los Ángeles	5	100%	0%
Partículas Alargadas y Lajeadas	5	100%	0%
Grado de Compactación respecto de la Masa Volumétrica Seca Máxima obtenida mediante la prueba AASTHO Modificada	5	100%	0%
MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN PLANTA			
Determinación del contenido de cemento asfáltico	4	100%	0%
Verificación de la temperatura de la mezcla asfáltica	4	100%	0%
Análisis Granulométrico mediante lavado por centrifugación (Rotarex)	4	0%	100%
CEMENTO ASFÁLTICO UTILIZADO EN PLANTA			
Punto de Inflamación Cleveland, °C mín.	5	100%	0%
Viscosidad Dinámica a 135°C, Pa.S Máx	5	100%	0%
Módulo reológico de Corte Dinámico (G'/senδ) Kpa, mín.	5	100%	0%
Temperatura de Prueba @ 10 rad/s, °C	5	100%	0%
Después de Prueba de Película delgada y Aire de Horno	5	100%	0%
Pérdida por calentamiento, % Máx.	5	100%	0%
Módulo reológico de Corte Dinámico (G'/senδ) Kpa, mín.	5	100%	0%
Temperatura de Prueba @ 10 rad/s, °C	5	100%	0%
Después de Envejecimiento en Vasija de Presión Temperatura y Aire	5	100%	0%
Temperatura de envejecimiento PAV, °C	5	100%	0%
En climas normales	5	100%	0%
En climas desérticos	5	100%	0%
Índice de Endurecimiento Físico, Máx.	5	100%	0%
Rigidización (G'/senδ) Kpa, máx	5	100%	0%
Temperatura de Prueba @ 10 rad/s, °C	5	100%	0%
Rigidización de Flexión S(t); Mpa, Máx. (m=0,3 min)	5	100%	0%
Temperatura de Prueba @ 60 s, °C	5	100%	0%
CALIDAD DE LOS AGREGADOS PÉTREOS			
Fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa			
Granulometría	2	100%	0%
Desgaste Los Ángeles, %	2	100%	0%
Desgaste Microdeval, %	2	100%	0%
Intemperismo Acelerado, %	2	100%	0%
Partículas fracturadas, % (2 caras o más)	2	100%	0%
Partículas planas y alargadas, %	2	100%	0%
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	2	100%	0%
Fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa			
Equivalente de Arena, %	2	100%	0%
Angularidad, %	2	100%	0%
Azul de Metileno ml/g	2	100%	0%
	PORCENTAJE	85%	15%

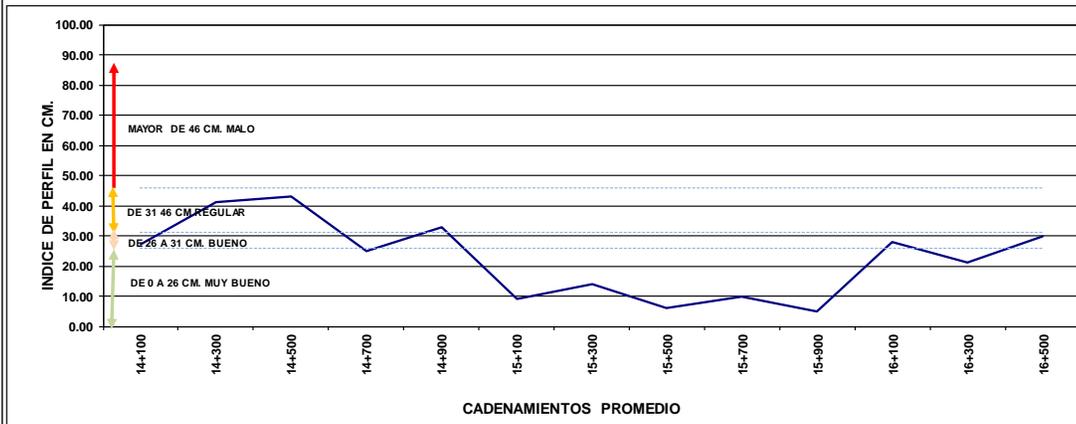


UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

10. Resultados del Índice de Perfil (IP) del tramo con respecto a la Norma M-MMP-4-07-002/06.

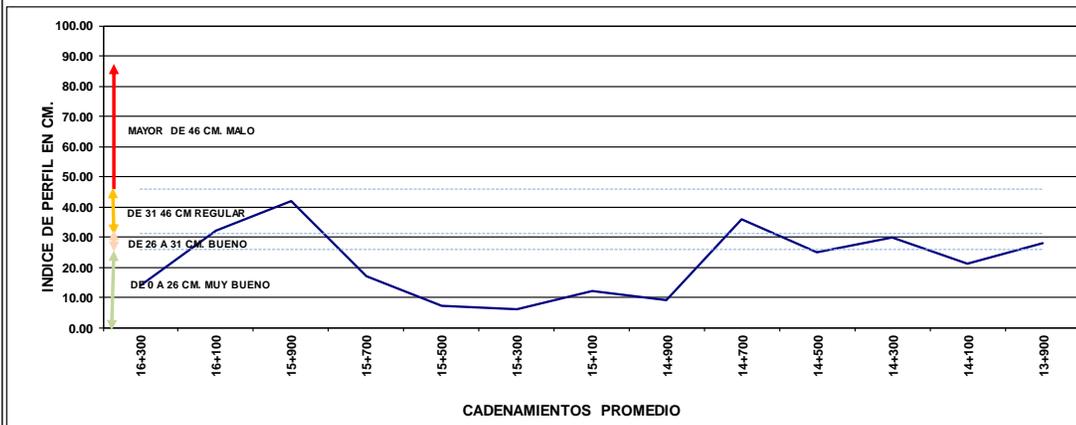
OBRA:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.		
CARRETERA:	Federal No. 14		
TRAMO:	Hermosillo - Moctezuma		
SUBTRAMO:	Del km 14+000 al km 19+000		
EJECUTORA:			
CONTRATO:			
	FECHA:	11-dic-15	
	TIPO DE SUPERFICIE:	ASFÁLTICA	
	CAPA ANALIZADA:	2a	
	FORMATO:		

INDICE DE PERFIL ASCENDENTE "SENTIDO 1" DEL KM. 14+000 AL 16+500



OBRA:	Conservación periódica mediante la recuperación y carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa de alto desempeño, diseñada mediante el protocolo AMAAC, del Km 14+000 al Km 19+000 (Long. 5.0 Kms) Tramo: Hermosillo - Moctezuma, Carr. Fed. No. 14, en el Estado de Sonora.		
CARRETERA:	Federal No. 14		
TRAMO:	Hermosillo - Moctezuma		
SUBTRAMO:	Del km 14+000 al km 19+000		
EJECUTORA:			
CONTRATO:			
	FECHA:	11-dic-15	
	TIPO DE SUPERFICIE:	ASFÁLTICA	
	CAPA ANALIZADA:	2a	
	FORMATO:		

INDICE DE PERFIL DESCENDENTE "SENTIDO 2" DEL KM. 16+500 AL 14+000





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

11. Resultados de resistencia al deslizamiento (coeficiente de fricción), del tramo conforme a la Norma ASTM E 670 con equipo Mu Meter.

