



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CONSTRUCCIÓN

LA MEJORA CONTINUA COMO MECANISMO DETONANTE DEL DESARROLLO
EN LA RED CARRETERA FEDERAL LIBRE DE PEAJE EN MÉXICO.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
WALDO FLORES VELASCO

TUTOR PRINCIPAL
DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO, FACULTAD DE INGENIERÍA.

MÉXICO, D. F. SEPTIEMBRE 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. SALVADOR DÍAZ DÍAZ
Secretario: M.I. LUIS CANDELAS RAMÍREZ
Vocal: DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO
1^{er}. Suplente: M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS
2^{do}. Suplente: M.I. CARLOS NARCIA MORALES

México, D. F. Ciudad Universitaria, Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

TUTOR DE TESIS:

DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO

FIRMA

Agradecimientos

Deseo agradecer a Dios por hacer posible se materialice esta Tesis, en medio de momentos difíciles y más cuando lo creía casi imposible; Nuevamente se ha cumplido la Promesa¹.

A mis amados padres, Petra y Jacinto por su invaluable apoyo y compañía.

Al Director de Tesis Dr. Jesús Hugo Meza Puesto, por su dirección y confianza. Muchas gracias.

¹ Pasaje Bíblico, Mateo 7: 7 - 12

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
ESTADO DEL ARTE DE LA MEJORA CONTINUA COMO MECANISMO DETONANTE DEL DESARROLLO EN LA RED CARRETERA FEDERAL LIBRE DE PEAJE EN MÉXICO.	3
1.1 La Red Carretera en México	3
1.2 Informe de la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT)	5
1.2.1 La Red Federal Libre de Peaje	5
1.3 Conservación de Carreteras.	6
CAPÍTULO 2	
CONCEPTOS Y GENERALIDADES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y DE LA CARPETA ASFALTICA.	10
2.1 El pavimento	10
2.2 Pavimento Flexible	11
2.3 Estructura Básica del Pavimento	11
2.3.1 Base	11
2.3.2 Sub-base	11
2.4 La Carpeta Asfáltica	12
2.4.1 Estructura básica de la Carpeta Asfáltica	12
2.5 Mantenimiento de las Carpetas Asfálticas	13
CAPÍTULO 3	
OBRAS DE DRENAJE	14
3.1 Las Obras de Drenaje	14
3.2 Los Puntos Importantes que Deben Considerarse en el Diseño y Construcción de Una Obra de Drenaje	14
3.3 Para una Buena Elección de Tipo de Obra de Drenaje	15
3.4 Tipos de Drenaje y Sub drenaje en Caminos.	15
3.4.1 Puentes y alcantarillas	16
3.4.2 Cunetas	17
3.4.3 Bombeo	18
3.4.4 Vado	18

3.4.5	Tubos y tubos perforados	19
3.4.6	Contracunetas	20
3.4.7	Lavaderos	21
3.4.8	Bajadas	22
3.4.9	Bermas	23
3.4.10	Bordillos	24

CAPÍTULO 4

PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO. 25

4.1	Comportamiento de la Mezcla Asfáltica.	25
4.1.1	Agrietamiento por Baja Temperatura	25
4.1.2	Agrietamiento por Fatiga	26
4.1.3	Roderas	28
4.2	Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas	29
4.3	Tipos de Deformación Permanente	29
4.3.1	Deformación Permanente en las Capas Subyacentes	30
4.3.2	Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas	31
4.4	Mecanismo de la Deformación Permanente	31
4.5	Factores que Influyen en la Deformación Permanente	33
4.5.1	Agregado Pétreo Granulometría	33
4.5.2	Textura y Angularidad	34
4.5.3	Tamaño Máximo de la Mezcla de Agregados	34
4.5.4	Ligante Asfáltico	35
4.6	Aspectos de la Mezcla Asfáltica	35
4.6.1	Metodología de Diseño	35
4.6.2	Contenido de Asfalto	36
4.6.3	Vacíos de Aire (VA)	36
4.6.4	Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)	37
4.6.5	Energía de Compactación en el Laboratorio	37
4.6.6	Energía de Compactación en el Campo	37
4.6.7	Temperatura	38
4.6.8	Tránsito	38
4.7	Relación entre la Deformación Permanente y la Práctica del Diseño de Pavimentos	39
4.8	Estimación de la Profundidad de Rodera	40

CAPÍTULO 5

LA MEJORA CONTINUA 41

5.1	La Evolución de la Calidad	41
5.1.1	Época Primitiva	41

5.1.2	Grandes Civilizaciones	42
5.1.3	Edad Media	43
5.1.4	Revolución Industrial	43
5.2	El Siglo XX	44
5.2.1	Los Valores Culturales y la Calidad	46
5.2.2	Japón, Cuna de la calidad Total	47
5.2.3	La cultura de la Calidad y los Países en Vías de desarrollo	47
5.2.4	Filosofías y metodologías de la Calidad	48
5.3	Deming y la Mejora Continua	49
5.3.1	Reacción en Cadena	49
5.3.2	Diagrama de Flujo Deming	51
5.3.3	Espiral de la Mejora Continua	51
5.3.4	Ciclo PHEA	52
5.3.5	Catorce Pasos	53

CAPÍTULO 6

MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO, CON DISEÑO Y CONTROL DE CALIDAD DE ACUERDO AL PROTOCOLO DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO A. C. (AMAAC).

6.1	Definición	58
6.2	Requisitos de Calidad de los Materiales	59
6.2.1	Agregado Grueso	59
6.2.2	Agregado Fino	60
6.2.3	Relleno Mineral de Aporte (Filler)	61
6.2.4	Cemento Asfáltico	61
6.3	Verificación de la Calidad	65
6.4	Diseño de la Mezcla	66
6.5	El Clima	69
6.6	Construcción de Carpeta Asfáltica	69
6.6.1	El Equipo	71
6.6.2	Planta de Mezclado	72
6.6.3	El Transporte de la Mezcla Asfáltica	73
6.6.4	Tendido y Compactación	74
6.7	Tramo de Prueba	77
6.8	Requisitos de los Laboratorios de Supervisión y Personal Técnico.	79

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

82

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, la red carretera mexicana presenta necesidades de inversión en construcción, conservación, modernización y ampliación para atender una red vasta y compleja que incluye carreteras federales, carreteras alimentadoras, caminos rurales y autopistas de cuota. Si bien durante los últimos años ha aumentado el monto de los recursos públicos destinados a carreteras, estos no alcanzan, ni lo harán en el futuro previsible, para atender la totalidad de los requerimientos de la red, lo anterior por diversas causas pero una que en particular aqueja de manera directa es la falta de calidad en los trabajos de ejecución en la gran mayoría de los proyectos ya sean nuevos o de reconstrucción, pues ambos casos los tiempos de vida esperado de dichos trabajos no alcanzan ni un 30%, del tiempo esperado, es decir por señalar un ejemplo: En los trabajos de reencarpetamiento para un determinado tramo, calculado para 5 años el tiempo de vida de estos trabajos, apenas y alcanzan nueve (9) meses en el mejor de los casos, cuando no, las fallas ya se dejan desde la entrega de la "obra terminada", heredando una gran variedad de fallas. Lo que implica que en el próximo ejercicio presupuestal se tengan que tomar en cuenta dichas fallas para ser atendidas de forma inmediata, afectando de manera directa a proyectos nuevos o proyectos que requieran de alguna ampliación, es decir afectando directamente a la red carretera y a su desarrollo.

Aplicado una política de Mejora Continua en todos los trabajos dentro del ámbito de la Infraestructura Carretera en general; desde los proyectos de diseño carretero, concursos de licitación y finalmente en la ejecución de los trabajos, los resultados serían verdaderamente sorprendentes. Actualmente se tienen proyectos en ejecución que cuentan ya con un seguimiento más cercano en donde se verifican calidades en los

materiales pétreos, en la mezcla asfáltica y en general en los trabajos del tendido de carpeta asfáltica, teniendo muy buenos resultados. A este seguimiento se le conoce como el Protocolo de la Asociación Mexicana del Asfalto A. C. (AMAAC) mismos que permiten tener una mejora notable en la calidad de los trabajos en cuanto a la Carpeta Asfáltica se refiere; Pero que pasa en los tramos donde ya existen fallas a nivel de la subrasante, o en tramos carreteros donde desde el proyecto se tienen carencias como los son falta de obras hidráulicas principalmente o de algún otro tipo que afectan directa y negativamente al tramo carretero? En esos tramos aunque se tenga un seguimiento que certifique las calidades de materiales pétreos y la ejecución de los trabajos principalmente, no impedirán que alguna falla a nivel de subestructura se dé. De manera que una política de Mejora Continua nos permitirá adelantarnos a situaciones de fallas en tramos carreteros que deriven en accidentes que generen un índice alto en pérdidas humanas y materiales. Con políticas de calidad y de prevención, se estaría en una situación muy favorable para destinar recursos a nuevos proyectos en localidades apartadas o en las que se requiera algún proyecto nuevo, de manera que el implementar una política de Mejora Continua permitiría afectar de manera positiva en general el desarrollo de la infraestructura carretera que en sí mismo es un elemento que acelera el desarrollo económico nacional, beneficiando de manera directa a toda la población.

La inversión en este tipo de infraestructura contribuye en el incremento de la competitividad de aquellas regiones con niveles de desarrollo mínimos, ayudando a su integración en el comercio entre los centros más cercanos de manera que se generan cadenas productivas y luego los corredores industriales en toda la República Mexicana, fortaleciendo la economía y por ende el desarrollo social y cultural de todo el país.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE DE LA MEJORA CONTINUA COMO MECANISMO DETONANTE DEL DESARROLLO EN LA RED CARRETERA FEDERAL LIBRE DE PEAJE EN MÉXICO.



1.1 La Red Carretera en México

La red carretera en México¹ está constituida por 374,262 kilómetros, de los cuales 141,361 son pavimentados (anuario estadístico, 2011, SCT), la mayor parte con concreto asfáltico. Por carretera se transporta el 73.6% de carga (473 859 miles de toneladas) y 90.9% de pasajeros (3 141 millones), por lo que esta infraestructura es una columna vertebral de la vida económica de México.

Algunas de las causas fundamentales del deterioro actual de las carreteras son:

- ⊕ Más del 60% de los tramos existentes se construyeron hace más de 40 años con criterios de diseño, especificaciones y materiales diferentes a los exigidos hoy en día.
- ⊕ Los volúmenes de tránsito que circulan hoy por la red federal son mucho mayores a los previstos en su diseño original y,
- ⊕ Los porcentajes de vehículos pesados se han incrementado hasta en 55% en algunos tramos.

¹ Anuario estadístico, 2011, SCT

En la construcción de pavimentos asfálticos se han tenido avances importantes en la implementación de nuevas especificaciones y el uso de materiales de mejor calidad, sin embargo, los diseños de las mezclas asfálticas en caliente se continúan realizando mediante el método Marshall que fue desarrollado durante la segunda guerra mundial.

La importancia del sector ha generado la necesidad de conservar, modernizar y extender la infraestructura carretera nacional; sin embargo, es imperativo avanzar en métodos actuales de diseño y pruebas de simulación de desempeño de mezclas asfálticas, que representen de mejor manera las condiciones a las que estarán sometidas durante su construcción y operación.

Por lo anterior la Asociación Mexicana del Asfalto A. C. (AMAAC) ha creado y desarrollado un Protocolo de Diseño y Supervisión (Protocolo AMAAC) para pavimentos flexibles con la finalidad de mejorar la vida útil de los caminos; no obstante, para la aplicación de este protocolo se requiere el desarrollo de laboratorios equipados y especializados de acuerdo a la normativa propuesta.

Con el desarrollo de la metodología propuesta en el Protocolo AMAAC y la aparición del compactador giratorio, la práctica actual de diseño de mezclas asfálticas en caliente (HMA) se encuentra en una etapa de redefinición, de ahí la importancia de la comparación contra el método Marshall, que ha sido el más utilizado para el diseño de mezclas asfálticas en México.

La diferencia más significativa de estos dos métodos de diseño radica en los equipos utilizados para realizar la compactación de la mezcla asfáltica, los cuales tienen mecanismos de compactación muy diferentes, adicionalmente el protocolo AMAAC propone una evaluación del desempeño de la mezcla asfáltica con equipos que evalúan la susceptibilidad a la humedad, la deformación permanente (nivel de diseño 2), el módulo dinámico de la mezcla (nivel 3) y el diseño por fatiga (nivel 4), niveles de diseño que involucran equipos de laboratorio de punta y que los laboratorios convencionales en nuestro país en general no cuentan.

La selección del contenido óptimo de asfalto debe ser un compromiso para seleccionar de manera balanceada todas las propiedades de la mezcla. Normalmente, los criterios de diseños de mezclas producirán un rango limitado de contenidos aceptables de asfaltos que pasen todos los lineamientos establecidos en la normatividad. La práctica de diseño de mezclas asfálticas ha utilizado diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio; los comúnmente más utilizados son el

método Marshall y el Hveem. Siendo el Marshall el más común en la práctica mexicana.



FIG. 1.1.1 RED CARRETERA EN MÉXICO.

1.2 Informe de La Secretaría de Comunicaciones y transportes (SCT) del 1ro de septiembre del 2006.

1.2.1 La Red Federal Libre de Peaje

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con el propósito de modernizar la red federal de carreteras y aumentar su cobertura y eficiencia, ha llevado a cabo una labor permanente para planear, programar, presupuestar, contratar, ejecutar y dar seguimiento dentro del marco legal vigente, a todas las tareas necesarias para asegurar el desarrollo de los programas carreteros. Destacan las labores realizadas para fortalecer los programas de inversión con una mayor participación de los gobiernos estatales y privados, así como asegurar la rentabilidad social

y económica de todos los proyectos incluidos en el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF).

Se continuó en el periodo del 1° de septiembre de 2005 al 31 de agosto de 2006, con la modernización de los corredores carreteros, se dio mantenimiento a la red libre de peaje y se coordinó la planeación y evaluación del desarrollo de la red de caminos rurales y carreteras alimentadoras del país.

Para llevar a cabo dichas tareas se invirtieron 27,214.9 millones de pesos.

De este total corresponden 10,946.6 millones de pesos a la construcción y modernización de carreteras, 6,105.6 millones a la conservación de carreteras, 5,998.2 millones a caminos rurales, 894.4 millones al Programa de Empleo Temporal (PET) y 2,558 millones de pesos de inversión para los Gobiernos de los Estados, así como 712.1 millones de pesos a servicios relacionados con la obra pública, que incluye derecho de vía, estudios y proyectos, y supervisión de obra.

Adicionalmente en este periodo se licitaron e iniciaron obras que generarán inversiones para proyectos de prestación de servicios del orden de 10,600 millones de pesos y en concesiones con inversión privada por 9,299 millones de pesos.

1.3 Conservación de carreteras.

Con la finalidad de mejorar las condiciones de tránsito, disminuir los costos de operación, mejorar la competitividad de la economía nacional y contribuir en mayor medida con el desarrollo económico y social del país, en el período reportado, la Secretaría destinó una inversión de 6,105.6 millones de pesos al mantenimiento preventivo y correctivo de los casi 42 mil kilómetros de la red federal libre de peaje.

En el período del 1° de septiembre de 2005 al 31 de agosto de 2006 se han ejercido 4,980.2 millones de pesos para reconstruir 69.9 kilómetros; conservación periódica de 3,847.6 kilómetros y dar mantenimiento rutinario a 41,277.8 kilómetros. En reconstrucción y conservación de puentes, en el período de referencia, se erogaron 546.4 millones de pesos y se atendieron 61 puentes en reconstrucción y 7,215 en conservación. En atención a puntos de conflicto, durante el mismo período se han ejercido 291 millones de pesos, con los que se han atendido 164 puntos. Durante 2003 se diseñó e implementó un programa piloto para atender mediante mantenimiento integral tramos carreteros en los estados de Guanajuato, Querétaro y San

Luis Potosí, que se denominó Programa Piloto de Mantenimiento Integral (PROPIMI), el cual inició su operación prácticamente en el año 2004. Bajo este esquema, en el periodo del 1° de septiembre de 2005 al 31 de agosto del 2006 se han ejercido 288.0 millones de pesos, con los que se han atendido 402.7 kilómetros.

Con las tareas realizadas el estado físico de la red carretera se encuentra en 78 por ciento en condiciones buenas y aceptables. Con la continuidad del programa de mantenimiento se estima que al cierre del año el estado físico se mantenga y aumente el porcentaje aceptable del 54 por ciento al 60 por ciento.

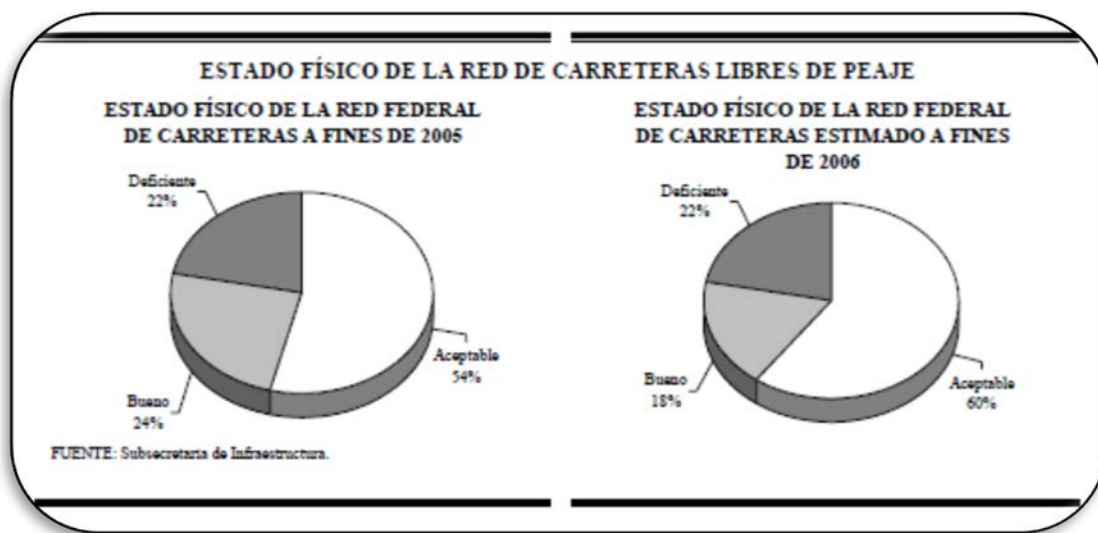


Fig.1.2.1 Estado de la Red carreteras libre de peaje.



Fig. 1.2.2 Falla en superficie de rodamiento.

Pero no solo se tiene este punto de vista el que hay que tomar en cuenta para poner en acción los instrumentos que nos permitan no solo avanzar sin tener que retroceder o regresar a realizar trabajos de reconstrucción o mantenimiento prematuro de tramos recién construidos en el futuro, hay que ver las consecuencias que representa para el país las pérdidas del activo Humano por accidentes ocasionados por las múltiples fallas en la superficie de rodamiento y para ello se tiene un reporte en el que nos coloca en el tercer lugar y este es el correspondiente a los accidentes. Veamos.

Pais	Muertes en accidentes de tráfico de vehículos de motor	Jerarquización	"Riesgo de salud" (muertes por cada 100 mil habitantes)	Jerarquización	"Riesgo de tránsito" (muertes por cada 100 mil vehículos de motor)	Jerarquización
EU	41,059	1	15.10	12	18.80	19
Brasil	34,381	2	18.53	5	111.36	12
México	19,947	3	18.90	3	73.60	14
Argentina	10,236	4	26.26	1	126.37	11
Colombia	6,527	5	16.61	8	153.06	9
Venezuela	5,225	6	19.32	4	186.42	6
Francia	4,709	7	8.04	20	14.40	20
Perú	4,293	8	15.77	10	311.16	1
Alemania	4,026	9	4.90	21	7.70	21
Chile	2,147	10	13.15	15	80.90	16
Ecuador	1,825	11	13.81	13	197.51	5
Guatemala	1,762	12	12.59	18	174.75	7
Rep. Dominicana	1,602	13	17.40	6	81.28	15
El Salvador	1,538	14	22.21	2	226.18	3
Paraguay	913	15	15.92	9	212.32	4
Bolivia	840	16	8.73	19	142.72	10
Honduras	840	17	12.85	17	173.20	8
Costa Rica	687	18	15.61	11	75.50	17
Nicaragua	686	19	13.02	16	236.55	2
Uruguay	570	20	17.24	7	91.20	13
Panamá	441	21	13.20	14	72.51	18

Tabla. 1 índices de siniestralidad.

Como se puede observar en las tablas y graficas antes indicadas se tiene mucho por hacer y entre tantos trabajos por ejecutar uno de ellos es el implementar los estándares de calidad que de manera directa e indirecta incidirá en los destinos de las inversiones futuras y que no solo se tendrá un desarrollo sustentable sino que además este desarrollo será más efectivo si hoy se construye un kilómetro y se reconstruyen 0.6 km mañana muy probablemente se construirán 1.4 km y se reconstruirá .3 km y así sucesivamente hasta llegar a dar mantenimientos donde se tenga un 0.05 de reconstrucción y 2.0 km por construir.

En esta breve reseña se puede observar que trabajar con una mejora continua, con calidad y para este caso en específico con un protocolo bien estructurado y al que solo se le tenga que encender y poner en marcha los resultados serán muy convincentes, eso sería caminar a paso firme y siempre construyendo.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS Y GENERALIDADES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CARPETA ASFALTICA.

2.1 El Pavimento²

El problema de la ejecución de obras de pavimentación que garanticen la posibilidad de tránsito de vehículos de transporte es, en realidad, tan antiguo como el hombre mismo.

Sin embargo, el verdadero auge del pavimento, en el sentido actual de la palabra, ha tenido lugar con la aparición del automóvil.

Tressaguet inicio la construcción de pavimentos por capas ordenadas según el tamaño de sus partículas constitutivas; sus ideas fueron más tarde recogidas y mejoradas en Inglaterra por Telford y McAdam, quienes construyeron pavimentos con secciones que, en algunos casos, aún están hoy en uso.

Las fuertes cargas actuales, su velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, etc., hicieron que en la actualidad las técnicas de construcción de pavimentos hayan sufrido una evolución muy rápida,

Para los efectos del presente capítulo se entenderá por Pavimento la capa o conjunto de capas comprendida(s) entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

Por subrasante se entiende la superficie de una terracería terminada, siendo ésta última el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

Existen actualmente dos tipos básicos de pavimentos: Rígido y Flexible, por ser objeto de estudio solo abordaremos éste último.

² Mecánica de Suelos, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos Tomo 2. Eulalio Juárez Badillo - Alfonso Rico Rodríguez, Editorial Limusa S. A de C. V, Segunda Edición 2009 México.

2.2 Pavimento Flexible. Están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base; la calidad de estas capas es descendente hacia abajo.

En general, cualquier suelo natural es aprovechable para terracería; se exceptúan los suelos muy orgánicos o aquellos cuyo rebote elástico sea importante y por lo tanto, produzcan deformaciones excesivas a las capas suprayacentes. Cuando el material de la terracería sea de mala calidad puede hacerse necesario el empleo de una verdadera capa subrasante de material de mejor calidad que haga de transición entre él y el pavimento; cuando el material de terracería sea de mejor calidad, la capa subrasante está formada por el propio material de terracería con tratamiento constructivo algo mejor, sobre todo en lo referente a compactación.

Aparte de los tipos de pavimentos mencionados existe actualmente el llamado semirrígido que es, esencialmente, un pavimento flexible a cuya base se ha dado una rigidez alta por la adición de cemento o asfalto (Base negra).

2.3 Estructura Básica del Pavimento

El pavimento flexible (Figura 2.3) estructuralmente está conformado por los siguientes elementos:

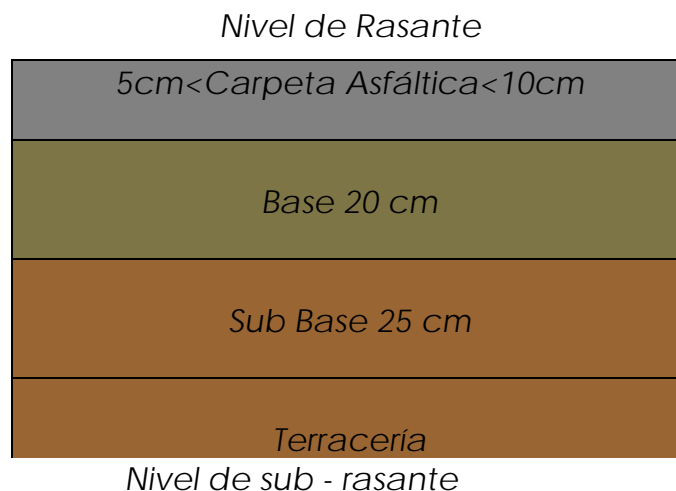


Fig. 2. 3 estructura de pavimento flexible.

2.3.1 Base: Es una capa de material que puede ser granular la cual está conformada por piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; también puede ser una base estabilizada la que está construida con cemento Portland, cal o materiales bituminosos. Estas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella y transmitir a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub.- base o una sub-rasante.

2.3.2 Sub-base: Capa de material cuya función es transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante de manera adecuada y además constituir una transmisión

entre los materiales de la sub-base y la sub-rasante, de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales, disminuir efectos perjudiciales en el pavimento ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación, reducir el costo de pavimento ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de menor costo generalmente encontrados en la zona.

2.4 La Carpeta Asfáltica: Es una capa o un conjunto de capas que se colocan sobre la base y está constituida por material pétreo mezclado con algún producto asfáltico (cemento asfáltico, asfalto líquido, emulsión asfáltica). La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tráfico, figura 2.4. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.



Fig. 2.4. Carpeta Asfáltica.

2.4.1 Estructura Básica de las Carpetas Asfálticas.

La carpeta asfáltica³ es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

- a) Un diámetro menor de una pulgada y poseer espesores en grados sucesivos adecuados.

³ Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos; Carlos Crespo Villalaz, Editorial Limusa S. A de C. V, Cuarta Edición 2010 México.

b) Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de Desgaste los Ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.

c) La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, no debe usarse material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad, alterando la granulometría y puede provocar fallas en la carpeta, se efectúan pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

d) La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por la carga de tránsito.

Cuando la carpeta se construye con espesores mayores o iguales a 2.5 cm., se considera que contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

Debido a que ésta es la parte que está mayormente expuesta al intemperismo y a la interacción directa con el tráfico, es la que se ve dañada más severamente y por lo que usualmente necesita con mayor frecuencia un cuidado especial y que generalmente cubren las distintas clases de mantenimiento.

2.5 Mantenimiento de la Carpeta Asfáltica.

El mantenimiento de la Carpeta Asfáltica podría definirse como: la función de preservar, reparar y restaurar una vía y conservarla en condiciones de uso seguro, conveniente y económico.

El mantenimiento es la preservación y cuidado de los derechos de vía y de cualquier tipo de pavimento, estructura, dispositivo de seguridad, de ornato, de iluminación y de cualquier otra facilidad vial, de tal forma que ésta conserve las características geométricas y estructurales especificadas en el diseño y construcción original.

En seguida se presenta un proceso de mantenimiento PREVENTIVO a tramo carretero, adicionando cunetas.



Fig. 2.5.1 Antes



Fig. 2.5.2 Durante



Fig. 2.5.3 Después

OBRAS DE DRENAJE

3.1 Las Obras de Drenaje⁴ son los elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad. Los objetivos primordiales de las obras de drenaje son:

- Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino
- Reducir y eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino
- Evitar que el agua provoque daños estructurales.

3.2 Los Puntos Importantes que Deben Considerarse en el Diseño y Construcción de Una Obra de Drenaje, Son los Siguietes:

- **Localización del Eje de la Obra.-** Deberá hacerse de preferencia siguiendo el cauce de los escurrideros, tomando en cuenta la pendiente, ya que de ésta dependerá el tipo de obra.
- **Área por Drenar.-** Es la superficie que limitada por dos o más líneas del parteaguas y el eje del camino, da el área tributaria del escurridero para el cual se pretende proyectar la obra.
- **Área Hidráulica Necesaria.-** Es aquella capaz de dejar pasar un gasto, igual a una lámina de agua de 10 cm de altura durante una hora, producto de la precipitación del lugar.

⁴ . Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la construcción y Operación del drenaje y subdrenaje. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 155. Sanfandila, Querétaro, 2000.

-
- **Selección del Tipo de Obra.-** El tipo de obra se selecciona una vez calculada el área hidráulica necesaria, de tal manera que la satisfaga adecuadamente y dentro de condiciones de máxima seguridad.

3.3 Para una Buena Elección de Tipo de Obra de Drenaje, debe Tomarse en cuenta:

- Área hidráulica necesaria
- Pendiente de la obra (las pendientes serán $>2\%$ y $<1.5\%$ en la superficie del camino)
- Altura mínima y máxima de terraplenes o rellenos
- Materiales de construcción
- Capacidad de carga del terreno
- No deben trabajar a presión

Al cumplir con estas normas las obras de drenaje trabajaran de una manera eficiente y duradera proporcionando las mejores condiciones para los usuarios de los caminos y carreteras.

3.4 Tipos de Drenaje y Sub drenaje en Caminos.

Entre las obras más importantes de drenaje y sub drenaje podemos encontrar las siguientes:

- Puentes y alcantarillas
- Cunetas
- Vados
- Bombeo
- Tubos y tubos perforados
- Contracunetas
- Lavaderos
- Bajadas
- Bermas
- Bordillos

3.4.1 Puentes y Alcantarillas

Las estructuras de drenaje más espectaculares en una vía terrestre son los puentes y las alcantarillas, responsables principales del drenaje transversal; es decir, del paso de grandes volúmenes de agua, arroyos, ríos, entre otros, a través de la obra, en una dirección perpendicular a ella. Fig. 3.4.1.1 y 3.4.1.2

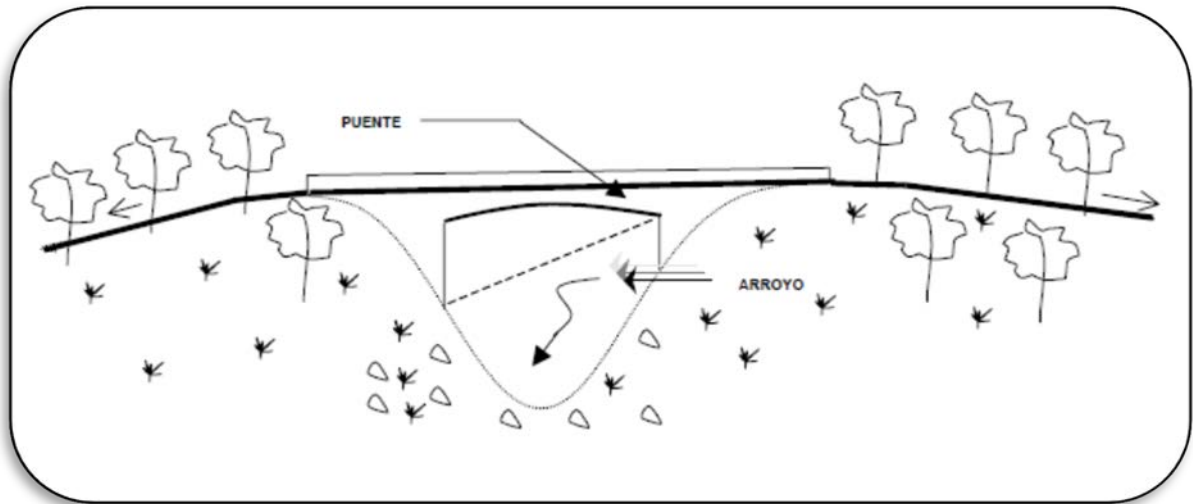


Fig. 3.4.1.1 Puente librando un arroyo

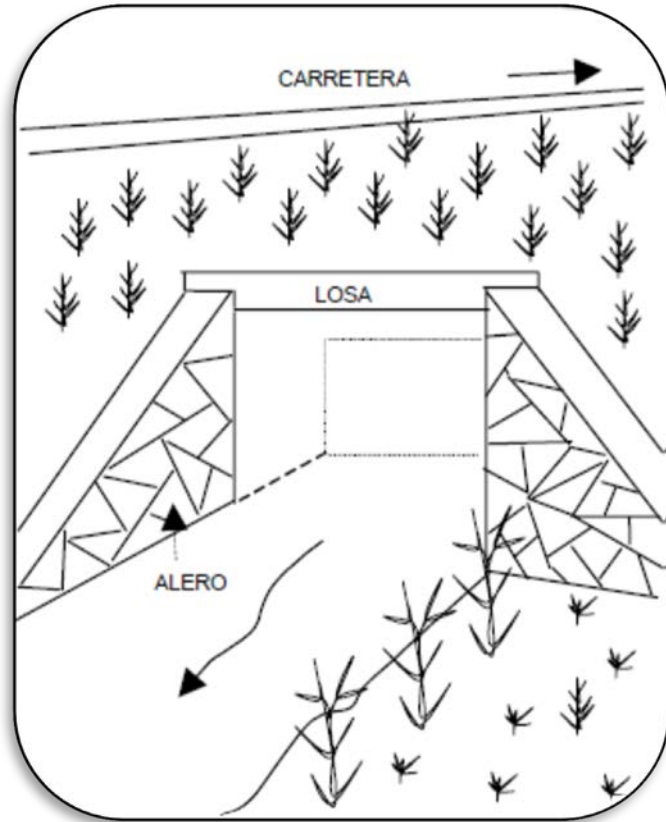


Fig. 3.4.1.2 Alcantarilla típica

3.4.2 Cunetas

Las cunetas son zanjas que se hacen en uno o ambos lados del camino, con el propósito de conducir las aguas provenientes de la corona y lugares adyacentes hacia un lugar determinado, donde no provoque daños, su diseño se basa en los principios de los canales abiertos. Figura 3.4.2.1.

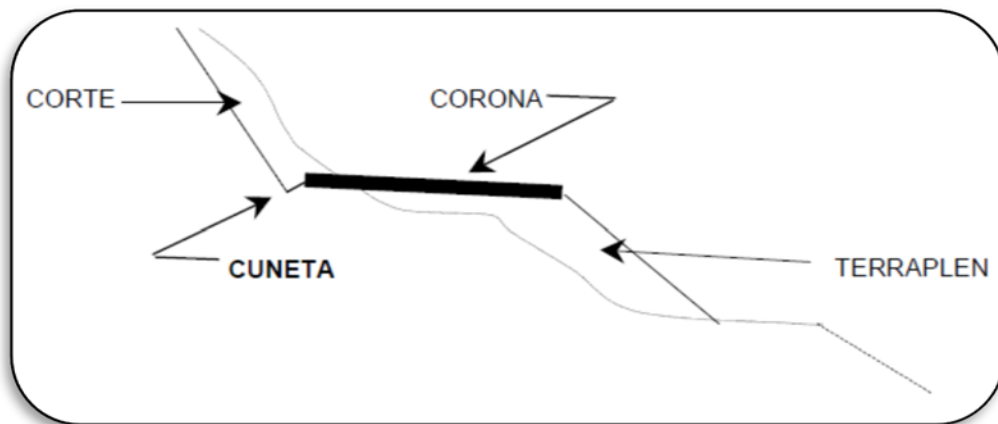


Fig. 3.4.2.1. Cuneta

3.4.3 Bombeo

Se denomina Bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. Constructivamente el bombeo se forma en la medida que el camino se va construyendo desde su terracería, hasta el pavimento, dando las elevaciones necesarias con mayor altura si este fuera el caso. Figura 3.4.3.1

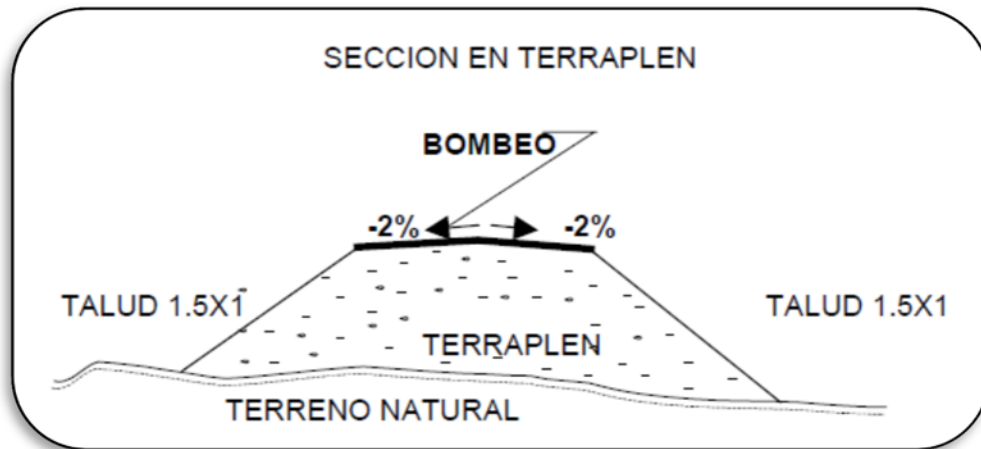


Fig. 3.4.3.1. Bombeo

3.4.4 Vado

Este tipo de solución como obra de drenaje es poco común, es una obra de paso para el agua, dejando que ésta continúe su curso de manera natural sin afectar su nivel de escurrimiento, es decir, la carretera pasará a nivel del agua respetando su condición actual. Figura 3.4.4.1

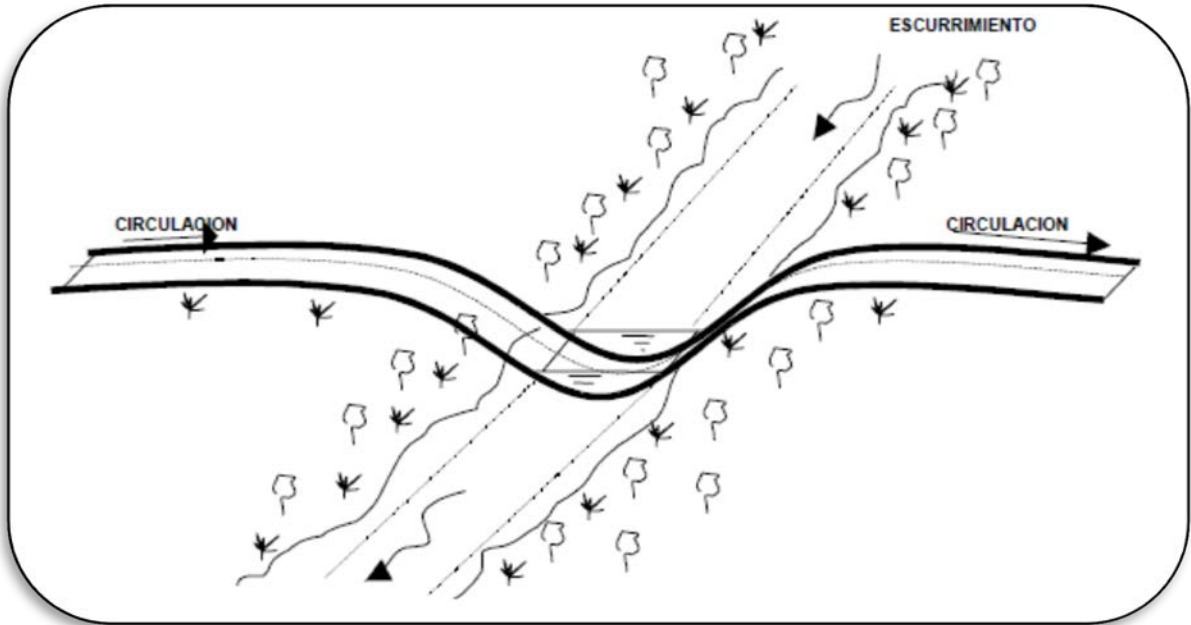


Fig. 3.4.4.1. Vado

3.4.5 Tubos y Tubos Perforados

Esta obra complementaria es muy parecida a una alcantarilla, son elementos de solución para el drenaje que van implementados bajo las terracerías de la carretera que se va construir. El tubo va colocado transversalmente al camino y permite la continuidad del caudal existente, si está correctamente calculado. El diámetro del tubo depende del gasto que se genere por el escurrimiento natural. Figura 3.4.5.1

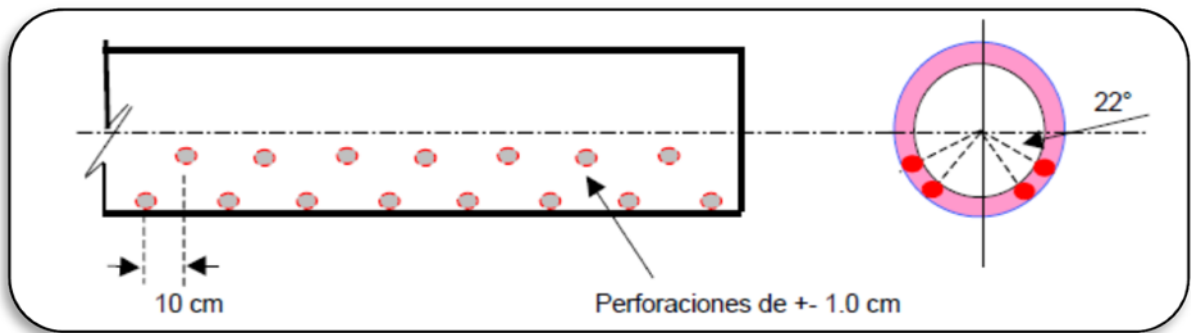


Fig. 3.4.5.1. Tubo perforado

3.4.6 Contracunetas

Se denominan contracunetas, a los canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre. Figura 3.4.6.1

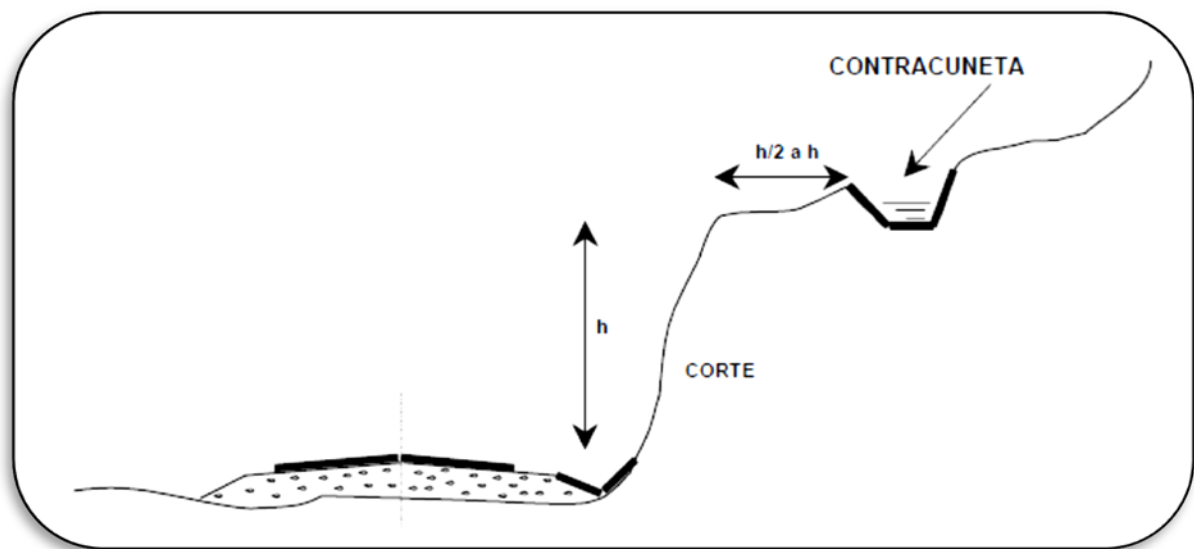


Fig. 3.4.6.1. Contracuneta

3.4.7 Lavaderos

Son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde no cause problemas a la carretera. En general son estructuras de muy fuerte pendiente, característica principal de éstos y se encuentran sobre los terraplenes de cortes en balcón o en los lados interiores de curvas. Figura 3.4.7.1

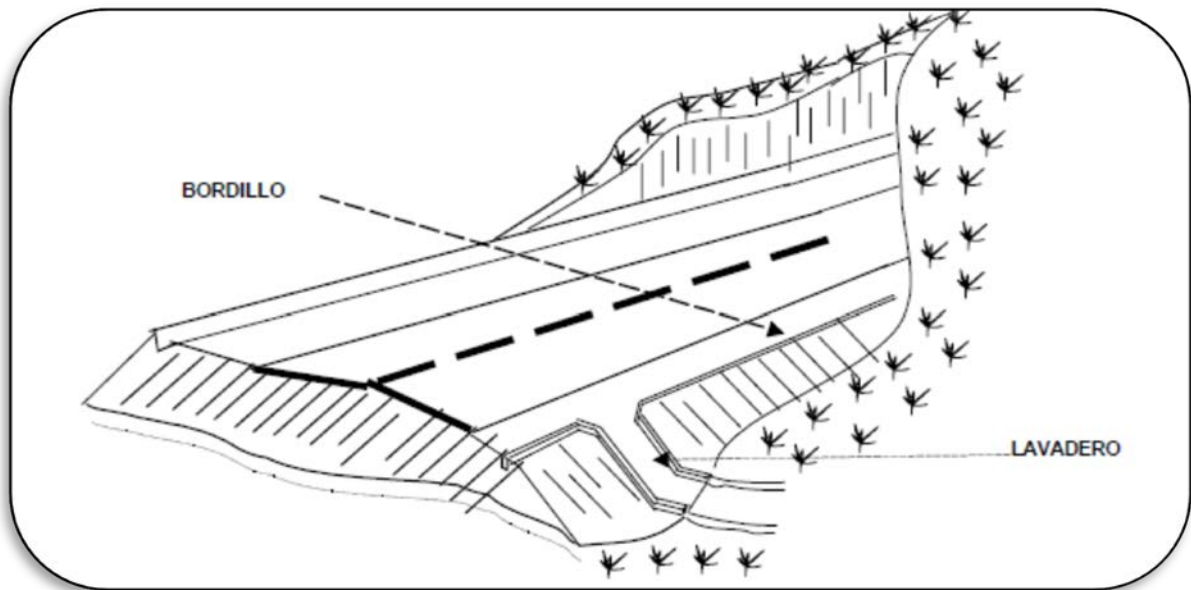


Fig. 3.4.7.1. Lavadero

3.4.8 Bajadas

Este tipo de estructura tiene una función análoga a los lavaderos, pero constituidas por un tubo apoyado en la superficie inclinada del terreno o enterrado en él. En rigor la distinción respecto a los lavaderos es simple nomenclatura y muchos ingenieros consideran a las bajadas como lavaderos entubados. Figura 3.4.8.1

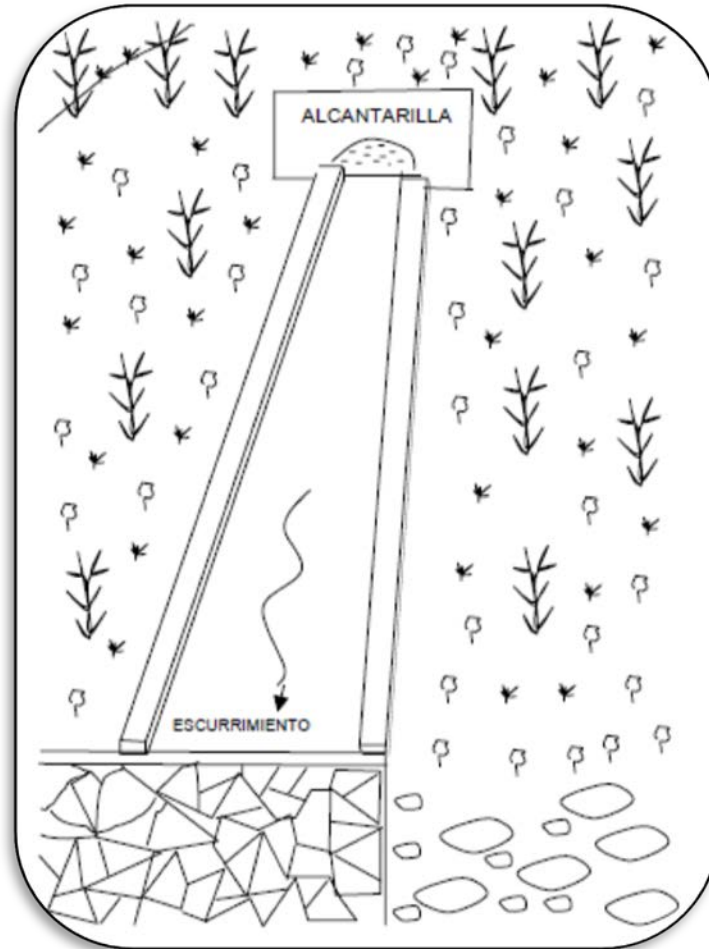


Fig. 3.4.8.1. Bajada

3.4.9 Bermas

El efecto de la berma es disminuir la fuerza erosiva del agua que escurre por los taludes de un terraplén o un corte o por el terreno natural superficialmente. Estos elementos encauzan convenientemente al agua colectada si se les da una pendiente apropiada hacia lavaderos, bajadas o estructuras análogas; de no ser así, el agua provoca erosión o infiltración en los taludes por arrastres, generando problemas en las cunetas y efectos adversos sobre la estabilidad general. Figura 3.4.9.1

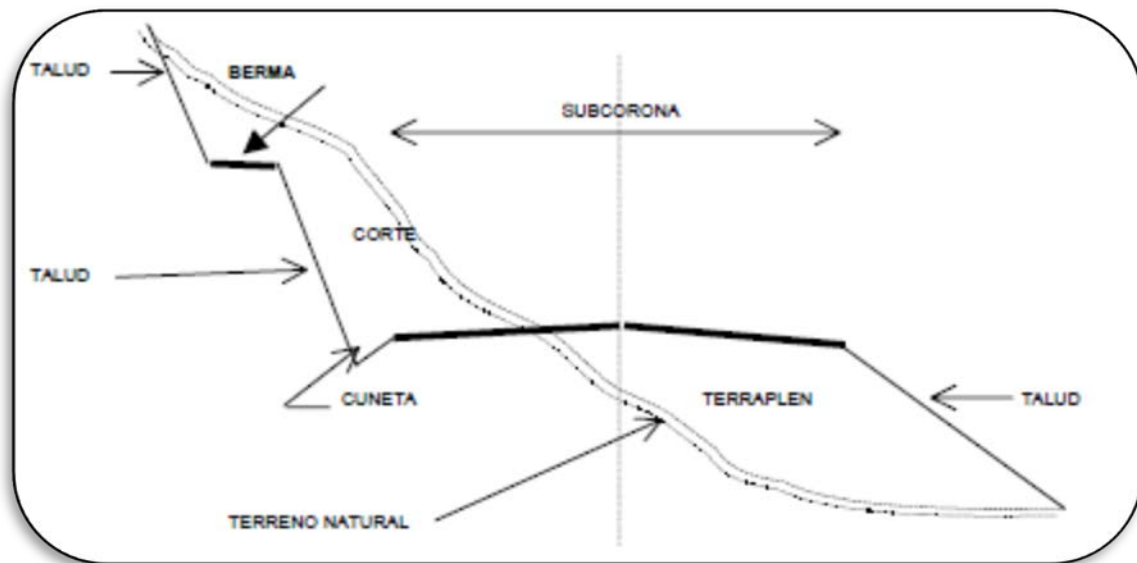


Fig. 3.4.9.1. Berma

3.4.10 Bordillos

Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y bajadas, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino. Figura 3.4.10.1

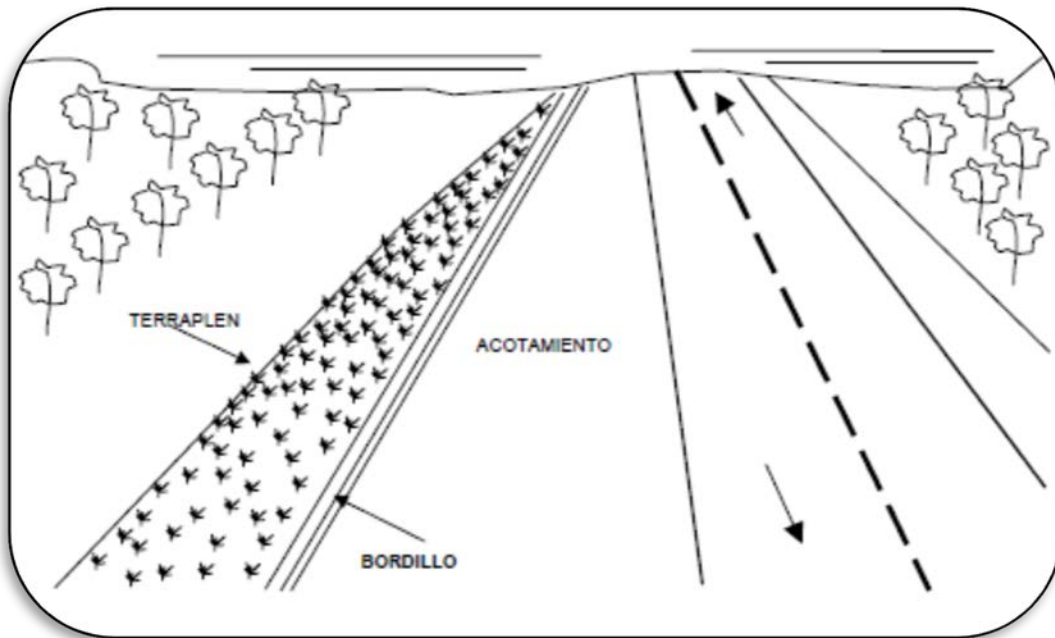


Fig. 3.4.10.1. Bordillo

PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

4.1 Comportamiento de la Mezcla Asfáltica.

El comportamiento de la mezcla asfáltica se explica mejor considerando que el cemento asfáltico y el agregado mineral actúan como un sistema. Para una mayor comprensión del comportamiento de una mezcla asfáltica, es necesario identificar los tipos básicos de deterioros que el ingeniero trata de evitar: la fisuración por baja temperatura, la fisuración por fatiga, y la deformación permanente (roderas).

4.1.1 Agrietamiento por Baja Temperatura

Este tipo de deterioro se caracteriza por la aparición de fisuras transversales que se producen con un espaciamiento notablemente uniforme. La fisuración perpendicular al eje del camino, por lo general no se asocia a las cargas del tránsito. Cuando la carpeta se encuentra sobre una losa de concreto asfáltica, el fenómeno puede atribuirse a la reflexión de las grietas que existen en la losa. La carpeta se contrae debido a las bajas temperaturas, originando esfuerzos de tensión dentro de la capa; en algún lugar a lo largo de la carpeta se excede la resistencia a la tracción, y la capa asfáltica se fisura.

El ligante asfáltico juega un papel importante en la fisuración por baja temperatura. Las mezclas asfálticas elaboradas con un cemento asfáltico de naturaleza dura o propensa a la oxidación, será n más susceptibles a presentar este tipo de deterioro. Se ha visto que el empleo de ligantes blandos y resistentes al envejecimiento, reducen notablemente la fisuración por baja temperatura; también es importante lograr mezclas asfálticas impermeables con un contenido de vacíos de aire adecuado, con el propósito de que el cemento asfáltico que constituye la mezcla no resulte excesivamente oxidado.



Fig. 4.1.1.1 Agrietamiento por baja temperatura

4.1.2 Agrietamiento por Fatiga

La figuración por fatiga es un deterioro que con frecuencia se produce en la huella donde las cargas pesadas se aplican. La aparición de fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella son un signo prematuro de la figuración por fatiga; en algún momento estas fisuras iniciales se unirán con otras, causando un estado intermedio de la figuración por fatiga dando lugar a lo que se conoce como “piel de cocodrilo”. Un estado de severidad más avanzado de la fatiga, resulta con la dislocación y desprendimiento de bloques de carpeta asfáltica, bajo la acción del tránsito, con llevando a la formación de baches en la superficie de rodamiento.

Una mezcla asfáltica muy rígida tiende a oponer baja resistencia a la fatiga cuando la estructura del pavimento permite deflectar a la carpeta asfáltica. Materiales muy rígidos, altas deflexiones y altos niveles de tensiones conducen a vidas útiles, reducidas por la fatiga.

El mecanismo de fatiga no puede enfocarse como un problema de los materiales exclusivamente, ya que este mecanismo se produce generalmente por un número de factores que deben generarse simultáneamente; obviamente un factor trascendental son las cargas pesadas repetidas en el pavimento.

La estructura del pavimento juega un rol central en este tipo de deterioro, ya que una subrasante con un drenaje pobre, resulta en pavimentos blandos con altas deflexiones, pobres diseños y/o deficiente construcción de las capas del pavimento; así como espesores de pavimento muy delgados y rígidos, son también propensos a sufrir altas deflexiones.



Fig. 4.1.2.1 Agrietamientos por fatiga

En otros casos, la fisuración por fatiga es sólo un signo de que un pavimento ha alcanzado el número de cargas para el cual fue diseñado; esto no sería necesariamente una falla, sino la progresión natural de una estrategia de diseño del pavimento.

A continuación se enuncian algunas medidas a tomar para evitar la fisuración por fatiga:

- Estimación adecuada del número de ejes equivalentes en la etapa de diseño
- Mantener por todos los medios posibles seca la subrasante
- Pavimentos con espesores adecuados de tal forma que no permitan grandes deflexiones en la estructura
- Utilizar materiales que no sean excesivamente débiles ante la presencia de humedad
- Emplear materiales en el pavimento lo suficientemente resistentes para resistir deflexiones normales

En el momento de la aplicación de la carga, se producen tensiones de tracción horizontales cerca del fondo de la carpeta asfáltica; el material en esa zona debe ser lo suficientemente resistente para soportar estas tensiones, ya que es ahí donde se presentan las mayores concentraciones e inicia la fisuración en caso de sobrepasarse la resistencia a la tracción de la carpeta. No obstante, para superar el fisuramiento por fatiga, dicho material debe ser también resiliente. En este contexto, resiliente significa que el material puede resistir, sin fisurarse, muchas cargas a niveles de tensión mucho menores que la resistencia a tracción.

Desde el punto de vista de la fisuración por fatiga, es deseable que la carpeta se comporte como un material elástico blando; para lograr lo anterior, y dado que el comportamiento a la tracción de la mezcla asfáltica está fuertemente influido por el ligante asfáltico, se deben seleccionar cementos asfálticos cuyos límites superiores se ubiquen en la parte elástica en lo que se refiere a sus propiedades de rigidez.

4.1.3 Roderas

Las roderas son deformaciones plásticas en la superficie de rodamiento de un pavimento asfáltico, que se presentan a lo largo de la zona de mayor incidencia de los neumáticos de vehículos pesados. Usualmente aparece como una depresión longitudinal con ligero levantamiento lateral del material asfáltico.

En el siguiente capítulo se abunda en el tema de las deformaciones plásticas en las mezclas asfálticas, a fin de dar a conocer las causas de este tipo de deterioro, así como algunas medidas para mitigar el problema de funcionalidad y seguridad de los pavimentos flexibles.



Fig. 4.1.3.1 Formación de roderas en la superficie de rodamiento

4.2 Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas

La aparición de roderas en la superficie de rodamiento, aparte de afectar la funcionalidad del pavimento representa un problema serio para quienes transitan por la vía, ya que la acumulación de agua dentro de estas depresiones longitudinales suele causar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos.

Es por esto que se deben establecer límites permisibles de profundidad de rodera en función de las consideraciones de seguridad. La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA) clasifica las roderas en cuatro grados de severidad:

1 Hidroplaneo (0.5 a 0.7 cm)

2 Baja (0.7 a 1.25 cm)

3 Media (1.25 a 2.5 cm)

4 Alta (mayor a 2.5 cm)

Sin embargo, para muchos investigadores el único estándar razonable es aquel que se asocia al hidroplano. Pavimentos con pendientes transversales del orden del 2 % y profundidades de rodera de aproximadamente 1.25 cm, son condiciones que se consideran suficientes para causar el hidroplano de un automóvil que viaje a una velocidad de 80 km/h o más. A medida que incrementa la profundidad de la rodera, resulta difícil mantener la dirección del vehículo a altas velocidades, lo que se convierte en un gran problema de seguridad para el usuario.

4.3 Tipos de Deformación Permanente

La deformación permanente en pavimentos flexibles equivale a la acumulación de pequeñas deformaciones generadas con cada aplicación de carga. Esta deformación es irrecuperable.

La aparición de roderas en un pavimento flexible se debe principalmente a dos causas: deformación permanente en las capas subyacentes, y/o deformación permanente en la carpeta asfáltica.

4.3.1 Deformación Permanente en las Capas Subyacentes

La deformación se produce por la aplicación repetida de carga a la subrasante, la sub-base, o la base por debajo de la carpeta asfáltica (figura 3.1), y aunque el empleo de materiales más rígidos reduce parcialmente este tipo de deformación, el fenómeno normalmente se considera más como un problema estructural de materiales.

Frecuentemente es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, y sin la suficiente profundidad para reducir a niveles tolerables la tensión sobre la subrasante cuando las cargas se aplican. Podría ser también producto de una subrasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad.

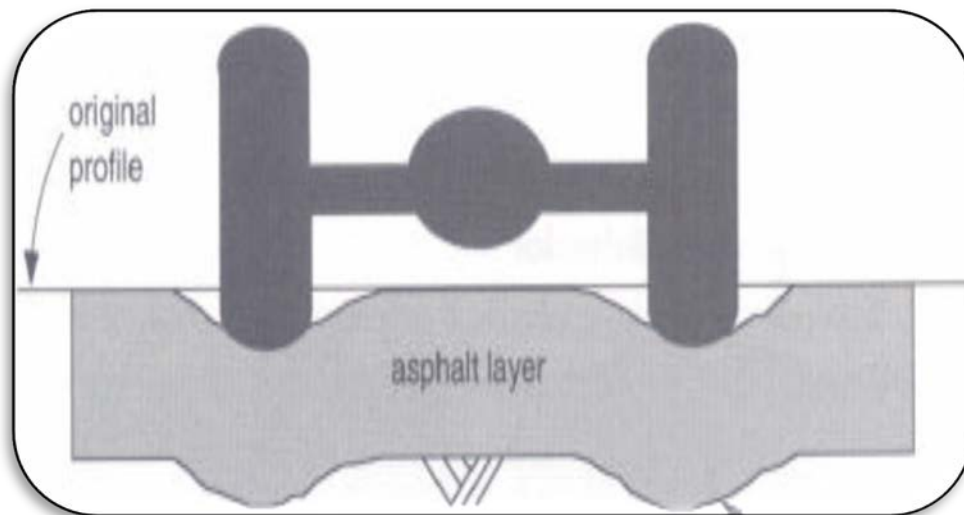


Figura 3.1 Deformación permanente debido a una capa subyacente débil

4.3.2 Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas⁵

Cuando una mezcla asfáltica presenta roderas, es evidente que su resistencia al corte es demasiado baja para resistir las cargas pesadas repetidas a las que está sujeta (Figura 4.3.2). La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente. Las superficies de rodamiento que presentan este tipo de problema representan un peligro para el usuario, ya que los surcos que se forman retienen suficiente agua como para provocar hidroplaneo o acumulación de hielo.

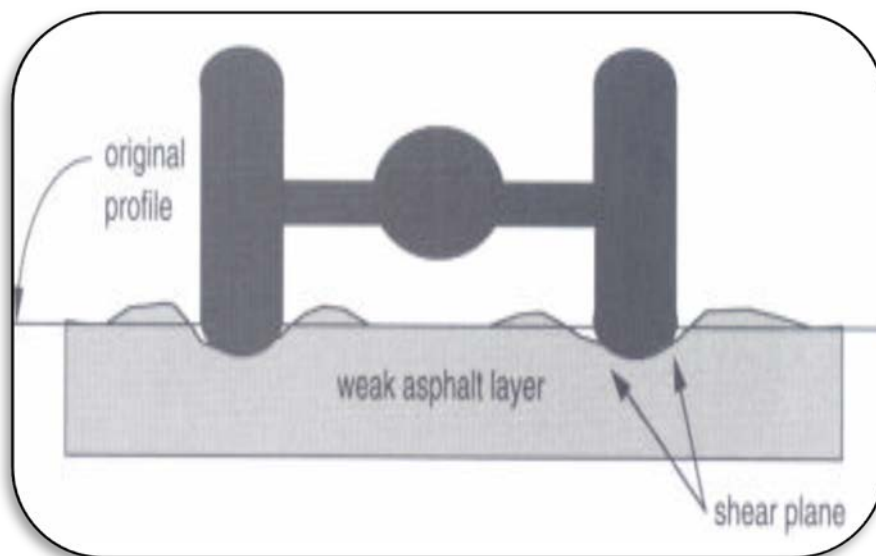


Figura 4.3.2. Deformación permanente debido a una mezcla asfáltica débil

4.4 Mecanismo de la Deformación Permanente

La deformación permanente en mezclas asfálticas resultado de una combinación de dos factores: la densificación de la mezcla (decremento de volumen), y la deformación plástica por esfuerzos de corte. En estudios durante las pruebas del tramo AASHO (1962) e investigaciones más

⁵ Instituto del Asfalto; Departamento del Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras; e IPC, Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas, Aplicaciones Tecnológicas, Innovaciones a través de Asociaciones, Asphalt Institute, Lexington, KY, EUA (nov 1994).

recientes realizadas con equipos de ruedas cargadas (Hofstra y Klomp), indican que la deformación plástica (sin cambio de volumen) por esfuerzo de corte, es por mucho el principal mecanismo de deformación permanente.

De manera similar, trabajos recientes coinciden en que las roderas son producidas principalmente por flujo plástico sin que ocurra cambio de volumen (Eisenmann y Hilmer). La Figura 4.4 reproduce el efecto del número de pasadas que una rueda cargada realiza sobre la sección transversal de una capa asfáltica.

El espesor de carpeta asfáltica es de 23 cm, mismo que se encuentra sobre una plataforma de hule con una rigidez determinada, a fin de reproducir el efecto de una subrasante con un comportamiento puramente elástico, y así todas las mediciones de la deformación permanente atribuir las solamente al concreto asfáltico.

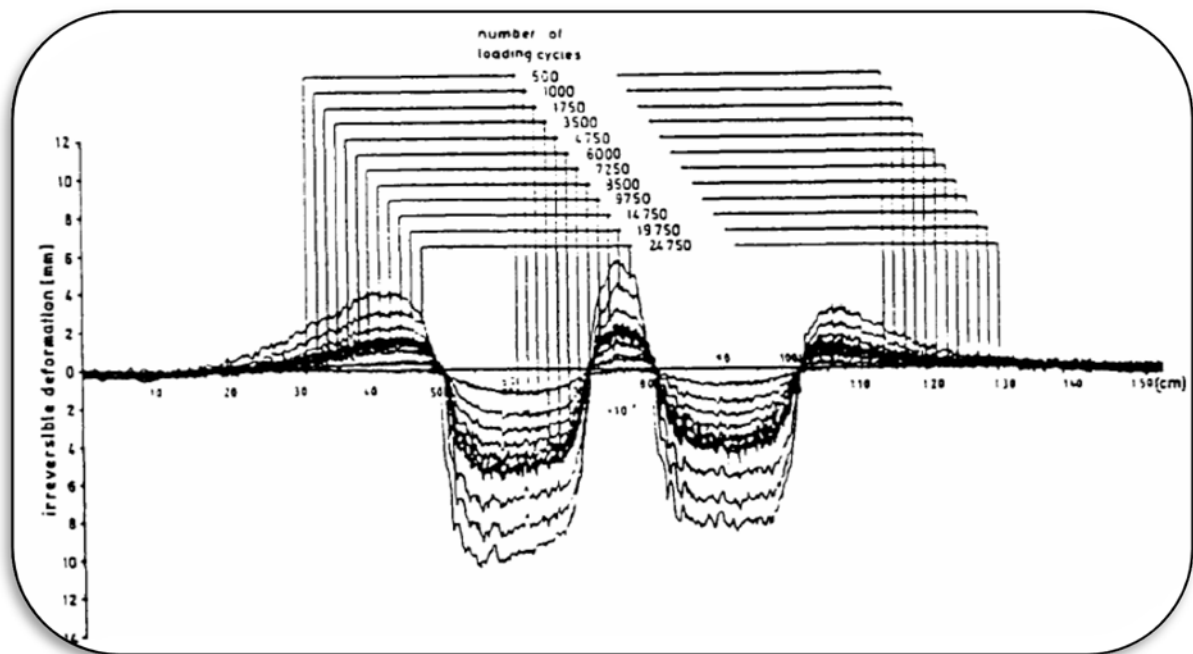


Figura 4.4 Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas

Se muestra la magnitud de las deformaciones, además de los volúmenes de material desplazado debajo de las ruedas y en las zonas adyacentes a éstas. En la primera etapa de aplicación de los ciclos de carga, el incremento de la deformación permanente debajo de las ruedas es muy distinto con respecto al levantamiento de la mezcla que ocurre en las zonas laterales. En esta fase inicial, la compactación impuesta por el tránsito tiene una importante influencia en la formación de las roderas.

Después de esta etapa inicial, el decremento de volumen debajo de las ruedas es aproximadamente igual al incremento de volumen en las zonas laterales de las rodadas. Esto es un indicador de que la compactación debida al tránsito ha sido completada casi en su totalidad, y que las deformaciones posteriores son causadas esencialmente por desplazamientos de la mezcla a volumen constante. Se considera que esta última fase es representativa del comportamiento a la deformación permanente de la carpeta asfáltica para la mayor parte de su vida de servicio.

4.5 Factores que Influyen en la Deformación Permanente

A continuación se describen los factores que influyen directa o indirectamente en la formación de roderas en la carpeta asfáltica; entre los que se encuentran características propias de los materiales, el tránsito y el medio ambiente.

4.5.1 Agregado Pétreo Granulometría

En la actualidad existe evidencia, que muestra que son deseables mezclas con granulometrías de graduaciones densas para mitigar los efectos de la deformación permanente.

Cuando estas mezclas se compactan adecuadamente, resultan con menos vacíos de aire y mayor contacto entre partículas a diferencia de una granulometría abierta. Algunos investigadores (Brown y Pell) han concluido que mezclas elaboradas con granulometrías abiertas del tipo gap-graded, exhiben mayor deformación que la mezclas de granulometría densa.

Lo anterior lo atribuyen a que en las primeras se presenta un menor contacto entre partículas; y dado que el contacto partícula -partícula en la mezcla es de mayor importancia a altas temperaturas, las mezclas de tipo gap-graded son más susceptibles de sufrir roderas bajo estas condiciones. A pesar de que lo anterior parece ser un consenso general entre los ingenieros de pavimentos, algunos investigadores han reportado mezclas de granulometría abierta del tipo open graded que han exhibido una buena resistencia a la deformación plástica (Hicks, et al).

4.5.2 Textura y Angularidad

La textura y angularidad del agregado juegan un papel importante en el comportamiento de la mezcla. Se ha visto que mezclas con agregados triturados y de textura rugosa, son menos deformables que aquellas que se han elaborado con agregados redondeados, aún con la misma graduación. En la Figura 2.5 se muestra el efecto que tiene la angularidad del agregado para un porcentaje de vacíos dado, en la rigidez de la mezcla Uge y Van de Loo investigaron la estabilidad de diferentes mezclas, empleando las mismas curvas de graduación para todas las mezclas y diferentes porcentajes de agregados triturados y redondeados

Como se esperaba, la más estable es aquella en la cual 100% de los agregados han sido tratados por trituración; y la menos estable aquella con el 100% de agregados redondeados. Un dato interesante es que una composición intermedia en donde sólo la fracción de arena fue triturada, demuestra mejor comportamiento que una mezcla en donde únicamente la fracción gruesa recibió este tratamiento, a pesar de que la primera contenía mayor porcentaje de agregados redondeados. Esto indica que el contacto entre partículas podría ser un factor más trascendental, que el porcentaje de trituración del agregado. Para efectos de control de la deformación permanente en las carpetas asfálticas la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos recomienda limitar el contenido de arenas naturales en la mezcla, a no más del 15%.

4.5.3 Tamaño Máximo de la Mezcla de Agregados⁶

Se han reportado que concretos asfálticos elaborados con asfaltos blandos, bajos contenidos de vacíos de aire, y tamaños máximos del agregado grandes (38 mm o mayores), han presentado buena resistencia a la deformación permanente.

⁶ Muestreo de Materiales Asfálticos / M-MMP-4-05-001

Conviene señalar que se ha concluido que el uso de mezclas asfálticas con tamaños máximos de agregado, de aproximadamente dos tercios el espesor de la carpeta ("large-stone" mixtures), pueden reducir la susceptibilidad a presentar roderas en las mezclas asfálticas, ya que este tipo de mezclas mitiga en gran medida el efecto de concentración de cargas que producen las altas presiones de inflado de los neumáticos (Davis).

4.5.4 Ligante Asfáltico

El comportamiento reológico del ligante debe tomarse en cuenta en la selección del cemento asfáltico que se vaya a emplear en la fabricación de la mezcla, de tal forma que sea adecuado para las condiciones de servicio (niveles de tránsito, velocidades de aplicación de carga, temperatura, etc) a las cuales va estar sujeto el pavimento. Controlando la rigidez del ligante a elevadas temperaturas se garantiza que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla, en términos de la elasticidad a altas temperaturas.

Muchos investigadores han tratado de mejorar el desempeño de la mezcla a la deformación permanente mediante modificadores en el cemento asfáltico, buscando así incrementar la viscosidad a altas temperaturas sin causar efectos adversos a la mezcla a bajas temperaturas.

La rigidez, debido al *envejecimiento*, contribuye a la resistencia al corte del ligante asfáltico con el tiempo, ya que su viscosidad se incrementa con las altas temperaturas. Desde luego, un cemento asfáltico demasiado rígido ayuda de manera importante en el agrietamiento por fatiga.

4.6 Aspectos de la Mezcla Asfáltica

4.6.1 Metodología de Diseño

En relación con los métodos de diseño, en Estados Unidos de Norteamérica se han utilizado principalmente dos: el basado en el procedimiento Marshall, y el método que aplica el estabilómetro de Hveem. Hasta 1985, treinta y ocho estados de la Unión Americana han empleado el procedimiento Marshall y once más el procedimiento Hveem (Khandal y Koehler). Sin embargo ante los recientes incrementos del tránsito, en

términos de repeticiones de carga y aplicaciones de carga por eje mayores, así como por las altas presiones de inflado de los neumáticos, se observó un incremento en el problema de la deformación permanente en la red nacional de carreteras norteamericanas, particularmente en los estados en donde se utilizó el método Marshall como procedimiento de diseño (Federal Highway Administration, 1987).

4.6.2 Contenido de Asfalto

La selección de un contenido óptimo de asfalto durante la etapa de diseño, es crítica en el desempeño de la mezcla. Si se seleccionan excesivos contenidos de asfalto, la aparición de roderas en la mezcla es muy probable como resultado de un bajo porcentaje de vacíos de aire de la carpeta debido a altas densidades en el lugar, después de que se haya completado la compactación por el tránsito. Dentro del estudio nacional de deformación permanente en pavimentos asfálticos, realizado en Estados Unidos en 1987, Khandall establece que para efectos de la deformación permanente, el contenido de asfalto en la mezcla resulta de mayor relevancia que las propias características del ligante asfáltico.

4.6.3 Vacíos de Aire (VA)

Los vacíos de aire tienen un efecto significativo en el desempeño de la mezcla asfáltica. Una considerable reducción de vacíos de aire en la mezcla como consecuencia de un alto contenido de cemento asfáltico, provoca que estos vacíos sean llenados con asfalto debido al flujo del ligante por las altas temperaturas, y la compactación adicional de la mezcla por acción del tránsito.

Bajo esta condición, el asfalto actúa como un lubricante entre los agregados afectando el contacto entre partículas, con lo cual disminuye la resistencia al corte de la masa pétreo. Se ha observado que cuando el porcentaje de vacíos de aire de la carpeta asfáltica cae por debajo del 3%, la probabilidad de aparición de roderas en la superficie de rodamiento se incrementa significativamente.

Según Kandhall, et al, los beneficios que se obtienen con las propiedades de angularidad y textura del agregado, dejan de tener relevancia en el comportamiento de la mezcla cuando se incurre en rangos de porcentaje de vacíos de aire inaceptables, por debajo de 2.5%.

4.6.4 Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Algunos investigadores (Cooper, Brown y Pooley) han concluido que una mezcla asfáltica resistente a la deformación permanente, requiere que ésta presente bajos porcentajes de vacíos de aire en el agregado mineral (VAM); lo anterior se logra utilizando graduaciones densas. Cabe mencionar que se debe de cumplir con valores mínimos de VAM, y de esta forma garantizar suficiente espacio para acomodar el volumen efectivo de asfalto.

4.6.5 Energía de Compactación en el Laboratorio

El mecanismo de formación de roderas comienza desde el momento en que la carpeta asfáltica es abierta al tránsito, por lo que es deseable dejar una carpeta terminada con un porcentaje de vacíos de aire de cuando menos el 8 %, para que una vez completada la densificación impuesta por el tránsito, este porcentaje de vacíos se encuentre en un rango de aproximadamente del 3 al 5 por ciento. Esta condición de la mezcla es deseable desde el punto de vista de desempeño y durabilidad, según los métodos de diseño hoy en uso. Por lo anterior, resulta de relevancia el hecho de simular en laboratorio, tan cerca como sea posible, la compactación que se produce en el sitio de la obra. Parece ser un consenso general entre los ingenieros de pavimentos, adoptar de la compactación giratoria como método de compactación en el laboratorio, ya que el efecto de la densificación por la acción de amasado parece reproducir de manera más fiel las condiciones en campo.

4.6.6 Energía de Compactación en Campo

Algunos aspectos que se han tratado y que contribuyen a la resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica, como es el tamaño máximo del agregado; angularidad; bajos contenidos de asfalto; etc, derivan en otro importante problema que es la *trabajabilidad* de la mezcla asfáltica; por lo que se recomienda utilizar altas energías de compactación en campo para lograr una superficie estable, y con un alto ángulo de fricción interna. Una compactación deficiente en el lugar, podría dar como resultado una carpeta con un alto contenido de vacíos (mayor a 8 %); si la vía tiene un alto porcentaje de vehículos pesados, el problema de la deformación permanente se agrava aún más, ya que aparte del flujo plástico debido a los esfuerzos de corte inducidos por el tránsito, podría

ocurrir una consolidación adicional de la carpeta. También se debe tener especial cuidado en actividades que preceden a la compactación, como es el manejo y extendido de la mezcla asfáltica ya que estos factores tienen gran influencia en el acomodo final de los agregados dentro de la carpeta.

4.6.7 Temperatura

La exposición de la mezcla asfáltica a las altas temperaturas favorece el mecanismo de la deformación permanente en las mezclas asfálticas. Al respecto se realizó un estudio en Texas, EUA, sobre secciones de pavimentos expuestas a las más altas temperaturas con objeto de conocer la evolución diaria de la deformación permanente durante el año (Mahboub y Little). Dentro de las conclusiones que se obtuvieron, se encuentran las siguientes:

- La deformación permanente ocurre durante el día, de las 7:30 am a las 5:30 pm
- Se pueden ignorar los efectos de la temperatura en la deformación permanente, por debajo de los 10 oC
- La deformación permanente sucede por lo general en el período de abril a octubre.

4.6.8 Tránsito

El tránsito es un factor de primer orden en la formación de roderas en el pavimento, en el cual los cambios en la distribución del tránsito, en especial el incremento de vehículos pesados, además de grandes magnitudes de carga y altas presiones de inflado de los neumáticos, han contribuido en los últimos años de manera importante a la manifestación de la deformación permanente en los caminos.

4.7 Relación entre la Deformación Permanente y la Práctica del Diseño de Pavimentos

Los procedimientos de diseño de pavimentos flexibles actuales se basan en limitar el esfuerzo vertical en la parte superior de la subrasante y los esfuerzos de tensión en el fondo de la carpeta asfáltica (figura 4.4). Los valores de los esfuerzos y las deformaciones son controlados incrementando el espesor y la rigidez de cada capa del pavimento, teniendo como resultado una estructura compuesta de capas que de acuerdo con la posición relativa que ocupan en la estructura, poseen un módulo de rigidez que se incrementa hacia la superficie. Esta composición de capas atenúa los esfuerzos producidos por el tránsito, controlan los esfuerzos verticales en la subrasante y mantienen dentro de límites tolerables las deflexiones del pavimento.

Una subrasante rígida posee la capacidad de distribuir mejor los esfuerzos que le son aplicados. Una capa de rodamiento rígida reduce el riesgo de que ocurran deflexiones en la subrasante, pero por otro lado incrementa los esfuerzos de tensión y los de corte, horizontales al fondo de dicha capa. Es por esto que el diseñador debe asegurarse que la resistencia al corte y a la flexión de esta capa sea lo suficientemente alta para resistir estos altos estados de esfuerzos.

Desafortunadamente estos métodos no cuantifican completamente el fenómeno de las roderas debido a la deformación de la carpeta asfáltica. Bajo altos niveles de tránsito pesado y espesores de carpeta asfáltica razonablemente altos, la evaluación de la deformación permanente por medio del estado de esfuerzos y deformaciones de la subrasante parece no tener mucho sentido, ya que la mayor parte de la deformación permanente ocurre en la carpeta asfáltica y no en la subrasante.

Los métodos de diseño de pavimentos flexibles, históricamente se han concentrado en proteger la subrasante del pavimento, dejando el problema de la resistencia al corte de la capa asfáltica en manos del diseño de la mezcla. La resistencia al corte de la mezcla, a menudo se evalúa por métodos empíricos, como es el Hveem o el Marshall.

Se han venido desarrollando recientemente ensayos que permitan evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica, como es el caso de ruedas cargadas, pruebas triaxiales y de creep, entre otras. En la actualidad existe una clara tendencia de introducir pruebas de desempeño en los métodos

de diseño de la mezcla, tal el caso de los niveles 2 y 3 del método Superpave.

4.8 Estimación de la Profundidad de Rodera

La estimación de la deformación permanente en materiales de pavimentación depende en gran medida de los métodos de ensaye y de los procedimientos que se utilizan para la fabricación de los especímenes de prueba. Estas variaciones conjuntamente con la incertidumbre del tránsito y las condiciones ambientales, hacen extremadamente difícil predecir la profundidad de las roderas.

La deformación permanente es un importante factor en el diseño de pavimentos flexibles. Con el incremento en las cargas del tránsito y presiones de inflado de los neumáticos de los vehículos, la mayor parte de la deformación permanente ocurre en las capas superiores del pavimento más que en la subrasante.

El método Shell (Claessen, et al) introduce un procedimiento que pretende mejorar las metodologías tradicionales, además de incluir un análisis adicional para estimar la cantidad de deformación permanente que ocurre en la capa asfáltica. Este método realiza un análisis elástico de un sistema de capas (layerstrain method). Otras metodologías de predicción utilizan procedimientos de análisis viscoelásticos.

CAPÍTULO 5.

LA MEJORA CONTINUA.

5.1 La Evolución de la Calidad⁷.

La calidad, La mejora continua y la perfección, son ideales que han existido en el ser humano en todas la culturas a lo largo de la historia, de hecho, los grandes avances que se disfrutan en esta época, en cualquier ámbito, demuestran claramente que la calidad es un afán que ha preocupado al hombre siempre; basta con recordar algunos ejemplos:

5.1.1 Época primitiva.

El interés por hacer bien las cosas es innato al ser humano. La evolución de la sociedad se origina por el deseo de mejorar continuamente los modos y formas de producción. El hombre primitivo también estuvo preocupado por la calidad tenía que determinar si el alimento era correcto o si sus armas eran lo suficientemente seguras para defenderlo figura 5.1. Evidentemente estas primeras actividades de control de calidad eran muy rudimentarias y sencillas



Fig. 5.1.1 Herramientas de Caza y Organización Primitiva

⁷ Calidad y Mejora Continua. Principios para la competitividad y la productividad. Lourdes Munch. Editorial: Trillas. Primera Edición, 2005.

5.1.2. Grandes Civilizaciones.

2150 a. C. con el avance de la civilización, la necesidad del establecimiento de especificaciones de calidad se hace patente, por ejemplo, en el Código de Hammurabi se declaraba: “Si un albañil construye una casa y ésta se derrumba matando al dueño, el albañil será castigado con la pena de muerte” aquí se hace evidente la preocupación de obtener satisfactores con la máxima calidad.

Una de las referencias más antiguas de la aplicación de la calidad se remonta a la construcción de la gran pirámide de Keops en Gizéh, Egipto, Hace 46 siglos aproximadamente. “Esta obra cubre un área de cinco hectáreas y tiene un error medio en la longitud lateral de 15.2 segundos en 200 metros y el error del ángulo es una desviación de 12 segundos del ángulo recto perfecto. Figura 5.1.2. El trabajo realizado por los artesanos egipcios es admirable aún hoy en día con todos nuestros avances tecnológicos, el acabado de los bloques fue tan preciso que las pirámides pudieron terminarse sin utilización de cemento”. No solamente existía una gran experiencia en la construcción, sino que también se utilizaron magníficos métodos para el control dimensional así como técnicas e instrumentos de medición.

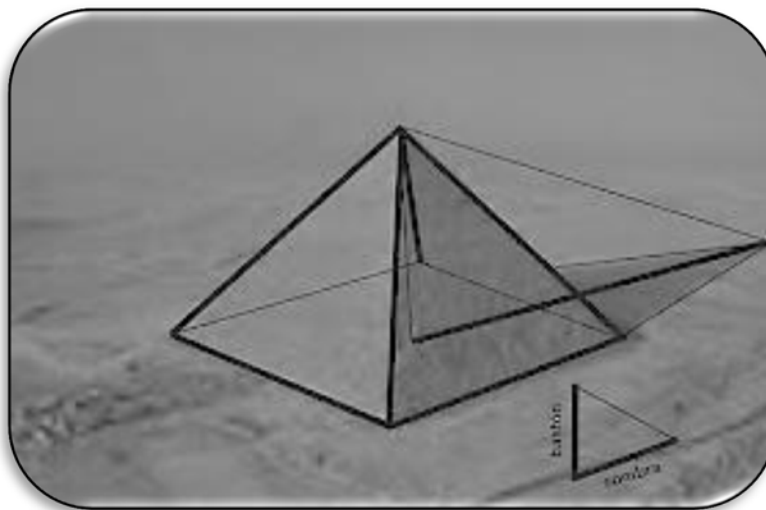


Figura 5.1.2. Pirámide de Keops en Egipto.

Antigüedad Grecolatina. Hace más de 2500 años, en la Grecia Clásica, Platón y Aristóteles, (figura 5.3) destacaban la importancia de la excelencia en los individuos como un medio para lograr la felicidad, y Tucídides exigía la excelencia en el ejercicio del servicio público. Grecia fue la cuna de la filosofía, la medicina, la Historia, el Derecho en fin, todos los grandes avances culturales de occidente se sustentan en la calidad que prevalecía en todos los ámbitos.

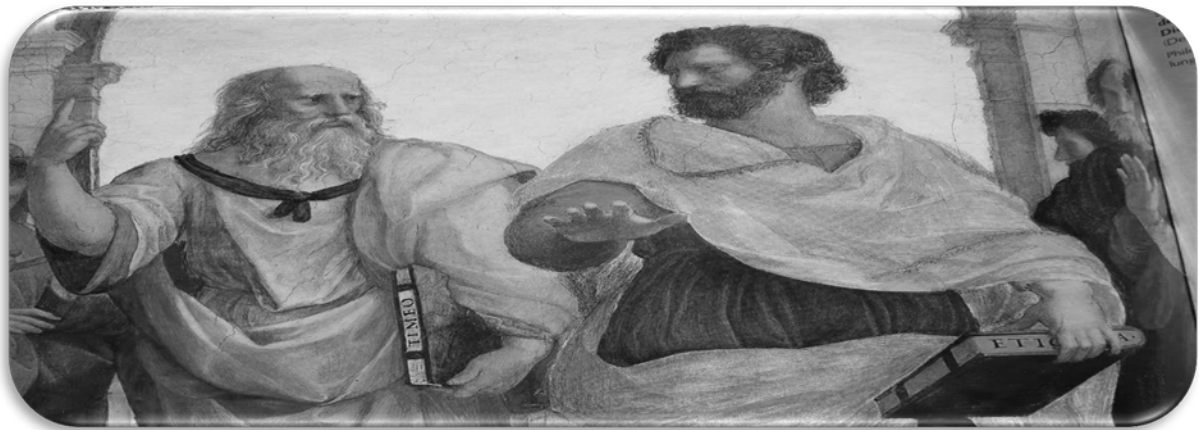


Fig. 5.3 Platón y Aristóteles.

5.1.3 Edad Media.

En la Edad Media aparecieron la producción artesanal y los gremios, el artesano realizaba la función de calidad, media, verificaba y ajustaba los elementos hasta sentirse plenamente satisfecho con el producto, de tal forma que intervenía en todas las etapas del proceso de producción hasta el contacto directo con el cliente.

5.1.4 Revolución Industrial.

Durante la Revolución Industrial, con la producción en serie y la especialización del trabajo, los problemas de fabricación se tornaron más complejos, el alto valor del trabajo artesanal disminuyó, apreciablemente así los intermediarios entre el dueño y el operario; en otras palabras, el capataz y los inspectores eran los funcionarios de la calidad. Figura 5.1.4

En esta etapa, para resolver la problemática de la calidad se contrataban especialistas de tiempo completo para el estudio de problemas técnicos de materiales, procesos e instrumentos de medición.



Fig. 5.1.4 Revolución Industrial

5.2 El Siglo XX.

A principios del siglo XX, Frederick Taylor realizó grandes aportaciones para la administración científica y la Ingeniería Industrial, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad de la producción de bienes y servicios. Henry Ford sistematizó la producción mediante líneas de ensamble y la clasificación de productos "aceptables y no aceptables" lo que provocó la aparición del departamento de control de calidad en las fábricas y la utilización de métodos estadísticos en las labores de inspección. La introducción de los gráficos de control en 1931, permitió verificar que los procesos se encontraran dentro de los límites de control, es decir, que las variaciones en los valores medios de las características de calidad de un producto se originaran en causas propias del procesos o por contrario, eran externas.

El cuadro de control ideado por el doctor Shewart, figura 5.2 Fue utilizado durante la Segunda Guerra Mundial por diversas industrias en Estados Unidos, en donde la aplicación del control estadístico de calidad propició que se fabricaran artículos militares de bajo costo y en gran cantidad.



Fig. 5.2 Dr. Shewart

En Inglaterra también se desarrolló el control estadístico de proceso, figura 5.2.1 Siendo este país promotor de la estadística moderna y con ello la adopción de las normas británicas 600 British Standard para recepción de materiales creadas por Pearson en 1935.

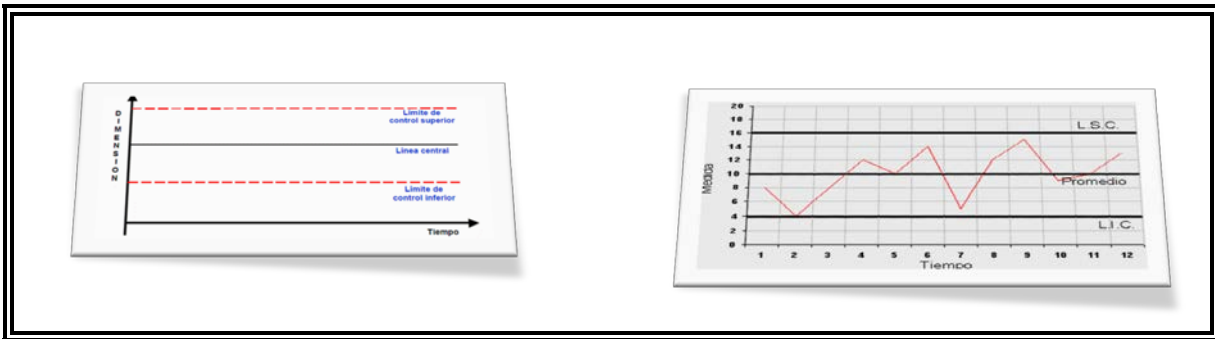


Fig. 5.2.1 Cartas de Control de Calidad.

En Japón, en 1946, se fundó la JUSE, Japanese Union of Scientifics and Engineers (Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros) siendo Ishikawa su primer presidente. El control de calidad estadístico ya se había utilizado en 1946 en la industria de las telecomunicaciones al establecerse el sistema de normas nacionales que propició la introducción y difusión del control estadístico de calidad en todas las industrias. En 1949 se integró un grupo de investigación en control de calidad que estaba constituido por miembros de universidades, industrias y gobierno, cuyo principal objetivo consistía en realizar investigaciones sobre mejoramiento de calidad.

El doctor Deming impartió un seminario de control estadístico de calidad para gerentes, ingenieros y presidentes de altas empresas con la finalidad de hacerles comprender la importancia del control de calidad.

En 1958 apareció el concepto de Control Total de Calidad (CTC) en Japón gracias al doctor Kaoru Ishikawa. La garantía de calidad surgió como resultado de la idea de hacer hincapié en realizar una buena inspección para no vender productos defectuosos.

5.2.1 Los Valores Culturales y la Calidad⁸

Mucho se ha discutido si la calidad total es una escuela, una corriente administrativa, un programa, un sistema, un enfoque, una filosofía o una estrategia; en realidad, la calidad total comprende todos los conceptos anteriores que integrados al sistema formal e informal de la organización son una cultura o forma de vida de la misma.

Todos los autores conceptualizan a la calidad total como un cultura que se orienta a la satisfacción de las necesidades del cliente, misma que se logra a través de la aplicación de factores como: administración participativa, liderazgo y compromiso de la dirección, estructuras y estrategias orientadas a la satisfacción del cliente interno y externo, desarrollo de equipos y círculos de calidad y prevención. Diversos tratadistas coinciden en que para lograr estos factores se requiere de individuos que posean y compartan una serie de valores tales como: Lealtad, amor por el trabajo, disciplina, laboriosidad, compañerismo, iniciativa, responsabilidad y compromiso, de tal forma que los valores individuales y organizacionales son el punto de partida de la calidad. Desarrollar estos valores implica un proceso de cambio y educación continua, de ahí que la frase de Ishikawa "Calidad empieza con educación y termina con educación" sea la clave para lograr la calidad, ya que esta requiere un largo proceso que inicia con la conciencia de la necesidad de cambio y que se desarrolla a través de la educación continua.

⁸ Calidad y Mejora Continua. Principios para la competitividad y la productividad. Lourdes Munch. Editorial: Trillas. Primera Edición, 2005.

5.2.2 Japón: Cuna de la Calidad Total.

Después de la segunda guerra Mundial, en completa bancarrota, la industria japonesa adoptó los métodos estadísticos para el control de calidad provenientes de Estados Unidos de América y del doctor Deming, siendo los resultados impresionantes ya que superaron al país de donde se importaron dichas técnicas. El “milagro japonés” se sustenta no solo en la aplicación de herramientas estadísticas sino en los factores culturales originados por la religión y tradiciones del pueblo japonés.

5.2.3 La Cultura de la Calidad y los Países en Vías de Desarrollo

Una de las causas más frecuentes del fracaso, cuando se pretende un cambio de cultura organizacional, es la extrapolación indiscriminada de esquemas administrativos extranjeros sin tomar en cuenta las características culturales de la organización y de la sociedad.

Por tanto, el conocimiento de los valores prevalecientes en la sociedad en la que se intente aplicar una cultura de calidad, es indispensable para lograr un mayor éxito en su implantación: porque, como ya se mencionó, la cultura del país influye en la cultura organizacional y consecuentemente en los valores y forma de ser de los individuos.

El conocer los valores posibilitará al ejecutivo para sensibilizar al personal de acuerdo con las circunstancias específicas en el proceso de calidad.

Figura 5.2.3

Por otra parte, en la misma figura 5.2.3 se muestran los requisitos para lograr la calidad con el propósito de capacitar al personal para que practique los valores para lograr la calidad.

Independientemente de las posibles ventajas históricas que los países desarrollados presentan en relación con los subdesarrollados, lo cierto es que la paradoja de Latinoamérica radica en que somos ricos en recursos y pobres en resultados.

Requisitos de la calidad	Características del latinoamericano
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lealtad ◆ Amor al trabajo ◆ Responsabilidad ◆ Laboriosidad ◆ Compromiso ◆ Visión de largo Plazo 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Inseguridad y desconfianza ◆ Amor a las fiestas ◆ Despreocupación ◆ Falta de identidad ◆ Visión a corto plazo

Fig. 5.2.3 Los Valores de la Calidad.

En seguida se presenta un resumen de las principales características de las organizaciones, japonesas, occidentales, estadounidenses de excelencia y las mexicanas. Figura 5.2.3.1

Lo importante es conocer los valores, el perfil y las características del personal con la finalidad de diseñar programas de sensibilización y educación que se adapten a los requisitos para implantar la calidad y lograr un cambio de cultura.

Factor	Japonesas	Occidentales	Estadounidenses de excelencia	Mexicanos
Empleo	De por vida	Corto Plazo	Largo Plazo y estable	Corto Plazo e inestable.
Evaluación y Promoción	Lento	Rápido	Lento	Variable
Carreras	No especializadas	especializadas	Interdisciplinarias	Variables
Control	Implícito	Explícito	Implícito y explícito	Explícito
Temas de decisiones	Colectivo	Individual	Mixto	Variable
Responsabilidad	Colectiva	Individual	Mixta	Situacional
Interés	Holista	Segmentado	Holista	Individual

Fig. 5.2.3.1 Características de las organizaciones.

5.2.4 Filosofías y Metodologías de la Calidad

Múltiples son los autores que han propiciado y promovido la cultura de calidad, entre ellos destacan por su importancia, Edwards Deming y Kaoru Ishikawa quienes propiamente iniciaron este movimiento y a quienes se les conoce como precursores de la calidad total y Joseph Juran y Philip Crosby considerandos como promotores de dicha cultura. A continuación se mencionan sus principales aportaciones y postulados.

5.3 Deming y La Mejora Continua



Fig. 5.3 Dr. Deming

El doctor W. Edwards Deming nació en Estados Unidos de América el 14 de octubre de 1900, estudió en la Universidad de Wyoming y realizó una maestría en Física y Matemáticas en la Universidad de Colorado, obtuvo el Doctorado en Física en la Universidad de Yale en 1924. Trabajó en la Planta de Hawthorne de la Western Electric en Chicago y en el Departamento de Agricultura de Estados Unidos. En 1927 estudió con Walter Shewart, experto en estadística, quien desarrollo técnicas de control estadístico. Figura, 5.3

Algunos miembros de la unión Científica de Ingenieros Japoneses (JUSE) lo invitaron a sus reuniones para la reconstrucción de su país. Deming aceptó, capacitó y exhortó a los principales representantes de la industria japonesa para aplicar el control estadístico de proceso.

La filosofía Deming está íntimamente relacionada con el Control Total de Calidad, También es conocido como el proceso de mejoramiento de la calidad o de mejora continua. Como experto en estadística, el Doctor Deming se propuso buscar las fuentes de mejoramiento de la calidad, en vista de que los métodos estadísticos no funcionaban, reflexionó acerca de las causas de dicho fracaso y creo la filosofía Deming, cuyas principales aportaciones son:

5.3.1 La Reacción en Cadena.

En la que se demuestran los múltiples beneficios de la calidad. Mediante este esquema es posible comprender las enormes ventajas que implica la filosofía Deming: Si se mejora la calidad se reducen los costos de no calidad al disminuir los retrocesos y desperdicios, y esto originará que los precios de venta sean menores con un consecuente incremento de los clientes y del mercado, situación que a su vez elevará los rendimientos y utilidades tanto de las empresas como de los empleados. Al existir mayores

rendimientos se propiciará una mayor posibilidad de expansión y creación de nuevas inversiones y fuentes de trabajo. El ámbito de la reacción en cadena, (Figura 5.3.1) va más allá de las empresas, ya que el crecimiento empresarial también promueve el desarrollo económico de la sociedad, situación que se demuestra en el caso de Japón.



Figura 5.3.1 Reacción en cadena

5.3.2 El Diagrama de Flujo Deming.

Presenta un resumen integral de todos los factores que son indispensables en el proceso de Mejora Continua, que inicia y concluye con la satisfacción de las necesidades del cliente; para Deming el cliente es el factor clave del proceso (Fig. 5.3.2).

Deming considera a la calidad como un proceso integral ya que abarca todas las actividades de producción y de servicio; enfatiza la importancia del cliente externo y el cliente interno como elementos fundamentales en el proceso de Mejora Continua.

5.3.3 La Espiral de la Mejora Continua.

Deming postula que la baja calidad significa altos costos, ya que entre el 15% y 40% de los costos de fabricación en Norteamérica se deben a desperdicios de esfuerzo humano, tiempos de máquina y al uso improductivo de los materiales. (Fig. 5.3.3).



Fig. 5.3.2 Diagrama de Flujo Deming.

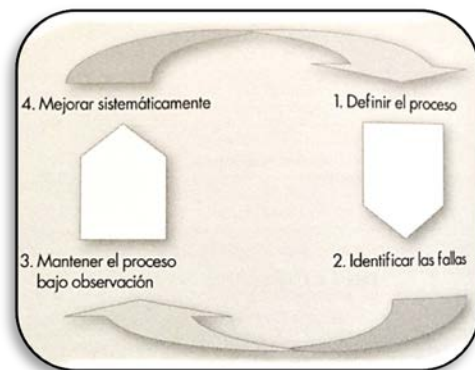


Fig. 5.3.3 Espiral de mejora continua.

5.3.4 El Ciclo PHEA: Planificar, Hacer, Ejecutar y Actuar.

Este ciclo muestra las etapas para lograr la mejora continua (Fig. 5.3.4).

Planear. Planificar consiste en decidir las acciones necesarias para prevenir, controlar y eliminar las variables que originan las diferencias entre las necesidades del cliente y la ejecución del proceso.

Hacer. Significa llevar el plan a la acción previos ensayos, para observar el comportamiento en la manipulación de las variables. Los ensayos deben efectuarse en un laboratorio, para esto será necesario educar a todo el personal.

Ejecutar. Aplicar el análisis estadístico al nuevo proceso para determinar la reducción de las desviaciones.

Actuar. Esta fase supone poner en práctica las modificaciones detectadas en la fase anterior disminuyendo la diferencia entre las necesidades del cliente y la ejecución del proceso.

En esta fase la retroalimenta la planificación para optimizar las variables manipulables del proceso.



Fig. 5.3.4 Ciclo PHEA- Deming.

5.3.5 Los Catorce Pasos. Deming llegó a la conclusión de que lo que se necesitaba era una filosofía básica de administración que fuera compatible con los métodos estadísticos. A esta filosofía el doctor Deming la bautizó como los “Catorce Pasos”, imprescindibles para lograr la mejora continua.

1. **Crear Constancia en el Propósito de Mejorar.** En vez de que el objetivo primordial de la organización sea la obtención de utilidades, su misión debe ser permanecer en el mercado y proporcionar empleo por medio de la innovación, investigación y el constante mejoramiento; de esta manera, las utilidades se generarán implícitamente.
2. **Adoptar la Nueva Filosofía de lo Absoluto Rechazo a Permitir Defectos.** Para eliminar la tolerancia frente a un trabajo deficiente y un mal servicio, se requiere una nueva filosofía, en la que los errores y la ineficiencia sean inadmisibles, lo anterior se lograra mediante el compromiso de todos los miembros de la organización en la obtención de la calidad, entendida como superar las necesidades y las expectativas del cliente a lo largo de la vida útil del producto y/o servicio.
3. **Eliminar la Inspección.** La inspección rutinaria de 100% equivale a planificar y aceptar los defectos, a reconocer que el proceso no se lleva acabo correctamente, y que la empresa no tiene la capacidad para cumplir las especificaciones. La calidad no se debe basar en la inspección, sino en la prevención y en la mejora continua del proceso.
4. **Acabar con la Práctica de Contratar Proveedores Basándose Exclusivamente en el Precio.** Sin medidas de calidad adecuadas, la empresa sólo se orienta a seleccionar a los proveedores que otorgan los precios más bajos, lo que origina consecuencias atroces: baja

calidad en la producción y elevados costos de no calidad. Para adquirir insumos de calidad es necesario establecer una relación a largo plazo con el proveedor y capacitarlo para que se comprometa a proveer materiales de óptima calidad.

5. **Mejorar Continuamente y por Siempre el Sistema de Producción y de Servicio.** El mejoramiento no se logra de buenas a primeras. La gerencia está obligada a buscar continuamente los métodos para reducir el desperdicio y mejorar la calidad. Esta responsabilidad corresponde tanto al trabajador como a la dirección; para mejorar el proceso se requiere mejorar continuamente la calidad en todas las actividades y reducir las variaciones.

6. **Instituir Métodos Modernos de Capacitación en el Trabajo en Todos los Niveles.** Con mucha frecuencia los trabajadores han aprendido sus funciones de otro trabajador que nunca fue entrenado apropiadamente, de esta manera, no pueden desempeñar su trabajo porque no se les ha capacitado. Deming propone diferentes tipos de capacitación en una empresa: conocimiento de los 14 puntos, inducción, capacitación de los supervisores y especificaciones operacionales de su labor, conocimiento del proceso y participación del proveedor y del cliente.

7. **Instituir el Liderazgo.** La tarea de la dirección no consiste en supervisar sino en eliminar todas las barreras que impiden que el trabajador se sienta orgulloso del trabajo, además de preparar bien al personal para que realice bien su trabajo.

8. **Erradicar el Temor.** Muchos empleados temen hacer preguntas aun cuando no entienden en qué consiste el trabajo. La pérdida económica producida por el temor es impresionante, para mejorar la calidad y la productividad es necesario que la gente se sienta segura. Algunas de las causas por las que el trabajador puede sentir

temor son: posibilidad de perder el empleo, evaluación del desempleo, ignorancia de las metas de la empresa, mala supervisión, falta de definiciones operacionales, desconocimiento del cargo, producto o especificaciones, incumplimiento de cuotas y malos procedimientos de inspección.

9. **Derribar las Barreras Existentes Entre Distintos Departamentos y las Áreas de Staff.** Con frecuencia, las áreas staff y los departamentos compiten entre sí o tienen metas opuestas, no trabajan en equipo para resolver los problemas o para preverlos, y lo que es peor, las metas de un área se contraponen a las de otras. La única manera de incrementar la calidad es mediante un sistema integral en el que participen todos los miembros de la organización para trabajar en equipo con la finalidad de prever fallas y eliminarlas.

10. **Eliminar los Lemas, las Exhortaciones y los Carteles.** Éstos nunca le sirvieron a nadie para hacer un buen trabajo, piden aumentar la productividad, pero no enseñan métodos de mejora. Demostrar avances o mejoras con gráficos de control, capacitar en el uso de métodos estadísticos, iniciar la mejora modificando métodos y procesos son alternativas realmente adecuadas para incrementar la productividad.

11. **Utilizar Métodos Estadísticos para Mejorar Continuamente la Productividad y la Calidad.** La capacitación en la utilización de herramientas estadísticas para mejorar la calidad es indispensable. Lograr la mejora continua requiere la utilización de herramientas estadísticas que facilitan la supervisión y proporcionan información real al trabajador, de tal forma que se identifican las características del proceso.

12. **Fomentar el Orgullo por el Trabajo.** El orgullo de la gente por hacer bien su trabajo trae consigo múltiples ventajas, algunas de las más importantes son: la productividad, lealtad, entusiasmo, interés por el trabajo, por la calidad, y espíritu de equipo. Para fomentar el orgullo por el trabajo, la empresa deberá definir las descripciones de puestos, suministrar herramientas, métodos y materiales adecuados, capacitar al trabajador, cubrir sus necesidades primordiales, concientizarlo acerca de la importancia de su trabajo y establecer sistemas, procesos y un clima organizacional que propicien un sentimiento de logro y la felicidad por el trabajo bien hecho.

13. **Establecer un Vigoroso Programa de Educación y Automejora.** Tanto la gerencia como los empleados tendrán que ser entrenados en el empleo de los nuevos métodos, incluyendo el trabajo en equipo y las técnicas estadísticas. La educación y la capacitación comprende los siguientes tópicos:

- La filosofía, la misión y las políticas y metas de la organización.
- Técnicas estadísticas básicas.
- Técnicas de calidad. Método Deming, misión y filosofía, aplicaciones estadísticas, diseño de experimentos, planes de muestreo, filosofía de empresa y sindicalismo, gráficos de control y herramientas de control.

14. **Tomar Medidas para Lograr la Transformación.** La gerencia deberá adoptar un compromiso permanente con la calidad, desarrollar un equipo de altos ejecutivos y elaborar un plan de acción para lograr la mejora continua.

La filosofía Deming provee un marco consistente para manejar a la organización como un cuerpo integrado, en donde la fuerza propulsora es la calidad, mediante el mejoramiento incesante de todos los procesos.

CAPÍTULO 6

MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO, CON DISEÑO Y CONTROL DE CALIDAD DE ACUERDO AL PROTOCOLO DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO A. C. (AMAAC).

En el presente capítulo se verán los principales procedimientos de control de calidad en las obras de proyectos de recuperación y reencarpentamiento, de estos algunos son aplicables para proyectos nuevos de carpeta asfáltica de granulometría densa de alto desempeño.

El Protocolo establece las características de calidad que deberán considerarse para la construcción de Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa de Alto Desempeño, que es parte constitutiva del Pavimento Asfáltico.

La presente especificación particular es apegada totalmente a los documentos de la Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC) con designaciones PA-MA-01/2011 y PA-02/Versión actualizada de acuerdo al diseño de la mezcla, calidad de la mezcla producida en planta, calidad de la mezcla tendida y compactada así como calidad de la mezcla colocada. Por lo tanto, el diseño y control de calidad de la mezcla se deben de ajustar a las especificaciones marcadas en el Protocolo AMAAC.



Proyecto de Reencarpetamiento en Carretera Libre Lagos de Moreno - Ojuelos, Tramo del Km. 143+000 al Km. 130+00 en Jalisco.

6.1 Definición

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento cómoda y segura, uniforme, impermeable y resistente al derrapamiento.

El espesor de la carpeta asfáltica deberá ser el adecuado para desempeñar la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

La mezcla asfáltica de alto desempeño, es una mezcla especialmente diseñada y construida para resistir deformaciones permanentes, fatiga y tener mayor resistencia a los agentes ambientales.

6.2 Requisitos de Calidad de los Materiales

Cuando el material pétreo para estas mezclas pertenezca a más de un solo banco, se deberá asegurar que el mezclado del material de las diversas fuentes sea homogéneo y su utilización deberá ser aprobada por la Dependencia Fig. 6.2. La Constructora en su propuesta debe incluir un croquis de localización de los bancos de materiales propuesto indicando la distancia de acarreo a la planta de asfalto, así como el diagrama de flujo de producción de agregados pétreos.



Fig. 6.2 Personal de laboratorio en trabajos de verificación de la mezcla de material de recuperación para base de pavimento.

6.2.1 Agregado Grueso.

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla No. 4) deberá ser de un banco aprobado por la Dependencia, triturado totalmente a un tamaño máximo nominal de 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), debiendo cumplir este con las especificaciones que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de calidad del agregado grueso

Característica	Norma	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131-06	30 máx. (capas estructurales) 25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	AASHTO T 327-99/ASTM D6928-10	18 máx. (capas estructurales) 15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	AASHTO T 104-99 (2007)/ASTM C 88-05	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	5 a 1 %, 10 máx.
Partículas lajeadas, %	ASTM D 4791	5 a 1 %, 10 máx.
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA-08/2010	90 mín.

*Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido previamente por la Dependencia.

6.2.2 Agregado Fino.

El agregado fino (material que pasa la malla No 4) constituirá parte del "mastic asfáltico" y deberán provenir de un banco aprobado por la dependencia y cumplir con las especificaciones marcadas en la tabla 2. Este punto es uno de los más importantes.

Cuando el material para estas mezclas pertenezca a más de un solo banco, se deberá asegurar que el mezclado del material de las diversas fuentes sea homogéneo y su utilización deberá ser aprobada por la Dependencia.

En cumplimiento con lo indicado se deberá realizar una visita al banco(s) afin de certificar que dicho banco cumple con lo solicitado.

Tabla 2 – Propiedades del Agregado Fino*

Característica	Norma	Especificación
Equivalente de arena,%	ASTM D 2419	50 min. (capas estructurales) 55 min. (capas de rodadura)
Angularidad, %	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	Recomendación AMAAC RA-05/2010	15 máx. (capas estructurales) 12 máx. (capas de rodadura)

*Todas las pruebas deberán ser desarrolladas por un laboratorio autorizado y reconocido Previamente por la Dependencia.

6.2.3 Relleno Mineral de Aporte (filler).

Se define como filler de aporte a la fracción de material que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm.) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos. El filler de aporte suele ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de aglomeraciones cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas y tener un índice de plasticidad no mayor de 4, así como un valor de azul de metileno no mayor de 12, acorde a la Recomendación AMAAC RA 05/2010

6.2.4 Cemento Asfáltico.

En la carpeta asfáltica estructural, se deberá utilizar como mínimo asfalto modificado con polímero PG70-22 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

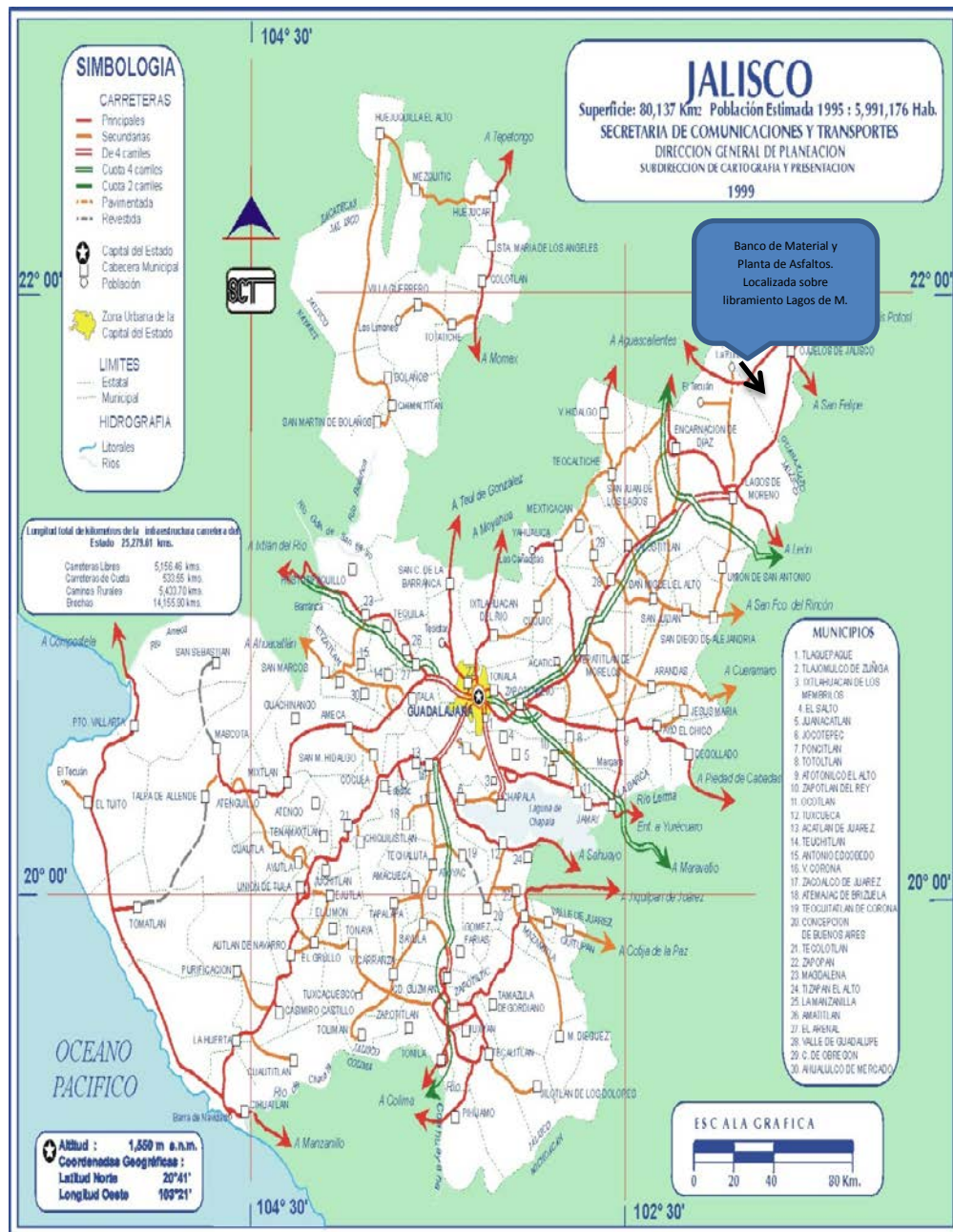
modificador tipo 1 (AC-20 + modificador tipo 1) conforme a la tabla No. 1 de la Norma N-CMT-4-05-002/06.

Sin importar el nivel de tránsito, en la construcción de capas de rodadura en caliente, ya sean éstas del tipo de granulometría abierta (Open Graded), SMA, Sistema CASAA o cualquier otra graduación discontinua (Gap Graded), se utilizará asfalto modificado con polímero PG70-22.

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 licitante presente, en su propuesta técnica, carta compromiso de una planta industrial donde se comprometa a elaborar el producto y cumplir con las especificaciones indicadas en el PA-MA-02/Versión actualizada.

Anexar croquis con la localización de la planta.



En las siguientes ilustraciones se observan las actividades en el que se realizan los trabajos de acuerdo al Protocolo AMAAC. A fin de Verificar la Calidad de los Materiales.



En el banco de materiales Petreos.



En la Planta de Asfalto.
Se toman Muestras del Cemento
Asfáltico.



Una vez tomadas las muestras para su analisis se procedera a su verificación en el laboratorio.



En el caso que la Constructora cuente con planta propia, deberá anexar en la propuesta técnica las características de la misma, un croquis de localización y procedimiento de modificación al cemento asfáltico.

6.3 Verificación de la Calidad

A la llegada de cada carro-tanque al sitio de los trabajos, el constructor deberá entregar a la supervisión una certificación expedida por el fabricante del cemento asfáltico modificado con polímeros, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho y el tipo de asfalto, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deberán satisfacer las condiciones establecidas en el PA-MA-01/2011 y PA-MA-02/Versión actualizada. Además para la aceptación en campo del cemento asfáltico grado PG, los laboratorios de calidad deberán de muestrear cada carro tanque suministrado mediante al menos las siguientes pruebas: punto de reblandecimiento por anillo-esfera, recuperación elástica por torsión y viscosidad rotacional Brookfield M-MMP-4-05-005/02, de acuerdo a los parámetros establecidos en el PA-MA-02/Versión actualizada. Deberán muestrear el asfalto en tres latas de un galón de capacidad (4 litros) cada una, que serán cerradas y firmadas por proveedor, cliente, y supervisión. Una muestra (lata) quedará en poder de la supervisión para su envío a un laboratorio reconocido que cuente con personal e instalaciones necesarias y suficientes para una caracterización completa del asfalto.

El cemento asfáltico deberá cumplir con todas las siguientes especificaciones:

Tabla 3 – Pruebas mínimas en el asfalto modificado con polímeros

PRUEBAS MÍNIMAS EN EL ASFALTO MODIFICADO. ESPECIFICACIONES DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS (N-CMT-4-005-002/06)		
Viscosidad Saybol-Furol a 135°C, minutos	15	Máximo
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C: Pa s	4	Máximo
Penetración a 25°C, 100 G, 5S, (0.01 mm)	40	Mínimo
Penetración a 4°C, 200G 60S; (0.01 mm)	25	Mínimo
Punto de inflamación Cleveland; °C.	230	Mínimo
Punto de reblandecimiento; °C	55	Mínimo
Separación diferencia anillo y esfera; °C.	3	Máximo
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %	30	Máximo
Resiliencia, a 25°C, %	20	Mínimo

Tabla 3.1 – Pruebas mínimas residuo de la prueba de la película delgada

PRUEBAS MÍNIMAS DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA (3.22 mm, 50 g)		
Pérdida por calentamiento a 163°C; %	1	Máximo
Ductilidad a 4°C Y 5 CM/MIN;CM	7	Mínimo
Penetración Retenida	65	Mínimo
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C;%	50	Mínimo
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen); Kpa	2.2	Mínimo
Ángulo fase [visco-elasticidad], a 76°C; °(grados)	75	Máximo

Los parámetros de las tablas 3 y 3.1 se complementan con la tabla 2 de la norma N-CMT-4-05-004/08.

6.4 Diseño de la Mezcla.

El diseño de la mezcla se realizará en un laboratorio aprobado por la dependencia y conforme al procedimiento indicado en el Protocolo de diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño de la Asociación Mexicana del Asfalto PA-MA 01/2011, considerando como mínimo un Nivel 2 de diseño de mezclas.

El concreto asfáltico deberá presentar un comportamiento de resistencia a esfuerzos de tensión (TSR) de tal forma de tener una resistencia mínima remanente de 80 % conforme a la recomendación AMAAC RA 04/2010. Considerando un ciclo de congelamiento de 16 horas, el cual deberá ser aplicado antes de realizar la prueba. Las temperaturas de mezcla y compactación deberán ser las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico conforme a la viscosidad rotacional generada. Previo a la compactación de los especímenes en el laboratorio la mezcla deberá curarse en un horno, a la temperatura de compactación, 2.00 horas para cuando los agregados presenten una absorción combinada menor o igual a 2.5% y 4.00 horas para absorción mayor a 2.5%.

Para la fabricación de los especímenes, la mezcla asfáltica deberá ser compactada en el Compactador Giratorio Superpave de acuerdo al número de giros correspondientes a los ejes equivalentes de diseño tomando en cuenta lo especificado en la Recomendación AMAAC RA 06/2011, con un ángulo de 1.25° y 600 kpa de presión. Ver tabla 5.

La selección del contenido de asfalto estará en función del cumplimiento de las propiedades volumétricas indicadas en la tabla 6.

La granulometría de la mezcla asfáltica deberá apegarse a la PA-MA 01/2011, en el eje horizontal se graficará la abertura de la malla en mm elevada a la 0.45 potencia y en el eje vertical el por ciento que pasa, alojándose dentro de los puntos de control, La línea de Máxima densidad es una línea recta que se traza del tamaño máximo del agregado, del 100% de material que pasa al origen. Figura 6.4

Tamaño Máximo: Una tamaño mayor que el tamaño máximo nominal.

Tamaño Máximo Nominal: Una tamaño mayor que la primera malla o tamiz que retiene más del 10% de agregado.

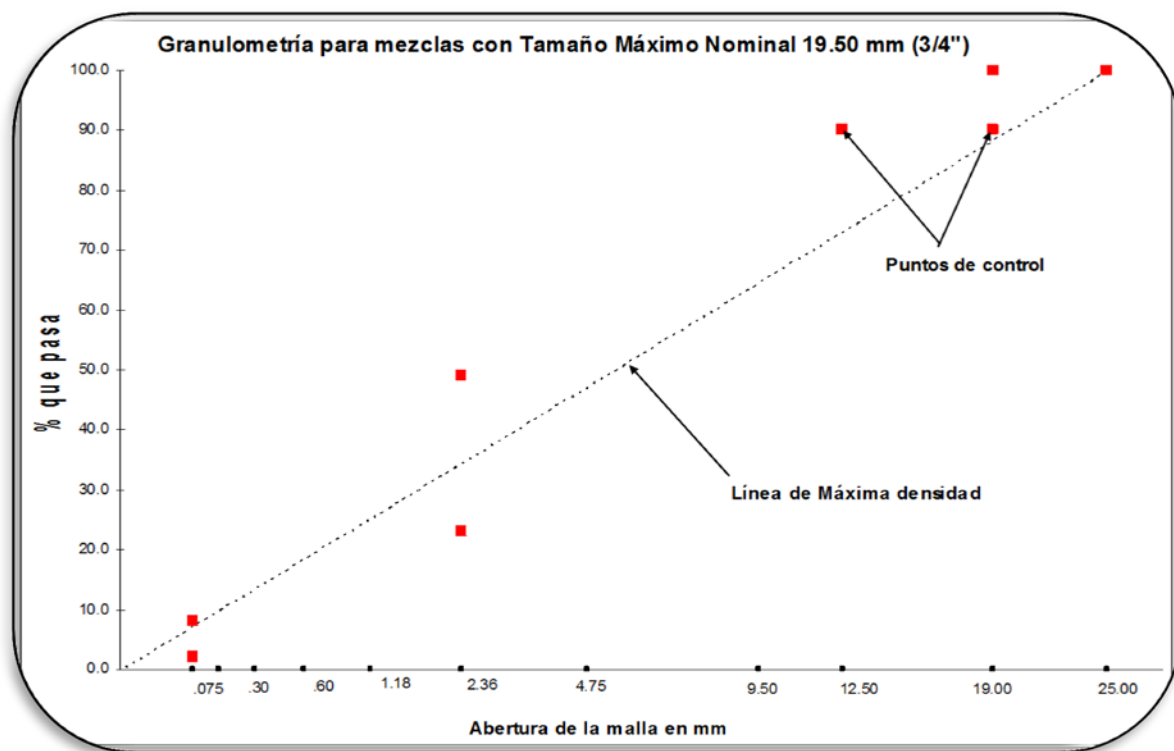


Figura 6.4 - Límites Granulométricos Superpave para Tamaño Máximo Nominal 19 mm (3/4").

La figura anterior ilustra a manera de ejemplo los límites establecidos para una mezcla con tamaño nominal de 19 mm. En todos los demás casos se debe de construir a gráfica correspondiente.

Tabla 4 – Puntos de Control en la Granulometría Superpave Para Tamaño Máximo Nominal de ¾" (19 mm).

Abertura de la malla (mm)	% que pasa	
	Mín	Máx
50.00		
37.50		
25.00	100	
19.00	90	100
120.50		90
9.50		
4.75		
2.36	23	49
0.08	2	8

Tabla 5 – Energía de Compactación en el Compactador Giratorio Superpave para niveles de tránsito altos.

ESALs de Diseño(millones)	Parámetros de Compactación		
	Nini	Ndiseño	Nmáx.
3 a 30	8	100	160
≥ 30	9	125	205

Tabla 6 – Requerimientos Volumétricos Superpave para niveles de tránsito altos

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 % (tamaño nominal 19 mm)	Vacíos llenos de asfalto en %	Relación filler asfalto
	Nivel de compactación giratoria					
	Nini	Ndis	Nmáx			
III Alto	≤ 90,5	96	≤ 98		65 - 78	
IV Muy alto	≤ 89				65 - 75	

6.5 El Clima

No se permitirá aplicación sobre superficie que se encuentre mojada. La temperatura ambiente no deberá ser menor a quince 15 ° C en el momento de la aplicación (la temperatura ambiente será tomada a la sombra y lejos de cualquier calor artificial). Una superficie húmeda es aceptable para la aplicación si se encuentra libre de agua estancada y si se esperan condiciones ambientales favorables.

6.6 Construcción de Carpeta Asfáltica

Una vez aplicado el riego de liga, se construirá una capa de carpeta asfáltica, con material pétreo proveniente de banco propuesto por el contratista a tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4"), se colocará de acuerdo al espesor y a los niveles indicados en las secciones de proyecto. Se utilizará para su tendido una extendedora con equipo de sistema electrónico (sensores) para el control de espesores, la extendedora deberá garantizar una distribución y acomodo uniforme de la mezcla asfáltica, para dar las pendientes transversales y longitudinales de proyecto, por lo que el contratista deberá contar con el personal capacitado y el equipo especial con las características descritas anteriormente. El porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada según el PA-MA-01/2011 deberá

de estar comprendido en todos los casos entre el 4% y el 6%, por lo que durante la ejecución de la obra se compactará al noventa y ocho por ciento (98%) mínimo, de la gravedad específica bruta de la mezcla asfáltica compactada (AASHTO T 166, ASTM D 2726, N-CMT-4-05-003/,RA 01/2011, RA 02/2011, RA 03/2011, RA 04/2011 y RA 06/2011).

La superficie de rodamiento deberá tener una textura y acabado uniforme, en caso de iniciar lluvia, el tendido deberá suspenderse inmediatamente sin argumentar que se tiende bajo riesgo de la constructora.

Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la dependencia, con las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos, asfálticos y en su caso, aditivos utilizados en la elaboración de la carpeta asfáltica en caliente, no se obtiene una mezcla con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la dependencia, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el contratista las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al contratista.

No se permitirá que los camiones que transportan la mezcla asfáltica, hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida. En el caso de que por algún motivo esta situación llegue a suceder, el contratista reparará inmediatamente los daños causados, por su cuenta y costo.

Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la dependencia, la calidad de la mezcla asfáltica difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la dependencia, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el contratista la corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al contratista.

Una vez compactada la carpeta al 98% de su peso volumétrico compacto Gmb, verificados sus índices de perfil y, en su caso, hechas las correcciones, se volverán a nivelar las mismas secciones determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos, y se medirán, en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la corona, para verificar que esas pendientes y distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la tabla 7.

Tabla 7 - Tolerancias para Líneas y Pendientes.

Característica	Tolerancia
Ancho de la corona, del eje a la orilla	± 1 cm
Pendiente transversal	± 0,5%

6.6.1 El Equipo

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del contratista su selección.

Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la dependencia, el equipo presenta deficiencias mecánicas o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el contratista corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al contratista.

6.6.2. Planta de Mezclado

La mezcla asfáltica en caliente debe fabricarse en plantas de producción continua o discontinua, capaces de manejar en frío, el número de fracciones de agregado que se exija para el cumplimiento del diseño de la mezcla.

El equipo para la elaboración de las mezclas debe reunir las características que aseguren la obtención de la calidad exigida y permita alcanzar una producción horaria mínima para cumplir con el plan de trabajo establecido. Antes de iniciar la producción de la mezcla asfáltica, la planta de asfalto deberá calibrarse "en seco", para que cumpla con la curva granulométrica especificada en la fórmula de trabajo, sin adicionar el cemento asfáltico y verificándose ésta a la salida de la planta.

La planta mezcladora debe de contar como mínimo con:

Tres tolvas para almacenar el material pétreo, protegidas de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos durante quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar los materiales pétreos por tamaños.

Dispositivos que permitan dosificar los materiales pétreos por peso, los dispositivos permitirán un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.

Dispositivos que permitan dosificar el cemento asfáltico, con una aproximación de más menos dos (± 2) por ciento del porcentaje de asfalto establecido en el diseño de la mezcla.

Silo para el almacenamiento del filler de aporte, así como un sistema de dosificación del mismo, cuya operación debe ser independiente del

sistema utilizado para el resto de los agregados y debe proteger el material de la humedad.

Sistema de recuperación de finos (baghouse) para evitar la contaminación y la pérdida de los mismos por la chimenea de la planta. El filler recuperado en el sistema anticontaminante debe ser reingresado a la planta mediante un sistema de retorno que evite al máximo las pérdidas debidas al tiro del secador.

La temperatura de mezclado del cemento asfáltico será la indicada por el proveedor del mismo, siendo ésta la adecuada para cumplir con las especificaciones que exige la Dependencia.

6.6.3 Transporte

El transporte de la mezclas desde la planta hasta el sitio donde se ejecuta a obra, se realizará con camiones de carga de caja lisa y estanca, perfectamente limpia. No se permitirá el rociado de la caja con solventes derivados del petróleo que contaminen la mezcla, como por ejemplo diesel o aceites.

Los camiones deben estar siempre provistos de una lona o cobertor adecuado debidamente ajustado a la caja, que cubra lateral y frontalmente la mezcla y con un solape mínimo de 0.30 m., para proteger la mezcla asfáltica durante su transporte. Esta condición debe observarse independientemente de la temperatura ambiente; no se permite el empleo de coberturas que posibiliten la circulación del aire sobre la mezcla (tipo media sombra o cobertores deteriorados).

La cantidad de camiones disponibles deben ser suficientes para garantizar el transporte de la producción acordada.

6.6.4 Tendido y Compactación.

El equipo utilizado deberá de ser aprobado previamente por la dependencia. La capa de mezcla asfáltica en caliente debe ser colocada sobre capas resistentes y libres de cualquier materia que pudiera contaminarla, mediante barridos vigorosos. La capa donde sea colocada la mezcla asfáltica deberá cumplir con las especificaciones del proyecto, antes del inicio y al tendido de ésta, ya sea sub base, base, carpeta existente o base estabilizada.

Se debe de considerar la utilización del transfer o el silo móvil para evitar el choque entre los camiones y la pavimentadora, así como para homogenizar la mezcla asfáltica.

a) Tendido

La máquina terminadora-pavimentadora figura 6.6.4a, será aprobada por la dependencia considerando que deben de ser autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la capa de carpeta que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta asfáltica, como son: un enrasador o aditamento similar, que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal, ser calentado en caso necesario y proporcionar una textura lisa y uniforme, sin protuberancias o canalizaciones; una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta la mezcla uniformemente frente al enrasador; y sensores de control automático de niveles.



Fig. 6.6.4. a Máquina terminadora-pavimentadora

Los dispositivos externos que se utilicen como referencia de nivel para los sensores de niveles, estarán colocados en zonas limpias de piedras, basura o cualquier otra obstrucción que afecte las lecturas.

b) Compactación

La compactación es un proceso que consiste en comprimir un volumen dado, en uno más pequeño, eliminando así la mayoría de los vacíos de la mezcla y aumentando la densidad. Para este proceso no se permitirá el uso de compactadores remolcados, sólo autopropulsados que podrán ser: tándem de ruedas de acero, ruedas Neumáticas y vibratorios.

En el uso del compactador de rodillos de acero se deberá de mantener la rueda impulsora por delante de la rueda de la dirección sobre todo en la primera pasada, ya que la rueda de dirección al ser peso muerto tiene tendencia a empujar la mezcla causando ondulación.



Fig. 6.6.4. b Máquina Compactadora de Rodillos de Acero

En el caso del compactador de neumáticos, no deberá ser utilizado en las primeras pasadas, ya que la fuerza de compactación es puntual, dejando mal acabado.



Fig. 6.6.4. b Máquina Compactadora de Neumáticos

La cantidad de rodillos debe estar acorde con el ritmo de la obra (al menos dos rodillos por carril) que trabajen en tándem, para que no se produzcan demoras ni enfriamiento de la mezcla antes de su compactación. La compactación se debe completar por lo menos con dos pasadas de los compactadores operando en modo estático, siendo la temperatura de compactación adecuada la recomendada por el proveedor del asfalto modificado con polímero. Se debe de verificar que no haya indicios de trituración del material pétreo.

La capa asfáltica de rodamiento no deberá ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación o si el material no se encuentra por debajo de los 85° C.

6.7 Tramo de Prueba

La construcción del tramo de prueba tiene como objetivos la calibración de la planta, la verificación de que la mezcla definida en el diseño puede ejecutarse, la evaluación del equipo y procedimientos de puesta en obra.

De acuerdo al PA-MA-02/Versión actualizada se deberá realizar un tramo de prueba de 100 metros de longitud, donde se realizarán las siguientes evaluaciones: densidad compactada, ensayo de deformación permanente y ensaye de susceptibilidad a la humedad.

En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con todos los objetivos para los cuales se construye un tramo de prueba, el contratista deberá ejecutar todos los tramos de prueba necesarios hasta cumplir con tales objetivos.

Proceso de Verificación para la Prueba de la Rueda Cargada de Hamburgo



Fig. 6.7.1 Marcando Lugar de Toma de Muestreo.



Fig. 6.7.2 Corte y Extracción de Muestra de Carpeta Asfáltica.

Una vez tendido la carpeta asfáltica en tramo de prueba, se procederá a realizar las pruebas correspondientes, que principalmente es la de La Rueda Cargada de Hamburgo.



Fig. 6.7.3 Concluyendo la Toma de Muestras

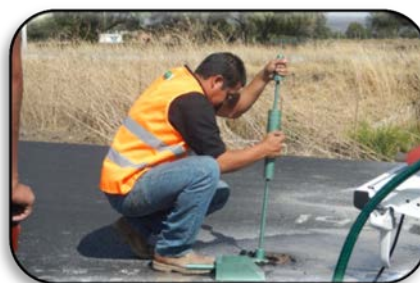


Fig. 6.7.4 Trabajos de Taponeo en Donde se Extrajeron las Muestras de Carpeta Asfáltica

Control de Calidad

Para la realización del control de calidad se deberá seguir el protocolo **AMAAC PA-MA 02/Versión actualizada** titulado “Control de Calidad para Mezclas Asfálticas de Alto Desempeño”. El control de calidad será de acuerdo al nivel de diseño de mezclas seleccionado para el proyecto y aprobado por la dependencia.

El Contratista será la responsable del aseguramiento y control de calidad, y La Dependencia en forma directa o a través de una empresa Supervisora realizará la verificación de calidad, por medio de muestreos y ensaye de materiales.

Las pruebas de verificación de calidad de la mezcla asfáltica serán realizadas en un laboratorio de campo, debiendo completarse en un tiempo razonable. Los procedimientos, tanto de muestreo como los de ensaye, deberán ser los mismos que los utilizados por la empresa Contratista.

La aceptación de la mezcla para la carpeta, de acuerdo a su contenido asfáltico y a su granulometría, podrá ser determinada por la Dependencia de acuerdo al método de muestreo que sea indicado por la misma.

Para la aceptación de tramos terminados además de cumplir con los parámetros de diseño y densidad del 98% del peso volumétrico compacto obtenido en laboratorio, se deberán efectuar pruebas de desempeño en la máquina de simulación de Hamburgo a especímenes extraídos directamente de campo, para garantizar que la mezcla colocada es resistente a las deformaciones permanentes y al daño por humedad conforme a la recomendación AMAAC RA 01/2011.

Si a juicio de la Dependencia es necesario remover las tramos defectuosos que no cumplan con los requerimientos establecidos en el protocolo de control de calidad AMAAC PA-MA 02/Versión actualizada de la carpeta, el Contratista deberá removerlas y reemplazarlas corriendo a cargo del Contratista los costos involucrados, hasta alcanzar los requerimientos marcados en esta especificación particular.

6.8 Requisitos de los Laboratorios de Supervisión y Personal Técnico

Es necesario que se incluya la relación de cada uno de los profesionales técnicos que serán responsables de la supervisión de los trabajos, identificados con los cargos que ocuparán. Los profesionales técnicos deberán de contar con la preparación académica y la experiencia necesaria para desarrollar adecuadamente los trabajos técnicos referentes al control de calidad mediante el Protocolo AMAAC.

Se deberá de contar con laboratorios que presenten todo el equipo necesario que exige la Dependencia para el total cumplimiento de las especificaciones de la mezcla asfáltica de granulometría densa de alto

desempeño, de acuerdo al nivel de diseño que la dependencia solicite y el cual no podrá ser inferior al número dos (2).

El personal técnico tendrá que comprobar que es capaz de ejecutar de manera certera las pruebas que se exigen en la normativa SCT y el PA-MA-02/Versión actualizada. Se podrán programar visitas de verificación de los laboratorios para evaluación del personal equipo e instalaciones.



Fig. 6.8.1 Empresa de Supervisión con su Personal Técnico de Laboratorio y de Topografía.

CONCLUSIONES.

La infraestructura del transporte en México es de gran importancia, como factor que determina el desarrollo económico, pues el bienestar de la nación está muy relacionado con el grado de desarrollo de infraestructura carretera, ésta brinda comunicación permanente entre los centros de las poblaciones, centros de producción y de consumo, facilitando el acceso a diversos servicios entre los más importantes el de la educación y salud.

La infraestructura carretera es sin duda un factor que eleva la competitividad, reduciendo costos y tiempos de transporte, facilita el acceso a mercados e integra cadenas productivas, contribuyendo así a eliminar desequilibrios regionales, al fortalecer la paz social y la seguridad, dándole a todo el país un sentido de unidad.

La Mejora Continua integrada en el desarrollo de la infraestructura de comunicaciones, principalmente en la Carretera sin duda daría excelentes resultados y el crecimiento y desarrollo de la misma se vería realmente beneficiada en un corto plazo. El Protocolo AMAAC es en sí un inicio en el que ya se puede ir viendo un ejemplo pequeño de lo que sería si se aplicara un Protocolo similar pero para proyectos integrales, es decir que abarque desde el diseño del tramo carretero hasta su conclusión del mismo.

En México se tiene una gran necesidad de proyectos carreteros en donde ya se pueden implementar obras que contemplen e implementen a la Mejora Continua como ideología básica en todos los procesos, desde el diseño, licitación y ejecución de los trabajos del proyecto mismo, la Mejora Continua no representaría de ninguna manera gastos millonarios como los que se tienen actualmente al corregir trabajos mal ejecutados por muy diversas causas, más bien detonaría un efecto contrario de gran beneficio para el desarrollo sustentable en toda la Red Carretera Federal Libre de Peaje.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Libro 2, Normas de Servicios Técnicos, Parte 2.01, Proyecto Geométrico, Título 2.01.01, Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F (1984).
2. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), México, D F (1977).
3. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D C (2001).
4. Trazado: Instrucción de Carreteras; Normas 3.1-IC. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones 2000, Series Normativas e Instrucciones de Construcción, Madrid, España (2000).
5. Mendoza D, Alberto, Francisco L Quintero Pereda y Emilio F. Mayoral Grajeda. Consideraciones de Seguridad para el Proyecto Geométrico de Carreteras. Publicación Técnica No 218, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro (2002).
6. Magallanes N, Roberto. La Implicación del concepto de seguridad en el Proyecto Geométrico de Carreteras. Primer Congreso Nacional de Ingeniería Vial, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A C, México, D F (2003).
7. Propuesta reciente de clasificación de carreteras para el Reglamento de Pesos, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F (2003).
8. Asphalt Institute, Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis, Lexington, KY, EUA (Nov. 1994).
9. American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Norma AASHTO M 320-03, Performance Graded Asphalt Binder, Washington, DC, EUA (2003).

-
10. American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHTO MP1, Performance Graded Asphalt Binders, Washington, DC, EUA.
 11. Asphalt Institute, Manual MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Lexington, KY, EUA.
 12. Asphalt Institute, Manual 22 Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements, 2ª ed, Lexington, KY, EUA.
 13. Instituto del Asfalto; Departamento del Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras; e IPC, Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas, Aplicaciones Tecnológicas, Innovaciones a través de Asociaciones, Asphalt Institute, Lexington, KY, EUA (nov 1994).
 14. PEMEX Refinación, Especificaciones y Pruebas para Cementos Asfálticos en la Construcción de Pavimentos, PEMEX, México, DF (1998).
 15. Dirección General de Servicios Técnicos, Propuesta de Actualización de Normas de Calidad para Emulsiones Asfálticas, Subsecretaría de Infraestructura, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, DF (mar 1999).
 16. Memorias del XXIV Congreso Mundial de Carreteras, movilidad sustentable y desarrollo. 26 de septiembre de 2011.
 17. Calidad, productividad y Competitividad. La Salida de la Crisis, W. Edwards Deming. Editorial: Diaz de Santos, S. A. Edición 1986
 18. Calidad y Mejora Continua. Principios para la competitividad y la productividad. Lourdes Munch. Editorial: Trillas. Primera Edición, 2005.
 19. Planificando para la competitividad, la productividad y una posición competitiva. Howards, Gitlow .Editorial: Ventura ediciones, S. A de C. V. Edición. Primera Edición, 1990.

20. Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos; Carlos Crespo Villalaz, Editorial Limusa S. A de C. V, Cuarta Edición 2010 México.

21. Mecánica de Suelos, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos Tomo 2. Eulalio Juárez Badillo - Alfonso Rico Rodríguez, Editorial Limusa S. A de C. V, Segunda Edición 2009 México.

22. Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la construcción y Operación del drenaje y subdrenaje. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 155. Sanfandila, Queretaro, 2000.

Normas de la Secretaria de Comunicaciones y Transporte, elaboradas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

- ⊕ Muestreo de Materiales Asfálticos / M·MMP·4·05·001
- ⊕ Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos / M·MMP·4·05·002
- ⊕ Viscosidad Cinemática de Cementos Asfálticos / M·MMP·4·05·003
- ⊕ Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos / M·MMP·4·05·004
- ⊕ Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos / M·MMP·4·05·006
- ⊕ Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos. / M·MMP·4·05·007
- ⊕ Solubilidad de Cementos y Residuos Asfálticos. / M·MMP·4·05·008
- ⊕ Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos. / M·MMP·4·05·009

-
- ⊕ Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos. / M·MMP·4·05·010
 - ⊕ Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos. / M·MMP·4·05·011
 - ⊕ Destilación de Emulsiones Asfálticas. / M·MMP·4·05·012
 - ⊕ Asentamiento de Emulsiones Asfálticas. / M·MMP·4·05·013
 - ⊕ Retenido en las Mallas N°20 y N°60 en Emulsiones. / M·MMP·4·05·014
 - ⊕ Cubrimiento del Agregado en Emulsiones Asfálticas. / M·MMP·4·05·015
 - ⊕ Miscibilidad con Cemento Pórtland de Emulsiones Asfálticas. / M·MMP·4·05·016
 - ⊕ Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas. / M·MMP·4·05·017
 - ⊕ Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas. / M·MMP·4·05·018
 - ⊕ Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas. / M·MMP·4·05·019
 - ⊕ Punto de Inflamación Tag en Asfaltos Rebajados. / M·MMP·4·05·020
 - ⊕ Destilación de Asfaltos Rebajados. / M·MMP·4·05·021