



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA ESTACIÓN DON-NAVOJOA, SUBTRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA: JUSTINO GARCIA MANCINAS

ASESOR DE TESIS: DR. MARIO SALAZAR AMAYA

MORELIA, MICHOACAN

ABRIL 2019



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres: Justino García Nava y María Magdalena Mancinas Corral por la educación y los valores que me inculcaron, por su esfuerzo constante durante muchos años para hacer de mí su hijo una persona de bien y los cuales me inculcaron el valor del trabajo y sacrificio para lograr ser destacado en la vida y en éste camino que decidí tomar que es ser orgullosamente Ingeniero Civil.

Agradezco a mis hermanos: Ivonne, Felipe, Bárbara, Alma e Iván por su constante apoyo, consejos y su fé en mi.

Agradezco a mis hijos: Anely, Aarón, Vanesa, Itzel y Bárbara pues son el motor para seguir buscando día a día el bienestar constante mediante ésta bonita profesión que elegí.

Agradezco a mis grandes amigos de la escuela y muchos de ellos de la vida. Gracias por su apoyo y por estar ahí siempre.

Agradezco a la UMSNH, a la FIC y a todos mis profesores por sus conocimientos compartidos.

Agradezco al Dr. Mario Salazar Amaya por la asesoría prestada y su ayuda desinteresada para lograr al fin mi sueño.

Agradezco a toda la gente que estuvo dispuesta a ayudarme incondicionalmente a lo largo de toda mi vida.



Í N D I C E

RESUMEN.....	Pág. 4
ABSTRACT.....	Pág. 5
INTRODUCCION.....	Pág. 6
CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....	Pág. 9
CAPÍTULO II GENERALIDADES DEL TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.....	Pág. 15
CAPÍTULO III PROYECTO EJECUTIVO DE REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO.....	Pág. 31
CAPÍTULO IV ALTERNATIVAS DE REHABILITACION.....	Pág. 46
CAPÍTULO V PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....	Pág. 48
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	Pág. 55
CAPITULO VII BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 57
CAPITULO VIII ANEXOS.....	Pág. 58



RESUMEN

Los pavimentos con el transcurso del tiempo, sufren una serie de fallas o deterioros que al manifestarse en la superficie de rodadura disminuyen su capacidad para proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario. Las fallas y deterioros son producidos por la repetición continua de cargas, debidos a las condiciones propias de la estructura del pavimento y de la acción de los agentes climáticos.

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodadura es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción para su arreglo. Por ello, es lógico que una gran parte del esfuerzo en la conservación de carreteras se dedique a estas labores.

El objetivo principal de la conservación es garantizar el tránsito, la seguridad y el confort de los usuarios del camino, durante cualquier época del año.

Se realizan tres tipos de acciones para conservar las carreteras en óptimas condiciones como son el mejoramiento superficial, la rehabilitación y la reconstrucción lo cual se determina con el grado de daño ocasionado a la carretera en cuestión; por lo que se llevan a cabo trabajos de evaluación de pavimentos, estudios y proyectos y por último el dictamen técnico; y así determinar las alternativas de rehabilitación adecuadas. Dentro de las acciones necesarias se debe tomar en cuenta el incremento del tránsito vehicular, la clasificación vehicular y las cargas que transitan por el tramo en cuestión y el costo económico que se requiere y que pueda ser factible de aplicar con la finalidad de darle una larga vida útil a la estructura y superficie de rodamiento del pavimento de acuerdo a las necesidades inmediatas. Es importante mencionar que son carreteras en operación y así se deben mantener durante los trabajos de conservación que se realicen por lo que se deben optimizar los procesos constructivos y de seguridad con lo que se reducirán los tiempos de ejecución y provocar las menores afectaciones al usuario, a la sociedad y a la economía de la región.

Palabras clave: sonora, carretera, rehabilitación, autopista, tránsito.



ABSTRACT

The pavements with the course of time, suffer a series of failures or deteriorations that when manifesting in the surface of tread diminish their capacity to provide a comfortable and safe transit to the user. Faults and deteriorations are produced by the continuous repetition of loads, due to the conditions of the pavement structure and the action of climatic agents.

Considering that, of all the elements that constitute a road, the rolling surface is what most determines the possibility of a fast, comfortable and safe transit, it will be important to correct their deterioration in a timely manner to prevent them from progressing and requiring reconstruction for your arrangement. Therefore, it is logical that a large part of the effort in road conservation be devoted to these tasks.

The main objective of conservation is to guarantee transit, safety and comfort for road users, during any time of the year.

Three types of actions are carried out to conserve roads in optimal conditions such as surface improvement, rehabilitation and reconstruction, which is determined by the degree of damage caused to the road in question; therefore, works of pavement evaluation, studies and projects are carried out and finally the technical opinion; and thus determine the appropriate rehabilitation alternatives. Among the necessary actions should be taken into account the increase of vehicular traffic, vehicle classification and loads that transit through the section in question and the economic cost that is required and that may be feasible to apply in order to give a long Useful life to the structure and bearing surface of the pavement according to immediate needs. It is important to mention that they are in operation and that way they must be maintained during the conservation works that are carried out, so that the construction and security processes must be optimized, which will reduce the execution times and cause the minor damages to the user, to society and the economy of the region.



INTRODUCCION

Los pavimentos con el transcurso del tiempo, sufren una serie de fallas o deterioros que al manifestarse en la superficie de rodadura disminuyen su capacidad para proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario. Estas fallas y deterioros son producidos por la repetición continua de cargas, debidos a las condiciones propias de la estructura del pavimento y de la acción de los agentes climáticos.

Actualmente se ha correlacionado el índice de servicio actual (ISA) con un indicador denominado “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), que se obtiene con equipos de alto rendimiento y que recorren la carretera a la velocidad de operación, existiendo varios equipos con los que se puede obtener este indicador. En México la SCT ha establecido un valor de aceptación del IRI aplicable a la etapa de auscultación de pavimentos, el cual debe ser menor de 2.8 cm/km. Cuando los pavimentos tienen valores de IRI por arriba de este valor, se considera que requieren alguna acción de conservación para mejorar este indicador. A través del ISA se puede observar la tendencia típica en que un pavimento va reduciendo su nivel de servicio, con respecto al tiempo, por efecto de su “degradación”.

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodadura es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción para su arreglo. Por ello, es lógico que una gran parte del esfuerzo en la conservación de carreteras se dedique a estas labores.

El objetivo principal de la Conservación es garantizar el tránsito, la seguridad y el confort de los usuarios del camino, durante cualquier época del año.

Se describen a continuación las aplicaciones típicas de los tres tipos de acción de conservación para pavimentos:

Mejoramiento Superficial

Esta acción de conservación se aplica cuando el pavimento presenta fallas de tipo funcional. Es decir, cuando los deterioros que presente el pavimento sólo afectan a la capa de rodadura y se requiere efectuar algún trabajo superficial para corregir las fallas observadas y mejorar las características de funcionalidad de la carretera.

Rehabilitación

Las acciones de rehabilitación se aplican para corregir fallas de tipo estructural en el pavimento, requiriéndose aumentar la capacidad de soporte para un nuevo periodo de vida útil, mediante el tratamiento de alguna capa existente en el pavimento para mejorar su resistencia y generalmente sustituyendo la capa de rodadura existente con una nueva capa.



Una particularidad de la rehabilitación es que sólo se trata de aumentar la capacidad estructural del pavimento existente y dotarlo de una nueva capa de rodadura para mejorar su funcionalidad superficial.

Para ello se realiza una auscultación del pavimento existente y de sus condiciones de drenaje, una serie de estudios para evaluar su capacidad estructural, su vida remanente y cuando menos tres opciones de rehabilitación, aplicando cuando menos dos métodos de diseño para analizar cada una de las alternativas propuestas. Se selecciona la alternativa más conveniente, con base en un análisis de viabilidad técnica y de costos, y finalmente se formula el proyecto para definir la ejecución de los trabajos y sus especificaciones de calidad.

Reconstrucción

Cuando un pavimento tiene una capacidad estructural muy deficiente y quizás también esté desplantado sobre terracerías de mala calidad, se requerirá construir una nueva estructura mejorando si es necesario la capa sub-rasante o las capas superiores de las terracerías, para un nuevo periodo de vida de servicio.

En seguida se citan las etapas y los trabajos para la conservación de los pavimentos:

- Evaluación de pavimentos
- Estudios y Proyectos
- Dictamen Técnico

Describiremos brevemente los trabajos que se realizarán en cada una de las etapas mencionadas:

Para la EVALUACION DE PAVIMENTOS se realizan trabajos de determinación de índice de servicio actual, mediante recorrido por un grupo de técnicos utilizando un vehículo a velocidades de operación y/o mediante el Perfilógrafo de California, el levantamiento de deterioros se hace mediante recorridos a pie llenando los formatos requeridos, con un equipo "GERPHO" o con un vehículo multifunción, se revisa la regularidad superficial o revisión de roderas utilizando una regla metálica de 3.0 metros en sentido transversal y longitudinal o mediante un vehículo multifunción, se revisa la resistencia al derrapamiento mediante un equipo medidor de fricción MuMeter, se revisa la capacidad estructural mediante la viga benkelman o el deflectómetro de impacto.

Se realizan sondeos a cielo abierto para determinar los espesores de las distintas capas de la estructura del pavimento, grados de compactación y calidad de los materiales, las condiciones del drenaje y sub drenaje, se lleva a cabo con un levantamiento topográfico mediante secciones transversales, se realiza un levantamiento del estado del señalamiento existente vertical y horizontal.

Para la realización de los ESTUDIOS y PROYECTOS se hace el análisis del pavimento existente, las delimitaciones de tramos homogéneos, el análisis del tránsito mediante aforos vehiculares, análisis de condiciones ambientales y topográficas del entorno mediante el uso de las cartas del INEGI. Se determina la definición de las opciones de conservación utilizando todos los datos obtenidos, se realiza el análisis estructural del pavimento



mediante distintos métodos ya existentes como puede ser el de la UNAM y/o el del INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO, se definen los costos económicos que conlleva cada una de las alternativas, se analiza el costo-beneficio de las distintas alternativas propuestas, se selecciona la propuesta de rehabilitación más viable, se revisa tanto el drenaje superficial como el sub drenaje y se determina si hay alguna afectación que incida en el comportamiento del pavimento y se realizan los trabajos necesarios para evitarlo, se hace una revisión del alineamiento vertical y horizontal; sin embargo, como ya son caminos en uso u operación el trazo horizontal no tendrá cambios.

El DICTAMEN TÉCNICO integra los procedimientos de ejecución, especificaciones particulares y generales apegándose a las normas de la SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, determinación de volúmenes de rehabilitación y de señalamiento vertical y horizontal, catálogo de conceptos y presupuesto base.

Mediante la aplicación de lo antes citado se realizó el estudio de las Alternativas de Rehabilitación que integran el tema de Tesis presentado.



CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

I.1 UBICACIÓN.

Los ejes federales que recorren el estado de Sonora están enmarcados con los números 2, 8, 15 y 16. El eje número 2 cruza el Norte de Sonora en forma paralela a la línea fronteriza, desde Agua Prieta hasta San Luís Río Colorado; enlazando de Oriente a Poniente las ciudades de Cananea, Imuris, Magdalena de Kino, Altar, Caborca y Sonoyta.

Por otro lado, la carretera federal número 16, perpendicular a la número 15, atraviesa la abrupta Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua a Bahía de Kino, por Yécora, San Nicolás, Tonichi, San Javier, la Colorada y Hermosillo. La carretera número 8 comunica Sonoyta y Puerto Peñasco, que cruza el desierto de Altar y entronca en Sonoyta con la carretera número 2.

De estos ejes con excepción de la carretera número 8, se desprenden una serie de ramales y carreteras estatales, entre estas últimas se encuentra: la carretera de Hermosillo– Agua Prieta, Vía Ures, Moctezuma, Cumpas, Nacozari de García y fronteras; y la carretera que parte de Cananea pasa por Bacoachi, Arizpe, Banámichi, Aconchi, Baviácora y converge con la anterior en Mazocahui.

La carretera número 15, que es la de interés para la realización del estudio denominada México – Nogales, recorre a partir del Distrito Federal zonas de los estados de México, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora. En este último comunica las porciones Sur-occidental y Centro Norte, con un relieve predominantemente llano.

El tramo de la autopista Estación Don - Guaymas se encuentra en el estado de Sonora y cruza de Norte a Sur, pasando ciudades importantes como Navojoa, Ciudad Obregón, Empalme y Guaymas.



GRÁFICA No. 1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRAMO DE ESTUDIO



Las coordenadas geográficas del estado de Sonora son: 32° 29' latitud Norte, longitud Sur 26° 18', al Este 108° 25', al Oeste 115° 03' de longitud, y de las principales ciudades del estado son: Navojoa 27° 05' latitud Norte, longitud Oeste 109° 27' y altitud 40 m.s.n.m., de Ciudad Obregón con coordenadas geográficas de 27° 29' latitud Norte, longitud Oeste 109° 56' y altitud de 40 m.s.n.m., Empalme, 27° 58' latitud Norte y longitud Oeste 110° 49' y 10 m.s.n.m. Guaymas con coordenadas geográficas entre los 27° 55' de latitud Norte, longitud



Oeste 110° 54' y altitud de 10 m.s.n.m., El estado de Sonora representa 9.2 % de la superficie total del país.

Sonora colinda al Norte con Estados Unidos de América **al Este** con Chihuahua y Sinaloa; **al Sur** con Sinaloa y el golfo de California; **al Oeste** con el golfo de California y Baja California.

I.2 GEOLOGÍA

La gran diversidad de formas que presenta el relieve de México, hace que sea uno de los países del mundo con mayor número de características y variedades topográficas contrastantes y heterogéneas y poseedor de un gran potencial en recursos naturales. Las diversas conformaciones topográficas, características climáticas, tipo de suelo y vegetación, desempeñan un papel importante en las actividades económicas y sociales del país y a su vez inciden en las actividades agrícolas, ganadera, forestales, así como en los asentamientos humanos.

El territorio sonorense tiene una historia geológica bastante compleja. En él acontecieron varios eventos geológicos que dieron lugar a una diversidad de unidades litológicas, las cuales, por medio de los fenómenos naturales como movimientos tectónicos, vulcanismo, erosión y depósito sucedidos a través del tiempo, han transformado su estructura original y modelada el paisaje.

I.3 CLIMA.

El país cuenta con una gran diversidad de climas; determinado por varios factores entre los que se encuentran la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. El clima de manera muy general puede clasificarse según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en húmedo, subhúmedo, seco y muy seco. El clima cálido se subdivide en dos cálido húmedo y cálido subhúmedo y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C y precipitaciones de 2000 a 4000 mm anuales, por otra parte el clima cálido subhúmedo registra precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y temperaturas que oscilan de 22°C y 26°C, con regiones en donde superan los 26°C. El clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende el 28.3% del territorio nacional; se caracteriza por la circulación de los vientos, lo cual provoca escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° C. El clima muy seco registra temperaturas en promedio de 18° a 22° C, con casos extremos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8% del país.



En el territorio sonorense el clima va de seco aproximadamente en 95% de su territorio, a semi-seco; caracterizándose esta región por su alta temperatura y escasa precipitación. Otro factor que también contribuye es la ubicación del estado dentro de la faja subtropical de alta presión, donde se originan los climas tropicales, que consisten en vientos descendentes frescos y secos los cuales no producen condensación en su seno. Como consecuencia de lo anterior, es aquí donde se localiza la zona más árida del país: el desierto de Altar.

I.4 FISIOGRAFÍA.

El territorio del estado de Sonora comprende áreas que corresponden a cuatro provincias o regiones fisiográficas del país: desierto Sonorense en el Noroeste y Oeste; Sierra Madre Occidental en la parte Oriental; sierras y llanuras del Norte en la porción boreal y llanura costera del pacífico en el sur. La provincia del desierto sonorense es compartida con el estado de Arizona, E.U. Sonora adopta la forma de una cuña orientada hacia el sur; colinda en el extremo noroeste con la península de Baja California, hacia el oriente con la Sierra Madre Occidental y en su extremo sur con la llanura costera del Pacífico.

Gran parte de su extensión consta de sierras bajas paralelas de bloques fallados orientadas burdamente Nornoroeste – Sursureste, y separadas una de otras por llanuras cada vez más amplias y bajas hacia el golfo de California; en el desierto de altar domina la vegetación de desiertos arenosos, en el resto de la región se encuentran matorrales, así como matorral desértico y mezquital.

I.5 HIDROLOGÍA.

En el estado de Sonora las principales corrientes superficiales están distribuidas en el Noroeste, Este y Sur. Los escurrimientos son aprovechados mediante presas que se emplean para el control de avenidas, generación de energía, riego y abrevadero. En la porción Noroeste el clima es muy seco y no permite la formación de corrientes perenes, aunque existen varias intermitentes; por esto el agua subterránea es de suma importancia para el desarrollo de las actividades agrícolas. La sobre explotación y la falta de recarga en los acuíferos de la zona costera están provocando el abatimiento de los mismos; debido a lo anterior en algunos de ellos hay intrusión de agua salada.

I.5.1 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

En el estado de Sonora se presentan cinco regiones hidrológicas.

En la siguiente gráfica se presentan dichas regiones hidrológicas, así como las cuencas a las que corresponden cada una de ellas y el porcentaje que ocupan de la superficie estatal:

**GRÁFICA No. 2 REGIONES HIDROLÓGICAS**

REGIÓN HIDROLÓGICA	%	CUENCA	%
RÍO COLORADO RH-7	2.81	(A) BACANORA-MEJORADA	2.81
SONORA NORTE RH-8	30.70	(A) R. SAN IGNACIO Y OTROS	4.59
		(B) R. CONCEPCIÓN-A. COCÓSPERA	14.25
		(C) DESIERTO DE ALTAR-R. BÁMORI	11.86
SONORA SUR RH-9	63.64	(A) R. MAYO	7.03
		(B) R. YAQUI	29.98
		(C) R. MÁTAPE	5.03
		(D) R. SONORA	14.78
		(E) R. BACOACHI	6.82
SINALOA RH-10	2.35	(G) R. FUERTE	1.38
		(H) ESTERO DE BACOREHUIS	0.97
CUENCAS CERRADAS DEL NORTE RH-34	0.50	(D) R. CASAS GRANDES	0.50



I.5.2 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.

La falta de agua en el estado, ha generado la instalación de obras hidráulicas, así como la extracción de éste recurso de los mantos acuíferos. Del volumen extraído 93% se utiliza para agricultura, 4.8% en empleo doméstico y comercial, 1.5% en la industria y 0.7% en pecuario, recreativo, etcétera.

I.6 DRENAJE Y SUBDRENAJE

Todas las corrientes que surcan el área en estudio las constituyen corrientes del tipo intermitentes y perenes, pertenecen a la vertiente del Golfo de California y presentan buena integración; en la mayoría de los sistemas de avenamiento el arroyo de mayor grado está orientado Noroeste – Sureste o Norte – Sur, en las partes elevadas el control principal lo ejerce el fracturamiento de la roca, en los valles las corrientes, al parecer, sólo están controladas por la pendiente y se pueden clasificar como consecuentes.

Los principales ríos afluentes son; el principal Río Yaquí, Río Mayo, Río Cedro, Río Oteros, Río Chinipas y Río Septentrión. A lo largo de la autopista Estación Don – Nogales; en el subtramo Libramiento Guaymas; no se localizan sub-drenajes debido a que esta zona es demasiado árida.



CAPÍTULO II

GENERALIDADES DEL TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS

El crecimiento demográfico acelerado e irregular que presenta el estado de Sonora, ha provocado grandes problemas en la calidad de los diferentes servicios dentro de los que destacan las comunicaciones terrestres a través de las carreteras; razón por la cual en los últimos años Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) ha iniciado la rehabilitación y conservación de las diferentes autopistas a través del Programa Nacional para la Rehabilitación de la Red de Autopistas conforme a las disposiciones contempladas por la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas. Para este caso en particular se estudiará la Autopista Estación Don – Navojoa, subtramo Libramiento Guaymas para proponer diferentes alternativas de rehabilitación de la misma.

Por lo que será necesario describir la integración del proyecto ejecutivo necesario para realizar la correspondiente rehabilitación de la Autopista; por lo que se realizaran diversas actividades como son: estudios de campo, pruebas de laboratorio, diseño y evaluaciones económicas, etc. Dentro del apartado de Estudios se requiere un estudio de evaluación de pavimento y proyecto de rehabilitación para la Autopista Estación Don – Navojoa subtramo Libramiento Guaymas, con la finalidad de determinar la estructura del pavimento que soporte las cargas impuestas por el tránsito de vehículos ligeros y pesados para una vida útil del pavimento de quince años.

II.1 ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN.

En las últimas décadas se ha observado un crecimiento acelerado de la población en el país. Éste fenómeno se ha acrecentado provocando grandes problemas en la calidad de los diferentes servicios en los que destacan las comunicaciones terrestres a través de las carreteras. Por lo anterior fue necesario la construcción y conservación de la autopista Estación Don-Nogales como a continuación se describe:

Autopista estación Don – Nogales se inició a construir en Abril de 1985 y concluyó en el año de 1991. Debido a la topografía del estado no se requirieron de grandes terraplenes ni de grandes cortes ya que el trazo de la autopista fue sobre grandes llanuras excepto el tramo de Hermosillo – Nogales en el cual se encuentran lomeríos suaves.



La obra duró 6 años. Cabe mencionar que únicamente se construyó un cuerpo, tomando como cuerpo existente lo que anteriormente era la carretera internacional autopista Estación Don – Nogales. Los procedimientos constructivos fueron diferentes, hubo tramos en los cuales se colocaron espesores de carpeta de 5.0 centímetros, base hidráulica de 15.0 centímetros, sub-base de 20.0 centímetros y subrasante de 30.0 centímetros, en otros tramos se alojaron espesores de 30.0 centímetros de subrasante, 20.0 centímetros de sub-base, 20.0 centímetros de base hidráulica y 5.0 centímetros de carpeta asfáltica, y por último en otros tramos se colocaron espesores de 30.0 centímetros de subrasante, 20.0 centímetros de base hidráulica y 5.0 centímetros de carpeta asfáltica.

Con el paso del tiempo se incrementó el flujo vehicular y después de algunos años de operación la autopista sufrió daños severos. Durante este periodo estuvo a cargo de la empresa concesionada que la construyó y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; quienes a su vez únicamente realizaron trabajos de conservación de bacheo superficial en tramos aislados, calafateo de grietas transversales y longitudinales, reparación de baches y riego de sello sobre la superficie de rodamiento.

Posteriormente la autopista paso a formar parte del organismo descentralizado de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), siendo este organismo quien ha realizado diferentes trabajos de conservación en el tramo en estudio como: renivelación de la superficie de rodamiento, sobre-carpeta y recuperación del pavimento con una sobre carpeta. Los sub-tramos a los que se dio conservación y mantenimiento son los siguientes:

- 1.- De Ciudad Obregón – Guaymas del km.15+000 al km. 51+000 cuerpo “A” el tipo de trabajo realizado consistió en la recuperación de carpeta asfáltica existente y tendido de carpeta; del Km. 51+000 al km. 75+000 cuerpo “A” se realizaron trabajos de renivelación.
- 2.- De Navojoa – Ciudad Obregón del Km.190+000 al km. 209+000 cuerpo “A” el tipo de trabajo realizado fue renivelación y del km.169+200 al km 222+000 cuerpo “B” los trabajos ejecutados consistieron en la recuperación de la carpeta asfáltica existente y una sobre carpeta.
- 3.- De Estación Don-Navojoa del Km. 68+900 al km. 80+000 cuerpo “A” el tipo de trabajo realizado consistió en una sobre carpeta de 2.0 cm de espesor.



4.- De Estación Don - Navojoa del Km. 68+900 al km. 105+740 cuerpo "A" y del km. 93+700 al km.91+995 cuerpo "B" el tipo de trabajo realizado fue recuperación de la superficie de rodamiento y colocación de sobre carpeta asfáltica.

II.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

En el tramo de la autopista Estación Don – Navojoa el ancho del cuerpo "A" cada carril tiene una dimensión de 3.60 metros y un acotamiento de 0.80 metros de cada lado; en el cuerpo "B" el ancho de cada carril es de 3.20 metros con un ancho de acotamiento de 0.30 metros. La longitud de este tramo es de 186.16 kilómetros. En este tramo se encuentra el Libramiento Guaymas en el cual nos enfocaremos para objeto de este trabajo.

II.3 TOPOGRAFÍA

En el tramo de la autopista Estación Don – Guaymas en los sub-tramos de Estación Don – Navojoa, Navojoa - Cd. Obregón y en Libramiento Guaymas, sub-tramo de CD. Obregón – Guaymas se localiza lomeríos suaves.



II.4 DATOS DEL TRAMO EN ESTUDIO

II.4.1 DATOS GENERALES

AUTOPISTA: Estación Don – Navojoa

CLAVE: 16

RED: FARAC

SUBTRAMO: Libramiento Guaymas

Kilómetro inicial: 0+000

Kilómetro final: 21+950

Longitud total: 21.95 km

Sentido 1: 2 carriles

Sentido 2: 2 carriles

II.4.2 DATOS DE MEDICIÓN

Fecha: 14 de agosto del 2002

Kilómetro inicial: 0+000

Kilómetro final: 21+950

Longitud: 21.95 km

II.4.3 DATOS PROPORCIONADOS POR SCT

IRI Ponderado Global: 2.60 m/km

Tramos de 1 km con IRI \leq 2.81 m/km: 68.61 %

PR Ponderado Global: 0.51 mm

Tramos de 1 km con PR \leq 15 mm: 100 %

Tramos de la Autopista con IRI $>$ 2.81 m/km y PR $>$ 15 mm: 0 %

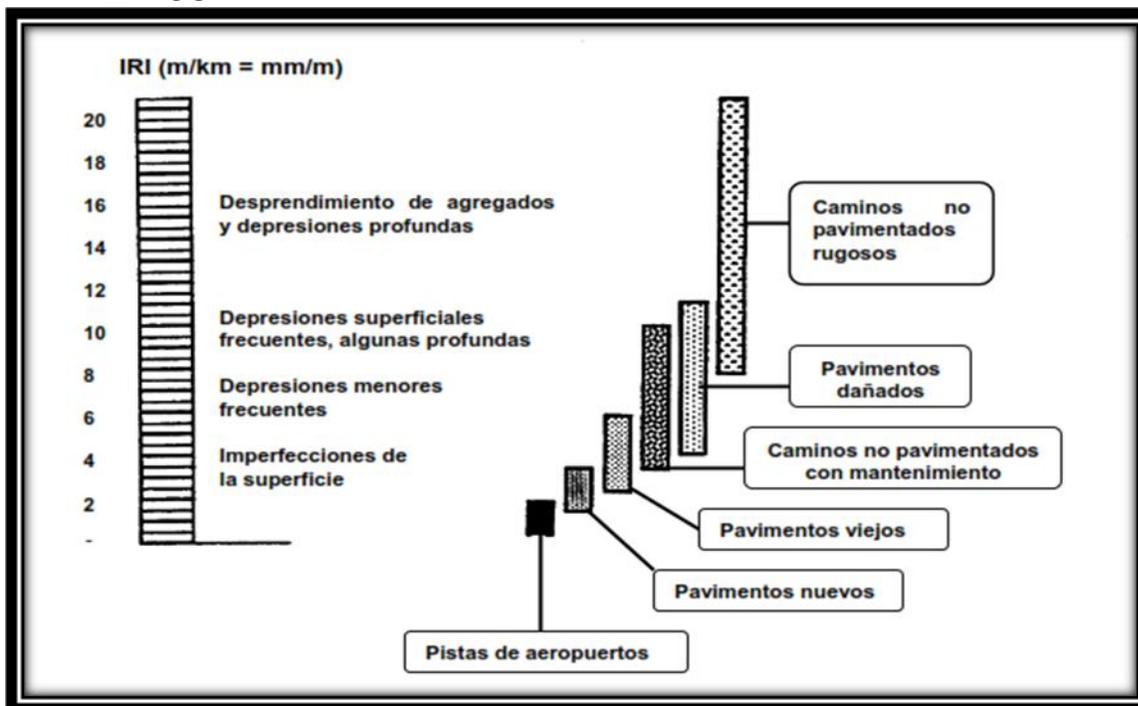
II.5 CALIFICACIÓN INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

La Subdirección de Conservación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes proporcionó la información de Índice de Rugosidad Internacional (I R I) obtenida en la autopista Estación Don – Navojoa en Agosto del 2017. En el subtramo Libramiento Guaymas el IRI ponderado global es de 2.68 m/Km., es decir menor que 2.81 m/km y el IRI ponderado global de 0.51 mm menor que 15.0 mm.

GRÁFICA No. 3 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS

No	DEL km	AL km	IRI (m/km)			PR (mm)		
			SENTIDO 1	SENTIDO 2	PROMEDIO	SENTIDO 1	SENTIDO 2	PROMEDIO
1	0.00	10.00	2.98	2.71	2.85	0.75	0.33	0.54
2	10.00	21.95	2.42	2.35	2.39	0.44	0.54	0.49
PROMEDIO PONDERADO GLOBAL			2.68	2.52	<u>2.60</u>	0.58	0.44	<u>0.51</u>

GRÁFICA 4. ESCALA DE VALORES DEL IRI Y LAS CARACTERISTICAS DE LOS PAVIMENTOS.





II.6 ESTADO FISICO DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO DEL SUBTRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.

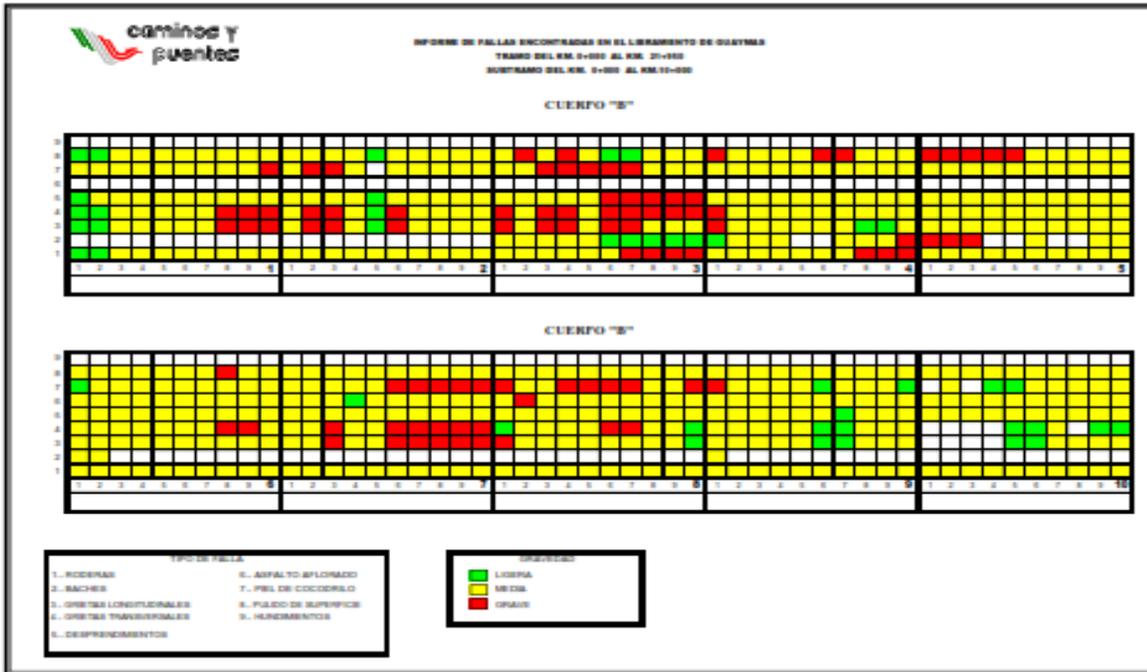
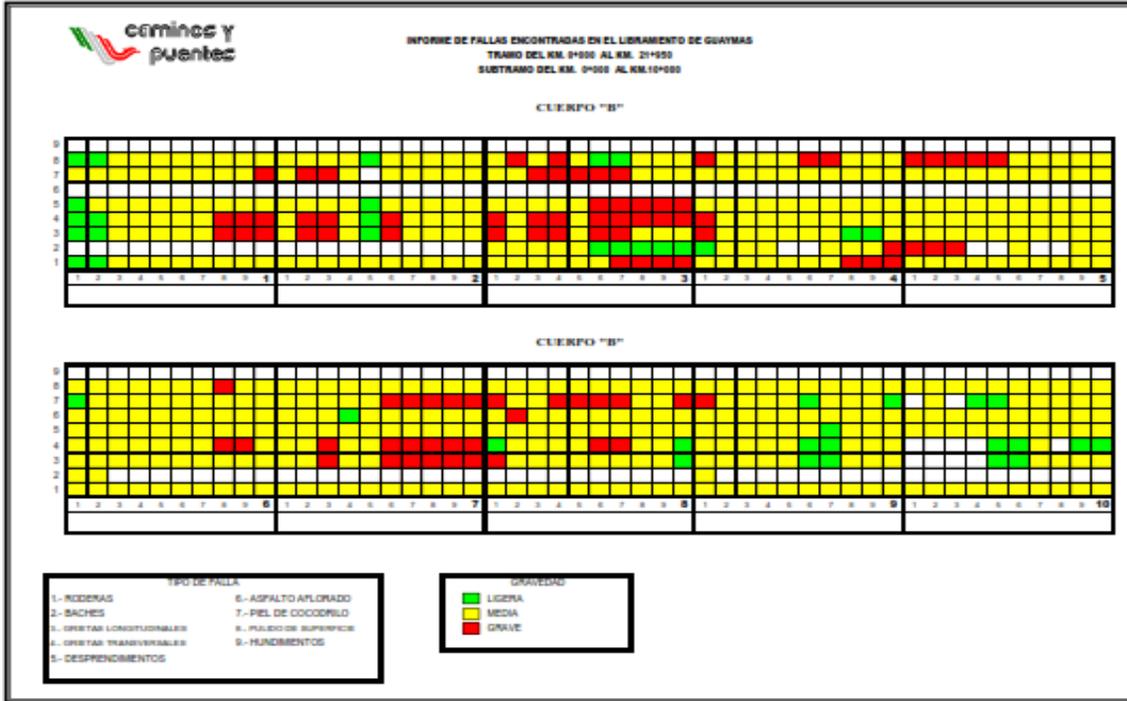
Se llevó a cabo un levantamiento de deterioros el cual se determinan los tipos de daños y gravedad de la superficie de rodamiento con la finalidad de revisar las condiciones actuales y determinar los lugares críticos y de esta manera ubicar los sondeos a cielo abierto y las mediciones con viga Benkelman. El levantamiento de deterioros se realizan en sub-tramos de 100 m. hasta completar tramos de 1.0 km.

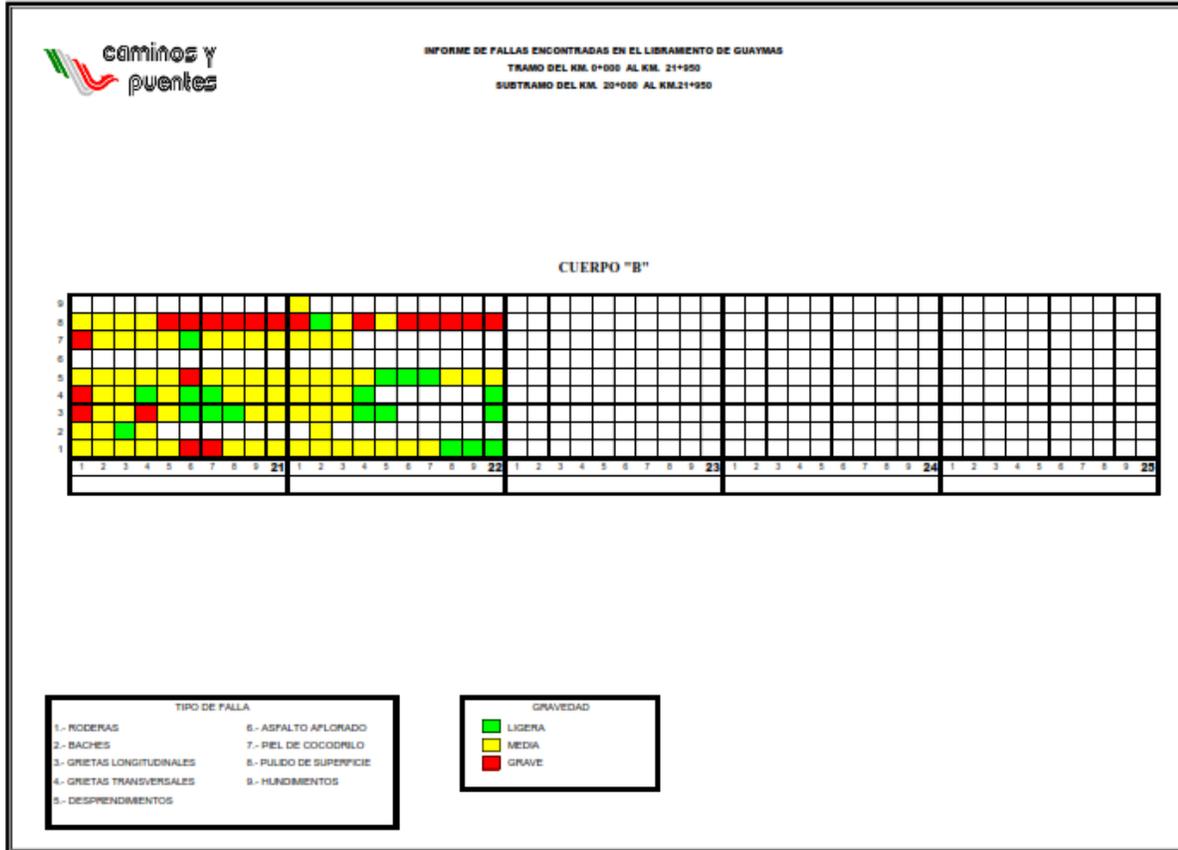
Durante el levantamiento de deterioros se revisó superficialmente la carpeta asfáltica para detectar todos los daños que presenta la superficie de rodamiento como son: roderas, desprendimientos, asfalto aflorado, piel de cocodrilo, baches, grietas longitudinales, grietas transversales, pulido de la superficie y hundimientos. Estos daños se calificaron como de gravedad ligera, gravedad media y grave.

Para apoyar el levantamiento de daños se realizó un informe fotográfico, en el cual de una manera muy clara se ilustran las fallas que se presentan en la superficie de rodamiento.
ANEXOS FOTOGRAFIAS.

A continuación se presenta el resumen del levantamiento de daños.

GRÁFICA No. 5 DETERIORO Y DAÑOS DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.







II.7 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO

A continuación se explican las fallas presentadas en la superficie de rodamiento de acuerdo al levantamiento de daños realizado.

II.7.1 RODERAS.

Son depresiones a lo largo de las rodadas o zonas en las cuales se concentran las cargas transmitidas por los neumáticos de los vehículos a las diferentes capas de la estructura del pavimento. En general las roderas son indicativas de deficiencia estructural del pavimento; por ejemplo la baja compactación en cualquiera de las capas.

II.7.2 BACHES REPARADOS.

Son reparaciones realizadas en el pavimento existente que previamente ya presentaba oquedades y desprendimiento de la carpeta asfáltica existente y que con nuevos materiales se reparan estas oquedades o desprendimientos; esta falla se origina por diversas causas como la compactación baja en la base hidráulica, exceso de humedad o consolidación de los materiales, por citar algunas.

II.7.3 GRIETAS LONGITUDINALES.

Son aberturas paralelas al eje longitudinal de la superficie de rodamiento; se originan por el mal tratamiento de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica, por contracción o por reflexión.

II.7.4 GRIETAS TRANSVERSALES.

Son aberturas perpendiculares al eje longitudinal de la superficie de rodamiento; originalmente se producen por la acción de las cargas del tránsito vehicular.

II.7.5 DESPRENDIMIENTOS.

Es el desgranamiento del concreto asfáltico, debido a la pérdida de adherencia con el asfalto, ya sea por endurecimiento del asfalto o por baja calidad de la mezcla, además, puede ser ocasionado por cierto tipo de vehículos (por ejemplo, tractores de oruga), derrame de gasolina o diésel.



II.7.6 ASFALTO AFLORADO O LLORADO

Se forma una lámina o película de asfalto en la superficie del pavimento con aspecto brillante, vítreo y reflejante, la cual comúnmente se vuelve pegajosa. Se origina por exceso de asfalto en la mezcla, por la aplicación sobrada de riegos de sellos y/ o por un bajo porcentaje de vacíos del agregado pétreo en la carpeta asfáltica. El asfalto llena dichos vacíos y el sobrante asciende a la superficie en la temporada de calor; desafortunadamente, este proceso es irreversible, por lo que se produce una acumulación gradual de asfalto en la superficie de rodamiento.

II.7.7 PIEL DE COCODRILO.

Este defecto, también conocido como agrietamiento por fatiga, consiste en una serie de grietas interconectadas o poliédricas severas con tendencia al desprendimiento y que se originan por la fatiga del concreto asfáltico bajo la repetición de cargas vehiculares. Las grietas se empiezan a formar en la parte inferior de la capa, en donde el esfuerzo y la deformación de tensión alcanzan valores máximos. Posteriormente las grietas se extienden a la superficie inicialmente en la forma de una serie de grietas paralelas longitudinales, después las grietas se interconectan formando contornos poligonales de ángulos agudos, cuyo patrón semeja la piel de cocodrilo.



GRÁFICA No. 6 TIPOS Y MANIFESTACIONES DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

TIPO	MANIFESTACIÓN	CAUSAS
FRACTURAMIENTO	AGRIETAMIENTO DESTRUCCION POR AGRIETAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EXCESO DE CARGA (INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL). ▪ REPETICION DE CARGA (FÁTIGA). CAMBIOS DE TEMPERATURA. ▪ CAMBIOS DE HÚMEDAD (DEFECTO CONSTRUCTIVO) ▪ ONDULAMIENTO POR FUERZAS HORIZONTALES ▪ DEFICIENCIA ESTRUCTURAL O DEFECTO CONSTRUCTIVO. ▪ CONTRACCIÓN. ▪ EXCESO DE CARGAS (INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL). ▪ REPETICIÓN DE CARGA (FÁTIGA). ▪ CAMBIOS DE TEMPERATURA. ▪ CAMBIOS DE HÚMEDAD (DEFECTO CONSTRUCTIVO).
DEFORMACIÓN	DEFORMACION PERMANENTE FALLAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EXCESO DE CARGA (INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL). ▪ PROCESO DE DEFORMACIÓN VISCOSA (FÁTIGA, INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL Y DEFECTO CONSTRUCTIVO). ▪ AUMENTO DE COMPACIDAD (DEFECTO CONSTRUCTIVO, RUPTURA DE GRANOS). ▪ CONSOLIDACIÓN. ▪ EXPANSIÓN. ▪ EXCESO DE CARGAS (INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL). ▪ AUMENTO DE COMPACIDAD (DEFECTO CONSTRUCTIVO, RUPTURA DE GRANOS). ▪ CONSOLIDACIÓN. ▪ EXPANSIÓN.
DESINTEGRACIÓN (FALLA DE CARPETA)	REMOCIÓN DESPRENDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PÉRDIDA DE ADHERENCIA EN LA CARPETA. ▪ REACTIVIDAD QUÍMICA. ▪ ABRASIÓN POR EFECTO DEL TRÁNSITO. ▪ PÉRDIDA DE ADHERENCIA EN LA CARPETA. ▪ REACTIVIDAD QUÍMICA. ▪ ABRASIÓN POR DEFECTO DEL TRÁNSITO. ▪ DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS.



II.8 ESTADO FÍSICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

El drenaje se encuentra en condiciones no muy favorables ya que algunas alcantarillas se encuentran azolvadas en ellas se localizan restos de árboles y basura en ambos sentidos.

II.9 EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL MEDIANTE VIGA BENKELMAN

La capacidad estructural de un pavimento se ha relacionado para fines de valuación del pavimento mediante su deflexión. Los resultados de la medición de la deflexión de un pavimento flexible bajo carga estática cuya capacidad estructural se desea valorar, pueden ser determinados con equipos tales como un curvómetro Dehelen y la Viga Benkelman. Un Deflectómetro del tipo Dynaflect permite las mediciones cuando la carga que se aplica al pavimento es dinámica.

Para el tramo en estudio como se observa en el anexo fotográfico se empleó la viga Benkelman que consiste en un brazo fijo que se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos, un brazo móvil está acoplado por una articulación al brazo fijo. El brazo se coloca entre las llantas de un camión cargado con un peso en el eje trasero tándem de 8.2 ton, se toma la lectura del micrómetro, se retira el camión de carga, el pavimento se recupera y se vuelve a tomar la lectura del micrómetro, la diferencia de lecturas es la deflexión del pavimento, dicha lectura debe de ser corregida por la temperatura que tenga la carpeta asfáltica al realizar las mediciones. Las mediciones se realizaron en tramos de 500 m. y con lecturas a cada 20 metros, siguiendo la normatividad que marca el Instituto Norteamericano del Asfalto, cabe mencionar que las mediciones obtenidas fueron altas, lo que refleja un pavimento con una capacidad estructural de media a baja.

Para poder calcular el refuerzo de los pavimentos, es necesario obtener la deflexión característica que consiste en la deflexión característica para cada uno de los tramos estudiados, para nuestro caso las deflexiones fueron las siguientes:

**TABLA No. 7 DEFLEXIONES CARACTERISTICAS DEL TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS**

TRAMO	SUBTRAMO	CUERPO	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA $1 \cdot 10^{-3}$ (In)
0+000 – 21+950	1+360 – 0+780	B	53.4
0+000 – 21+950	3+760 – 3+280	B	49.6
0+000 – 21+950	5+260 – 4+780	B	74.2
0+000 – 21+950	6+240 – 5+760	B	41.8
0+000 – 21+950	8+360 – 7+680	B	49.2
0+000 – 21+950	11+460 – 10+980	B	42.0
0+000 – 21+950	13+220 – 12+740	B	39.0
0+000 – 21+950	16+460 – 15+980	B	42.8
0+000 – 21+950	18+460 – 17+980	B	56.1
0+000 – 21+950	21+760 – 21+280	B	50.8



II.10 EXPLORACION DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DEL PAVIMENTO.

II.10.1 POZOS A CIELO ABIERTO Y CALAS

Se realizaron sondeos a cielo abierto, con la finalidad de medir espesores de las capas, medir el grado de compactación y realizar pruebas de valor relativo de soporte en el lugar; así también se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas para ser analizadas en el laboratorio. Por lo que se realizaron 22 sondeos a cielo abierto a lo largo del tramo Libramiento Guaymas. Como se puede observar en el anexo fotográfico.

Estos resultados fueron empleados en la revisión estructural del pavimento y en la determinación de las alternativas de rehabilitación que se pueden realizar para cumplir con la estructura de pavimento que tenga la capacidad suficiente para soportar las grandes cargas que le son impuestas por el intenso tráfico existente.

II.10.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE LABORATORIO

Las muestras alteradas obtenidas en los sondeos a cielo abierto se enviaron al laboratorio de materiales con el propósito de realizar las pruebas correspondientes como se observa en el anexo fotográfico para determinar la característica índice y de resistencia y de esta manera evaluar la calidad de cada una de las capas de la estructura del pavimento como se muestra en la siguientes graficas.



GRAFICA No. 8 RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO. TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.

No.	UBICACION SONDEO	CUERPO	CALIDAD	ESPESOR	% COMPAC	PVSS	PVSH	W OPT.	W LUGAR	LL	LP	LP	C.L	E.A.	ABSORCION	DENSIDAD	VRS DEL LUGAR	VRS	EXPANSION	PORCENTAJES			CLASIFICACION S.U.C.S.
																				GRAVA	ARENA	FINOS	
TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS KM. 0+000 AL KM. 21+950																							
1	0+600	B	BASE HCA	15.5	101.3	1289	1068	9.4	8.9	28.1	21.0	7.1	2.4	39.6	4.56	2.14	106.0	96.0	0.00	44.0	47.4	8.6	SP-SC
1	0+600	B	SUB-BASE	23.5	99.1	1601	2146	9.3	8.6	25.3	18.4	6.9	3.1	33.4	1.46	2.36	116.1	72.3	0.00	42.6	48.0	9.4	SP-SC
1	0+600	B	SUBRASANTE	18.5	91.4	1342	1924	9.1	8.4	30.6	19.8	10.8	4.2	18.6	--	--	100.2	65.0	0.00	40.3	43.5	16.2	SC
1	0+600	B	SUBYACENTE	18.5	91.1	1165	1713	16.8	16.1	33.4	21.8	11.6	5.2	5.4	--	--	19.4	20.1	2.14	21.2	48.3	30.5	SC
2	1+100	B	BASE HCA	15.5	103.0	1267	1981	9.3	8.1	24.7	18.0	6.7	2.2	32.4	4.49	2.26	103.0	94.0	0.28	48.1	43.3	8.6	GP-GC
2	1+100	B	SUB-BASE	21.5	97.1	1620	2160	9.1	9.1	28.6	21.9	6.7	3.5	32.1	1.59	2.31	118	73.6	0.26	47.9	43.8	8.3	GP-GC
2	1+100	B	SUBRASANTE	21.0	92.8	1352	1935	9.0	9.0	32.1	20.2	11.9	4.3	17.9	--	--	103.0	78.8	0.36	44.9	40.2	14.9	GC
2	1+100	B	SUBYACENTE	20.5	90.3	1151	1710	17.9	16.9	30.4	18.0	12.4	5.8	3.6	--	--	16.4	22.4	2.17	23.3	44.3	32.4	SC
3	2+220	B	BASE HCA	15.5	106.4	1291	1994	9.6	9.3	27.3	21.0	6.3	2.8	35.1	4.50	2.23	109.6	91.3	0.00	50.3	44.1	5.6	GP-GC
3	2+220	B	SUB-BASE	22.5	93.9	1616	2139	9.5	9.1	31.2	19.8	6.1	4.2	28.4	1.57	2.38	112.3	82.3	0.00	45.9	44.5	9.6	GW-GC
3	2+220	B	SUBRASANTE	24.5	94.2	1824	1988	9.4	8.7	29.6	19.8	12.4	4.1	19.1	--	--	100.1	72.1	0.00	0.8	74.0	26.0	SC
3	2+220	B	SUBYACENTE	22.0	91.7	1568	1847	18.4	17.8	35.1	21.9	13.2	4.9	4.3	--	--	19.2	26.7	2.00	0.0	79.5	20.5	SC
4	3+500	B	BASE HCA	16.0	100.1	1284	1968	9.1	8.7	25.6	17.4	8.2	3.4	31.4	4.48	2.29	104.0	100.2	0.00	46.3	43.4	10.3	GP-GC
4	3+500	B	SUB-BASE	20.5	94.1	1623	2145	9.6	9.2	29.4	21.8	7.6	4.2	30.5	1.59	2.34	111.3	76.3	0.00	43.9	44.8	11.3	GP-GC
4	3+500	B	SUBRASANTE	23.5	90.9	1235	1931	8.9	8.2	31.6	20.1	11.5	3.8	11.5	--	--	99.6	69.2	0.00	46.2	40.2	13.6	GC
4	3+500	B	SUBYACENTE	22.5	99.9	1540	1800	17.5	16.9	33.4	20.6	12.8	5.1	3.1	--	--	22.6	24.3	2.16	28.1	40.1	31.8	SC
5	4+100	B	BASE HCA	15.5	100.3	1276	1956	9.4	8.2	29.3	20.4	8.9	3.1	31.2	4.41	2.21	109.3	103.0	0.00	42.3	45.4	12.3	SC
5	4+100	B	SUB-BASE	21.5	93.2	1634	2136	9.2	8.5	30.6	23.5	7.1	4.3	27.4	1.59	2.34	110.8	65.3	0.00	40.3	46.6	13.1	SC
5	4+100	B	SUBRASANTE	22.5	91.2	1329	1915	8.4	7.9	33.6	23.2	10.4	4.1	12.3	--	--	96.2	72.3	0.00	48.2	37.3	14.5	GC
5	4+100	B	SUBYACENTE	21.0	90.6	1126	1729	16.2	15.7	30.9	19.6	11.3	4.7	3.5	--	--	26.3	21.6	2.24	26.2	41.4	32.4	SC
6	5+000	B	BASE HCA	17.5	106.2	1264	1985	9.0	8.3	27.2	20.4	6.8	2.8	36.2	4.23	2.27	100.6	98.0	0.00	44.2	46.4	9.4	SC
6	5+000	B	SUB-BASE	21.5	94.4	1639	2113	9.7	9.1	25.9	20.2	5.7	4.0	21.5	1.54	2.36	95.3	71.3	0.00	41.2	45.6	13.2	GC
6	5+000	B	SUBRASANTE	20.5	92.8	1329	1939	8.6	7.9	30.8	23.2	7.6	3.4	20.3	--	--	97.4	60.8	0.00	40.2	43.6	16.2	GC
6	5+000	B	SUBYACENTE	18.5	90.4	1131	1731	15.7	15.2	31.6	21.8	9.8	3.5	5.1	--	--	23.8	20.5	2.16	23.1	48.5	30.4	SC
7	6+000	B	BASE HCA	15.5	101.4	1014	1982	9.5	9.0	24.3	21.2	3.2	1.7	36.1	1.91	2.33	97.0	98.0	0.00	54.2	38.1	7.7	GP-GC
7	6+000	B	SUB-BASE	15.5	96.7	1398	1980	10.0	8.8	23.1	19.6	3.5	2.3	35.6	2.69	2.24	92.0	51.3	0.00	46.6	38.0	15.4	GC
7	6+000	B	SUBRASANTE	21.0	93.6	1310	2020	9.0	7.8	25.1	20.5	4.6	2.1	32.3	--	--	90.0	46.1	0.00	40.3	40.5	19.2	SC
7	6+000	B	SUBYACENTE	19.5	92.4	1265	1920	12.0	10.5	22.9	19.0	3.9	1.8	30.1	--	--	92.0	68.0	0.00	26.4	61.8	11.8	SC

Como resultado de las pruebas de laboratorio de laboratorio en las capas estudiadas en términos generales se encontraron en distintos tramos las siguientes deficiencias de calidad de los materiales:

- a) **CARPETA ASFÁLTICA:** Los contenidos de cemento asfáltico se consideran inferiores a los óptimos para el tipo de material que se utilizó en la elaboración de la carpeta asfáltica, en su mayoría los contenidos de cemento asfáltico se encuentran inferiores al 6.0%.

La granulometría en varios de los casos se encuentra fuera de los límites de granulometría que marcan las normas.

El espesor de la carpeta asfáltica encontrado es de 9.0 centímetros.

Los módulos de elasticidad se encuentran inferiores a los recomendados debiendo estar entre 30,000 y 40,000 Kg. /cm2



b) **BASE HIDRÁULICA:** En la mayoría de los casos el valor relativo de soporte está por debajo de lo que se especifica en las normas, los resultados de las pruebas realizadas muestran un resultado entre 70 a 80% y la norma indica el 100% como mínimo para este tipo de caminos.

El módulo de elasticidad de la base se encuentra en los límites inferiores permisibles que están en un rango entre 3,000 a 5,000 Kg. /cm

La granulometría en varios de los tramos estudiados se encuentra escasa de material pétreo por lo que en estos casos se recomienda agregar material pétreo sin finos para obtener una granulometría en la zona 1 que se recomienda para éste tipo de caminos.

c) **CAPAS INFERIORES:** La calidad las capas inferiores se consideran aceptables, ya que en su mayoría cumplen con las normas de calidad.



CAPÍTULO III

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO DEL TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.

III.1 NATURALEZA DEL PROYECTO.

El proyecto consiste en establecer el proceso adecuado para la rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura carretera ya existente de la Autopista Estación Don–Nogales, tramo Libramiento Guaymas; mejorando las condiciones de servicio actuales. La obra proyectada no implica la ampliación en el número de carriles por sentido, ni en las dimensiones de los mismos.

Actualmente dicha zona cuenta con dos carriles por sentido, cuyas dimensiones corresponden en el cuerpo “A” 3.60 m de ancho por carril y un acotamiento exterior e interior de 0.80 metros; en el cuerpo “B” el ancho por cada carril ese de 3.20 m y un acotamiento exterior e interior de 0.30 metros.

III.2 TIEMPO DE VIDA DEL PROYECTO.

Este proyecto prevé satisfacer las necesidades de manera satisfactoria durante un periodo de 15 años a partir de su realización.

III.3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

La subdelegación técnica de CAPUFE encargada de esta autopista proporciono los volúmenes de tránsito y clasificación vehicular para determinar el tránsito de diseño, con una tasa de crecimiento anual del 4.0 % y un periodo de 15 años como vida útil.



Los datos proporcionados fueron:

GRÁFICA No. 9 TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TDPA), AÑO 2011 Y 2012 DEL TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS

TIPO DE VEHÍCULO	AÑO 2011	AÑO 2012
A	943,051	1,005,773
B2	37,722	38,972
B3	10,778	12,215
C2	61,972	63,457
T2-S1	45,805	47,638
T2-S2	4,042	5,666
T3-S2	181,874	182,649
T3-S3	33,680	35,432
T3-S2-R2	2,694	3,918
T3-S2-R3	4,042	4,809
T3-S2-R4	21,555	22,619
SUMA Σ	1,347, 215	1, 423,148

Se tomará el dato del año de 2012 para calcular el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), con un crecimiento anual del 4%, con lo que se tiene para el año 2013 un tránsito diario promedio anual de **TDPA= 4,055 vehículos en total.**

Tomando un coeficiente de distribución del 40 % del tránsito total por tener cuatro carriles de circulación, para **calcular** el tránsito para el carril de diseño, resulta **TDPA= 1,622 vehículos en total.**

**TABLA No. 10 CAPACIDAD DE LOS VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE**

TIPO DE VEHÍCULO	NÚMERO DE VEHÍCULOS	PORCENTAJES	CARGAS TON. POR VEHICULO
A	1146.31	70.67%	2.00
B2	44.42	2.74%	17.50
B3	13.92	0.86%	26.00
C2	72.32	4.46%	17.50
T2-S1	54.29	3.35%	27.50
T2-S2	6.46	0.40%	37.50
T3-S2	208.17	12.83%	44.00
T3-S3	40.38	2.49%	48.50
T3-S2-R2	4.47	0.28%	60.50
T3-S2-R3	5.48	0.34%	63.00
T3-S2-R4	25.78	1.59%	73.70
SUMAS	1622.00	100.00%	

Las cargas de los vehículos fueron tomadas del reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transita en los caminos y puentes de jurisdicción federal del Diario Oficial de la Federación con fechas 26 de Enero 1994, 7 de Mayo de 1996, 7 de Enero de 1997, 8 de Agosto de 2000 y 19 de Octubre de 2000. Como se observa en el apartado de anexos.

III.4 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL PAVIMENTO.

Los problemas de rehabilitación de pavimentos son inmensamente variados y van desde la colocación de sellos asfálticos, construcción de sobre carpetas hasta reconstrucciones integrales como actualmente se está realizando al reforzar las capas existentes.

Las rehabilitaciones por el incremento normal del tránsito se dan mediante el uso de sobre carpetas, en tanto que las reconstrucciones se dan en pavimentos que muestran indicios de fallas, consistentes principalmente en la aparición de deformaciones excesivas, fatigas de las capas, deflexiones altas, gastos de conservación y mantenimientos altos, niveles de servicio bajos e inseguridad.

Para revisar las estructuras de los pavimentos, tomaremos en cuenta las exploraciones realizadas mediante los pozos a cielo abierto, las mediciones de las deflexiones con la Viga Benkelman, y los resultados de las pruebas del laboratorio.



Se revisarán las secciones estructurales del pavimento existente aplicando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

En virtud de que las calidades de la base hidráulica no cumplen con normas de calidad y que la carpeta asfáltica existente se encuentra dañada, con la finalidad de poder realizar el análisis, diseño y rehabilitación de los pavimentos, previamente en el laboratorio se realizaron pruebas para mejorar las condiciones de los materiales existentes, para ello se hicieron mezclas de materiales de carpeta asfáltica y base hidráulica existentes con diferentes porcentajes de cemento Portland.

De las pruebas de laboratorio con materiales existentes y cemento Portland; se obtuvo el resultado de que con un 4%, 6%, 8%, 10% y 12% de cemento Portland en peso con relación al peso volumétrico seco suelto del material, todas las características del material cumplen con normas de calidad.

GRÁFICA No. 11 RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE BASE HIDRAULICA EXISTENTE EN TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS

Del Km. al km	Cpo.	Contenido de Cemento Pórtland (%)	VRS del lugar (%)	Límite Líquido %	Contracción Lineal %	Equivalent e de Arena (%)	Modulo Elástico kg/cm ²
0+000 al 5+500	B	0.0	103 a 109.6	24 a 29.3	2.2 a 3.4	30.6 a 35.1	3320.4
5+500 al 11+600	B	0.0	94 a 99	24.3 a 29.3	1.3 a 2.9	20.3 a 29.3	3142.0
11+600 al 17+600	B	0.0	92 a 100	18.6 a 30.6	2.2 a 3.1	18.6 a 37.3	3103.8
17+600 al 21+950	B	0.0	80.7 a 91.4	22.9 a 28.4	2.0 a 2.9	39.4 a 46.5	2836.7



GRÁFICA No. 12 RESUMEN DE PRUEBAS DE LABORATORIO DE MATERIAL RECUPERADO DE BASE Y CARPETA MEJORADO CON CEMENTO PÓRTLAND

Contenido de Cemento Pórtland (%)	Límite Líquido %	Contracción Lineal %	Equivalente de Arena (%)	Modulo Elástico kg/cm2	Resistencia a la compresión simple a los 7 días de edad (kg/cm2)
4	20.34	0.0	61.4	5025	35.1
4	21.35	0.0	59.21	5110	35.6
4	22.62	0.0	52.3	5100	35.4
4	23.20	0.0	54.8	5123	35.3
6	22.27	0.0	57.9	45742	48.6
6	21.89	0.0	55.21	44865	49.2
6	21.65	0.0	54.36	45742	47.6
6	22.36	0.0	50.89	45785	49.2
8	21.39	0.0	59.5	47513	50.23
8	23.41	0.0	54.23	46723	53.9
8	22.52	0.0	56.85	51200	59.1
8	20.89	0.0	52.96	50235	57.2
10	21.30	0.0	57.8	67,998.16	82.2
10	21.78	0.0	56.14	68,779.53	84.1
10	22.52	0.0	55.25	69,105.89	84.9
10	23.63	0.0	52.15	68,039.51	82.3
12	20.90	0.0	57.3	73,139.42	95.1
12	24.96	0.0	58.69	72,831.14	94.3
12	21.74	0.0	56.32	73,790.24	96.8
12	21.91	0.0	55.32	71,230.26	90.2
14	21.79	0.0	52.9	75,224.66	100.6
14	22.76	0.0	53.26	76,042.75	102.8
14	23.35	0.0	54.12	76,705.61	104.6
14	22.60	0.0	53.16	75,560.41	101.5

III.5 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM

Se realizaron los sondeos a cielo abierto con la finalidad de verificar espesores de las capas de la estructura del pavimento, grados de compactación y obtención de muestras alteradas para el análisis respectivo en el laboratorio de materiales.

Los valores que no cumplen con normas de calidad de acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes están indicados con color rojo. Los valores más críticos que se pueden resaltar son los grados de compactación bajos, los valores relativos de soporte de la base hidráulica en algunos casos son inferiores al 100 %, los equivalentes de arena de la base inferiores a 50%, las humedades naturales de algunas capas muy superiores a la humedad óptima y por último algunas contracciones lineales superiores a las especificadas. Los resultados de las pruebas del laboratorio arrojan los siguientes datos:



GRAFICA No. 13 RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO. TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.

No.	UBICACIÓN BONDEO	CUERPO	CALIDAD	ESPESOR	% COMPAC	PVSS	PVSM	W OPT.	W LUGAR	LL	LP	LP	C.L.	E.A.	ABSORCION	DENSIDAD	VRS DEL LUGAR	VRS	EXPANSIÓN	PORCENTAJES			CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
																				GRAVA	ARENA	FINOS	
TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS KM. 0+000 AL KM. 21+950																							
1	0+600	B	BASE HCA	15.5	101.3	1289	1968	9.4	8.9	28.1	21.0	7.1	2.4	39.4	4.56	2.14	106.0	98.0	0.00	44.0	47.4	8.6	SP-SC
1	0+600	B	SUB-BASE	23.5	98.1	1601	2146	9.3	8.6	25.3	18.4	6.9	3.1	33.4	1.46	2.36	116.1	72.3	0.00	42.6	48.0	9.4	SP-SC
1	0+600	B	SUBRASANTE	18.5	91.4	1342	1924	9.1	8.4	30.6	19.8	10.8	4.2	18.6	--	--	100.2	85.0	0.00	40.3	43.5	16.2	SC
1	0+600	B	SUBYACENTE	18.5	91.1	1185	1713	16.8	16.1	33.4	21.8	11.6	5.2	5.4	--	--	19.4	20.1	2.14	21.2	48.3	30.5	SC
2	1+100	B	BASE HCA	15.5	103.0	1267	1981	9.3	8.1	24.7	18.0	6.7	2.2	35.4	4.49	2.26	103.0	96.5	0.28	48.1	43.3	8.6	GP-GC
2	1+100	B	SUB-BASE	21.5	102.0	1620	2160	9.1	9.1	28.6	21.9	6.7	3.5	32.1	1.59	2.31	118	73.6	0.26	47.9	43.8	8.3	GP-GC
2	1+100	B	SUBRASANTE	21.0	92.8	1352	1935	9.0	9.0	32.1	20.2	11.9	4.3	17.9	--	--	103.0	78.8	0.36	44.9	40.2	14.9	GC
2	1+100	B	SUBYACENTE	20.5	90.3	1151	1710	17.9	16.9	30.4	18.0	12.4	5.8	3.6	--	--	16.4	22.4	2.17	23.3	44.3	32.4	SC
3	2+220	B	BASE HCA	15.5	106.4	1291	1994	9.6	9.3	27.3	21.0	6.3	2.8	38.1	4.50	2.23	109.6	91.3	0.00	50.3	44.1	5.6	GP-GC
3	2+220	B	SUB-BASE	22.5	103.4	1616	2139	9.5	9.1	31.2	19.8	6.1	4.2	28.4	1.57	2.38	112.3	82.3	0.00	45.9	44.5	9.6	GW-GC
3	2+220	B	SUBRASANTE	24.5	94.2	1824	1988	9.4	8.7	29.6	19.8	12.4	4.1	19.1	--	--	100.1	72.1	0.00	0.0	74.0	26.0	SC
3	2+220	B	SUBYACENTE	22.0	91.7	1568	1847	18.4	17.8	35.1	21.9	13.2	4.9	4.3	--	--	19.2	26.7	2.00	0.0	79.5	20.5	SC
4	3+500	B	BASE HCA	16.0	100.1	1284	1968	9.1	8.7	25.6	17.4	8.2	3.4	35.1	4.48	2.29	104.0	100.2	0.00	46.3	43.4	10.3	GP-GC
4	3+500	B	SUB-BASE	20.5	103.8	1623	2145	9.6	9.2	29.4	21.8	7.6	4.2	30.5	1.59	2.34	111.3	76.3	0.00	43.9	44.8	11.3	GP-GC
4	3+500	B	SUBRASANTE	23.5	90.9	1235	1931	8.9	8.2	31.6	20.1	11.5	3.8	11.5	--	--	99.6	69.2	0.00	46.2	40.2	13.6	GC
4	3+500	B	SUBYACENTE	22.5	98.1	1540	1800	17.5	16.9	33.4	20.6	12.8	5.1	3.1	--	--	22.6	24.3	2.16	28.1	40.1	31.8	SC
5	4+100	B	BASE HCA	15.5	100.3	1276	1956	9.4	8.2	29.3	20.4	8.9	3.1	31.1	4.41	2.21	109.3	103.0	0.00	42.3	45.4	12.3	SC
5	4+100	B	SUB-BASE	21.5	103.2	1634	2136	9.2	8.5	30.6	23.5	7.1	4.3	27.4	1.59	2.34	110.8	65.3	0.00	40.3	46.6	13.1	SC
5	4+100	B	SUBRASANTE	22.5	91.2	1329	1915	8.4	7.9	33.6	23.2	10.4	4.1	12.3	--	--	96.2	72.3	0.00	48.2	37.3	14.5	GC
5	4+100	B	SUBYACENTE	21.0	90.6	1126	1729	16.2	15.7	30.9	19.6	11.3	4.7	3.5	--	--	26.3	21.6	2.24	26.2	41.4	32.4	SC
6	5+000	B	BASE HCA	17.5	106.2	1264	1985	9.0	8.3	27.2	20.4	6.8	2.8	36.1	4.23	2.27	100.6	98.4	0.00	44.2	46.4	9.4	SC
6	5+000	B	SUB-BASE	21.5	104.9	1639	2113	9.7	9.1	25.9	20.2	5.7	4.0	21.5	1.54	2.36	95.3	71.3	0.00	41.2	45.6	13.2	SC
6	5+000	B	SUBRASANTE	20.5	92.8	1329	1939	8.6	7.9	30.8	23.2	7.6	3.4	20.3	--	--	97.4	60.8	0.00	40.2	43.6	16.2	GC
6	5+000	B	SUBYACENTE	18.5	90.4	1131	1731	15.7	15.2	31.6	21.8	9.8	3.5	5.1	--	--	23.8	20.5	2.16	23.1	46.5	30.4	SC
7	6+000	B	BASE HCA	15.5	101.4	1014	1982	9.5	9.0	24.3	21.2	3.2	1.7	38.1	1.91	2.33	97.0	98.8	0.00	54.2	38.1	7.7	GP-GC
7	6+000	B	SUB-BASE	15.5	96.7	1398	1980	10.0	8.8	23.1	19.6	3.5	2.3	35.6	2.69	2.24	92.0	51.3	0.00	46.6	38.0	15.4	GC
7	6+000	B	SUBRASANTE	21.0	93.6	1310	2020	9.0	7.8	25.1	20.5	4.6	2.1	32.3	--	--	90.0	46.1	0.00	40.3	40.5	19.2	SC
7	6+000	B	SUBYACENTE	19.5	92.4	1265	1920	12.0	10.5	22.9	19.0	3.9	1.9	30.1	--	--	92.0	68.0	0.00	26.4	61.8	11.8	SC

Como siguiente paso se calcularan los Valores Relativos de Soporte Críticos tomando como referencia los obtenidos de las pruebas del VRS del lugar y aplicando el procedimiento indicado por el método de la UNAM:

$$\widehat{VRS} = \overline{VRS} (1 - 0.84 V)$$

Donde:

\widehat{VRS} = Valor Relativo de Soporte Crítico

\overline{VRS} = Valor Relativo de Soporte Promedio.

V = Coeficiente de Variación.

Calculando el valor relativo de soporte crítico de cada capa existente para estructurar teóricamente el pavimento tenemos:

**GRÁFICA No. 14 RESULTADOS DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE**

TRAMO	CUERPO	BASE VRS	SUB-BASE VRS	SUBRASANTE VRS	SUBYACENTE VRS
0+000 AL 5+500	B	102.4	106.3	97.4	18.2
5+500 AL 11+600	B	94.6	91.0	88.0	87.2
11+600 AL 17+600	B	93.0	91.3	85.3	84.5
17+600 AL 21+950	B	81.8	98.3	57.30	44.9

Se calcularan el número de ejes equivalentes para un peso por eje de 8.2 ton, con una presión de inflado de las llantas de 5.8 Kg. /cm². Del análisis realizado se determinó un número de ejes equivalentes de:

$$\Sigma L = 16.4 \times 10^6, \text{ PARA } Z=0$$

$$\Sigma L = 15.1 \times 10^6, \text{ PARA } Z=30$$

El método de diseño estructural de pavimentos asfálticos, incluyendo carreteras de altas especificaciones con el programa DISPAV-5 versión 2, está calibrado de tal manera que revisa mediante las dos formas principales de falla de los pavimentos, un modelo rígido plástico y los criterios de capacidad de carga de TERZAGHI, para estimar la deformación permanente a largo plazo de las capas de pavimentos no tratadas con ligantes y por otro lado un modelo elástico para determinar el comportamiento del camino, basado en la falla por agrietamiento a fatiga de las capas ligadas con asfalto, tomando en cuenta la deformación unitaria crítica a tensión de esas capas.

También toma en cuenta el enfoque probabilístico para estimar los niveles de confianza adecuados, analiza los factores de daño por camión tomando en cuenta la carga total, tipo de eje, presión de la llanta, y la profundidad a la cual se estima el factor de daño relativo, realiza también la caracterización de los materiales con base en su comportamiento real a largo plazo en el camino.



Revisando el diseño con el método DISPAV-5 versión 2 de la UNAM tenemos:

GRÁFICA No. 15 VALOR RELATIVO DE SOPORTE DEL KM 0+000 AL KM 5+500 CUERPO B

CAPA	ESPEJOR EXISTENTE PROMEDIO (1)	ESPEJOR CALCULADO, REAL, CM. (2)	ESPEJOR PROPUESTO, CM. (3)	VRS PROPUESTO (4)	VRS EXISTENTE (5)	MODULO DE RIGIDEZ EXISTENTE KG/CM2 (6)	MODULO DE RIGIDEZ PROPUESTO KG/CM2 (7)	ΣL VIDA DEFORMACION (8)	ΣL VIDA POR FATIGA (9)
CARPETA	7.5	20.0	10.0			17000	35000		>150
BASE	15.9	25.0	25.0	100	102.4	3320	5025	35.7	
SUB-BASE	21.8	25.0	20.2	106.3	106.3	3407.9	3407.9	14.5	
SUBRASANTE	21.75	25.0	21.75	97.4	97.4	3206	3206	72.0	
TERRACERIAS	VAR.	VAR.	VAR.	18.2	18.2	990	990	>150	

Como se puede observar de la tabla anterior aparentemente la estructura existente no requiere rehabilitación ya que cumple con los valores relativos de soporte mínimos; sin embargo al analizar esta estructura con el programa del Dispav-5 la vida de pavimento por deformación y por fatiga no cumplen; de acuerdo al programa se obtienen los nuevos espesores que se encuentran en la columna num.2. Los espesores de esta columna son mayores a los existentes; sin embargo si se aplica el 4% de cemento Pórtland los VRS y los Módulos de Rigidez se obtienen valores superiores a los existentes esto nos permite diseñar con menores espesores además de cumplir con la vida por deformación y por fatiga.

Analizando este tramo al calcular la vida remanente con el programa del Dispav – 5 nos indica que en este tramo el pavimento tiene por fatiga una vida útil de 0.8×10^6 es decir 1.5 años y por deformación una vida útil de 0.3×10^6 es decir 1 año.

**GRÁFICA No. 16 VALOR RELATIVO DE SOPORTE DEL KM 5+500 AL KM 11+600 CUERPO B**

CAPA	ESPESOR EXISTENTE PROMEDIO (1)	ESPESOR CALCULADO, REAL, CM. (2)	ESPESOR PROPUESTO, CM. (3)	VRS PROPUESTO (4)	VRS EXISTENTE (5)	MODULO DE RIGIDEZ EXISTENTE KG/CM2 (6)	MODULO DE RIGIDEZ PROPUESTO KG/CM2 (7)	ΣL VIDA DEFORMACIÓN (8)	L VIDA POR FATIGA (9)
CARPETA	8.9	20.0	10.0			17000	35000		>150
BASE	16.9	25.0	25.0	100	94.6	3141	5110	35.7	
SUB-BASE	16.3	25.0	17.1	91.0	91.0	3056.5	3056.5	14.5	
SUBBRASANTE	20.5	25.0	20.5	88.0	88.0	2988	2988	42.6	
TERRACERIAS	VAR.	VAR.	VAR.	87.2	87.0	2967.7	2967.7	>150	

En este tramo en la columna num. 1 se muestran los espesores de la estructura existente, en este caso el VRS de la base también cumple de acuerdo a de las Nuevas Normas para Materiales de Sección Estructural de Pavimentos Flexibles de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, sin embargo al analizar con el programa del Dispav-5 estos espesores no cumplen con la vida útil del pavimento, es por eso que de igual manera en el tramo anterior se realizan cálculos con los VRS y módulos existentes obteniendo espesores de dimensiones mayores (columna no. 2): el cálculo se realiza con el 4% de cemento Pórtland, con lo que se obtienen valores relativos de soporte VRS y Módulos mayores a los existentes; así también, los resultados de los espesores de la nueva estructura son menores como se puede ver en la columna num.3. Además de cumplir con la vida útil del pavimento por fatiga como por deformación.

De igual forma que en el tramo anterior la vida remanente calculada por medio del programa del Dispav- 5 nos indica que este tramo el pavimento por fatiga tiene una vida útil de 0.78×10^6 es decir 1.5 años y por deformación el pavimento tiene una vida útil de 0.3×10^6 es decir 1 años.



GRÁFICA No. 17 VALOR RELATIVO DE SOPORTE DEL KM 11+600 AL KM 17+600 CUERPO B

CAPA	ESPESOR EXISTENTE PROMEDIO (1)	ESPESOR CALCULADO, REAL, CM. (2)	ESPESOR PROPUESTO, CM. (3)	VRS PROPUESTO (4)	VRS EXISTENTE (5)	MODULO DE RIGIDEZ EXISTENTE KG/CM2 (6)	MODULO DE RIGIDEZ PROPUESTO KG/CM2 (7)	ΣL VIDA DEFORMACIÓN (8)	ΣL VIDA POR FATIGA (9)
CARPETA	10.3	20.0	10.0			17000	35000		>150
BASE	19.0	25.0	25.0	100	93.0	3104	5100	35.7	
SUB-BASE	19.7	25.0	24.0	91.3	91.3	3063.6	3063.6	14.5	
SUBBRASANTE	22.3	25.0	22.3	85.3	85.3	2920.5	2920.5	133.3	
TERRACERIAS	VAR.	VAR.	VAR.	84.5	84.5	2210.8	2210.8	>150	

En la tabla anterior se puede observar en la columna no. 1 los espesores de las diferentes capas existentes; de la misma manera este tramo cumple con el VRS mínimo de la base. En la segunda columna se muestran los espesores con el cual deberá de estar formada la nueva estructura; sin embargo, estas capas son de espesores mayores; por lo que se propone aplicar el 4% de cemento; así los VRS y los Módulos se incrementan y realizando otro cálculo con el programa del Dispav-5 los espesores disminuyen; estos valores se pueden observar en la columna num.3 además de cumplir la vida del pavimento tanto por deformación como por fatiga.

Siguiendo el mismo procedimiento que los anteriores en este tramo el pavimento tiene por fatiga una vida útil de 0.9×10^6 es decir 1.5 años y por deformación una vida útil de 2.8×10^6 es decir 3.5 años.



GRÁFICA No. 18 VALOR RELATIVO DE SOPORTE DEL KM 17+600 AL KM 21+950 CUERPO B

CAPA	ESPESOR EXISTENTE PROMEDIO (1)	ESPESOR CALCULADO, REAL, CM. (2)	ESPESOR PROPUESTO, CM. (3)	VRS PROPUESTO (4)	VRS EXISTENTE (5)	MODULO DE RIGIDEZ EXISTENTE KG/CM2 (6)	MODULO DE RIGIDEZ PROPUESTO KG/CM2 (7)	ΣL VIDA DEFORMACIÓN (8)	L VIDA POR FATIGA (9)
CARPETA	10.0	20.0	10.0				35000		>150
BASE	16.5	25.0	25.0	100	81.8	2837	5123	36.9	
SUB-BASE	17.3	25.0	18.8	98.3	98.3	3226.2	3226.2	14.8	
SUBBRASANTE	19.4	25.0	19.4	57.3	57.3	2210.8	2210.8	58.0	
TERRACERIAS	VAR.	VAR.	VAR.	44.9	44.9	1865.6	1865.6	>150	

Por último en este sub-tramo los espesores existentes se muestran en la columna no. 1, en la columna no. 2 podemos observar los nuevos espesores calculados con los módulos de rigidez existentes; los resultados fueron con espesores de dimensiones mayores, después se procedió a realizar otro cálculo con el programa del Dispav-5 considerando el 4% de cemento Pórtland, al incrementar esta cantidad de cemento, los VRS y los Módulos aumentan y las diferentes capas disminuyen además de cumplir la vida del pavimento tanto por deformación como por fatiga.

Por último la vida remanente calculada por medio del programa del Dispav – 5 nos indica que para este tramo el pavimento por fatiga tiene una vida útil de 1.4×10^6 es decir 2.5 años y por deformación el pavimento tiene una vida útil de 3.7×10^6 es decir 4.5 años.



A continuación se anexa la tabla en la cual se calculó la vida remanente.

GRÁFICA No. 19 CÁLCULO DE LA VIDA REMANENTE

AÑOS	CT	Z=5	z=15	z=30	z=60	z=90	z=120
		16,400,000	15,500,000	15,100,000	18,100,000	19,700,000	20,100,000
1	365	2244	2121	2066	2476	2695	2750
2	745	1,671,638	1,579,901	1,539,130	1,844,917	2,008,004	2,048,775
3	1,139	2,555,698	2,415,447	2,353,113	2,820,618	3,069,955	3,132,289
4	1,550	3,477,904	3,287,043	3,202,216	3,838,418	4,177,726	4,262,553
5	1,977	4,436,010	4,192,571	4,084,375	4,895,841	5,328,622	5,436,818
6	2,421	5,432,262	5,134,150	5,001,655	5,995,362	6,525,339	6,657,833
7	2,883	6,468,901	6,113,901	5,956,123	7,139,458	7,770,571	7,928,349
8	3,363	7,545,930	7,131,824	6,947,777	8,328,130	9,064,318	9,248,365
9	3,863	8,667,834	8,192,160	7,980,750	9,566,329	10,411,972	10,623,382
10	4,382	9,832,371	9,292,790	9,052,976	10,851,580	11,810,836	12,050,650
11	4,923	11,046,272	10,440,074	10,170,653	12,191,312	13,268,997	13,538,418
12	5,484	12,305,049	11,629,772	11,329,648	13,580,572	14,781,064	15,081,188
13	6,069	13,617,677	12,870,365	12,538,227	15,029,265	16,357,819	16,689,958
14	6,677	14,981,913	14,159,735	13,794,322	16,534,916	17,996,566	18,361,978
15	7,309	16,400,000	15,500,000	15,100,000	18,100,000	19,700,000	20,100,000



III.6 MÉTODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

Este método determina el espesor del refuerzo que requiere el pavimento existente tomando en cuenta la medición de las deflexiones medidas con Viga Benkelman, curvímeter Dehlen o un deflectómetro del tipo Dynaflect.

En este caso se utilizó la Viga Benkelman como se observa en el anexo fotográfico que consiste en un brazo fijo que se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos, un brazo móvil esta acoplado por una articulación al brazo fijo. El brazo se coloca entre la llantas de un camión cargado con un peso en el eje trasero tándem de 8.2 ton, se toma la lectura del micrómetro, se retira el camión de carga, el pavimento se recupera y se vuelve a tomar la lectura del micrómetro la diferencia de lecturas es la deflexión del pavimento, dicha lectura debe de ser corregida por la temperatura que tenga la carpeta asfáltica al realizar las mediciones.

- 1.- Se realizó la medición de las deflexiones, tomando tres tramos de 500 m. y haciendo lecturas a cada 20 m en cada uno de los tramos se calculó la deflexión característica aplicando la fórmula:

$$\delta_c = (\bar{x} + 2\sigma) f c$$

Donde:

δ_c es la deflexión característica

\bar{x} es la media aritmética de los valores individuales de la deflexión en el tramo considerado.

σ es la desviación estándar de los mismos valores en el mismo tramo.

f factor de ajuste por temperatura de la carpeta.

c factor de ajuste que varía con el periodo del año en el cual se hacen las mediciones, $c=1$ para el periodo que presenta las condiciones más críticas.



En la tabla siguiente se presentan las deflexiones características críticas:

GRÁFICA No. 20 DEFLEXIONES CARACTERISTICAS CRÍTICAS

TRAMO	SUBTRAMO	CUERPO	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA $1 \cdot 10^{-3}$ (In)	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (mm)
0+000 – 21+950	1+360 – 0+780	B	53.4	1.4
0+000 – 21+950	3+760 – 3+280	B	49.6	1.3
0+000 – 21+950	5+260 – 4+780	B	74.2	1.9
0+000 – 21+950	6+240 – 5+760	B	41.8	1.1
0+000 – 21+950	8+360 – 7+680	B	49.2	1.2
0+000 – 21+950	11+460 – 10+980	B	42.0	1.1
0+000 – 21+950	13+220 – 12+740	B	39.0	1.0
0+000 – 21+950	16+460 – 15+980	B	42.8	1.1
0+000 – 21+950	18+460 – 17+980	B	56.1	1.4
0+000 – 21+950	21+760 – 21+280	B	50.8	1.3

2.- De acuerdo al Manual “Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation” edición 1983 y con los ejes equivalente de tabla obtenemos los espesores de concreto asfáltico.

GRÁFICA No. 21 EJES EQUIVALENTES

Tipo de vehículo.	Comp. Vehicular %	No de veh. en el 1er año	F carga de daño	Factor de crecimiento			vida remanente 1 año	No. de repeticiones de ejes sencillos equivalentes a 5 años	No de repeticiones de ejes sencillos equivalentes a 10 años	No. de repeticiones de ejes sencillos equivalentes a 15 años
				5	10	15				
A	0.7	414,421	0.00004	5.42	12.01	20.02	16.58	89.85	199.09	331.87
B2	0.028	16,577	3.86	5.42	12.01	20.02	63,986.60	346,807.39	768,479.09	1,281,011.78
B3	0.008	4,736	6.26	5.42	12.01	20.02	29,648.86	160,696.83	356,082.84	593,570.23
C2	0.046	27,233	3.86	5.42	12.01	20.02	105,120.85	569,754.99	1,262,501.37	2,104,519.35
T2-S1	0.034	20,129	6.04	5.42	12.01	20.02	121,579.28	658,959.70	1,460,167.16	2,434,017.20
T2-S2	0.003	1,776	5.75	5.42	12.01	20.02	10,212.52	55,351.84	122,652.34	204,454.60
T3-S2	0.135	79,924	8.15	5.42	12.01	20.02	651,381.01	3,530,485.06	7,823,085.90	13,040,647.77
T3-S3	0.025	14,801	7.39	5.42	12.01	20.02	109,377.54	592,826.28	1,313,624.29	2,189,738.40
T3-S2-R2	0.002	1,184	3.99	5.42	12.01	20.02	4,724.40	25,606.24	56,740.04	94,582.48
T3-S2-R3	0.003	1,776	3.97	5.42	12.01	20.02	7,049.30	38,207.21	84,662.11	141,127.01
T3-S2-R4	0.016	9,472	9.66	5.42	12.01	20.02	91,504.16	495,952.53	1,098,964.92	1,831,913.22
□	1.000						□ 1,194,601.09	6,474,737.93	14,347,159.14	23,915,913.90



GRÁFICA No. 22 DEFLEXIONES CARACTERISTICAS Y REFUERZO DE CONCRETO ASFALTICO

TRAMO	SUBTRAMO	CUERPO	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA $1 \cdot 10^{-3}$ (In)	REFUERZO DE CONCRETO ASFALTICO EN CM
0+000 – 21+950	0+000 - 2+320	B	53.4	19.0
0+000 – 21+950	2+320 – 4+270	B	49.6	18.75
0+000 – 21+950	4+270 - 5+510	B	74.2	23.25
0+000 – 21+950	5+510 – 6+960	B	41.8	15.0
0+000 – 21+950	6+960 – 9+670	B	49.2	15.0
0+000 – 21+950	9+670 – 12+100	B	42.0	15.0
0+000 – 21+950	12+100 – 14+610	B	39.0	15.0
0+000 – 21+950	14+610 – 17+220	B	42.8	15.0
0+000 – 21+950	17+200 – 19+870	B	56.1	19.0
0+000 – 21+950	19+870 -21+950	B	50.8	18.75

- 3.- Para construir estos espesores de refuerzo es necesario corregir los daños superficiales el pavimento existente; por lo que se recomienda recuperar mediante fresado la carpeta y parte de la base existente en un espesor de 20 cm, logrando con esto corregir los daños que presenta el pavimento como son agrietamientos, roderas, desgaste del material, baches superficiales, compactación, modificación de la dirección de fallas más profundas etc.

VIDA REMANENTE

De igual manera que en el Método de Ingeniería de la UNAM, se calcula la vida remanente para cada deflexión realizada en la autopista por lo que los resultados son los que se indican en la tabla siguiente:

GRÁFICA No. 23 VALORES DE VIDA REMANENTE

TRAMO	SUBTRAMO	CUERPO	DEFLEXION (PULG)	ESALR	ESALd	FCR	VR (AÑOS)	VR (MESES)
0+000 – 21+950	0+000 - 2+320	B	53.4	110,000	1,194,601.09	0.092	0.09	1.1
0+000 – 21+950	2+320 – 4+270	B	49.6	125,000	1,194,601.09	0.105	0.11	1.3
0+000 – 21+950	4+270 - 5+510	B	74.2	50,000	1,194,601.09	0.042	0.04	0.5
0+000 – 21+950	5+510 – 6+960	B	41.8	700,000	1,194,601.09	0.586	0.59	7.1
0+000 – 21+950	6+960 – 9+670	B	49.2	125,000	1,194,601.09	0.105	0.11	1.3
0+000 – 21+950	9+670 – 12+100	B	42.0	710,000	1,194,601.09	0.594	0.60	7.2
0+000 – 21+950	12+100 – 14+610	B	39.0	680,000	1,194,601.09	0.569	0.57	6.9
0+000 – 21+950	14+610 – 17+220	B	42.8	580,000	1,194,601.09	0.486	0.49	5.9
0+000 – 21+950	17+200 – 19+870	B	56.1	105,000	1,194,601.09	0.088	0.09	1.1
0+000 – 21+950	19+870 -21+950	B	50.8	125,000	1,194,601.09	0.105	0.11	1.3



CAPITULO IV

ALTERNATIVAS DE REHABILITACION DEL PAVIMENTO

IV.1 CALIDAD DE LOS MATERIALES EXISTENTES

La calidad de los materiales principalmente la capa de base hidráulica no cumple con las normas que marca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en lo que se refiere al Valor Relativo de Soporte y al Equivalente de Arena. El grado de compactación de algunas capas son bajos y las humedades del lugar superiores a la humedad óptima, los módulos de elasticidad de la base son muy bajos se recomienda que se ubiquen en valores de 5000 a 6000 Kg /cm², para que las deformaciones por el tránsito de vehículos sean graduales entre la carpeta y la base.

GRAFICA No. 24 RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO. TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS.

No.	UBICACIÓN SONDEO	CUERPO	CALIDAD	ESPESOR	% COMPAC	PVSS	PVSH	W OPT.	W LUGAR	LL	LP	LP	C.L	E.A.	ABSORCION	DENSIDAD	VRS DEL LUGAR	VRS	EXPANSIÓN	PORCENTAJES			CLASIFICACION S.U.C.S.
																				GRAVA	ARENA	FINOS	
TRAMO LIBRAMIENTO GUAYMAS KM. 0+000 AL KM. 21+950																							
1	0+600	B	BASE HCA	15.5	101.3	1289	1068	9.4	8.9	28.1	21.0	7.1	2.4	39.6	4.56	2.14	106.0	96.1	0.00	44.0	47.4	8.6	SP-SC
1	0+600	B	SUB-BASE	23.5	95.1	1601	2146	9.3	8.6	25.3	18.4	6.9	3.1	33.4	1.46	2.36	116.1	72.3	0.00	42.6	48.0	9.4	SP-SC
1	0+600	B	SUBRASANTE	18.5	91.4	1342	1924	9.1	8.4	30.6	19.8	10.8	4.2	18.6	--	--	100.2	65.0	0.00	40.3	43.5	16.2	SC
1	0+600	B	SUBYACENTE	18.5	91.1	1165	1713	16.8	16.1	33.4	21.8	11.6	5.2	5.4	--	--	19.4	20.1	2.14	21.2	48.3	30.5	SC
2	1+100	B	BASE HCA	15.5	103.0	1267	1981	9.3	8.1	24.7	18.0	6.7	2.2	32.4	4.49	2.26	103.0	94.6	0.28	48.1	43.3	8.6	GP-GC
2	1+100	B	SUB-BASE	21.5	97.1	1620	2160	9.1	9.1	28.6	21.9	6.7	3.5	32.1	1.59	2.31	118	73.6	0.26	47.9	43.8	8.3	GP-GC
2	1+100	B	SUBRASANTE	21.0	92.8	1352	1935	9.0	9.0	32.1	20.2	11.9	4.3	17.9	--	--	103.0	78.8	0.36	44.9	40.2	14.9	GC
2	1+100	B	SUBYACENTE	20.5	90.3	1151	1710	17.9	16.9	30.4	18.0	12.4	5.8	3.6	--	--	16.4	22.4	2.17	23.3	44.3	32.4	SC
3	2+220	B	BASE HCA	15.5	106.4	1291	1994	9.6	9.3	27.3	21.0	6.3	2.8	35.1	4.50	2.23	109.6	91.2	0.00	50.3	44.1	5.6	GP-GC
3	2+220	B	SUB-BASE	22.5	93.9	1616	2139	9.5	9.1	31.2	19.8	6.1	4.2	28.4	1.57	2.38	112.3	82.3	0.00	45.9	44.5	9.6	GW-GC
3	2+220	B	SUBRASANTE	24.5	94.2	1824	1988	9.4	8.7	29.6	19.8	12.4	4.1	19.1	--	--	100.1	72.1	0.00	0.6	74.0	26.0	SC
3	2+220	B	SUBYACENTE	22.0	91.7	1568	1847	18.4	17.8	35.1	21.9	13.2	4.9	4.3	--	--	19.2	26.7	2.00	0.0	79.5	20.5	SC
4	3+500	B	BASE HCA	16.0	100.1	1284	1968	9.1	8.7	25.6	17.4	8.2	3.4	31.1	4.48	2.29	104.0	100.2	0.00	46.3	43.4	10.3	GP-GC
4	3+500	B	SUB-BASE	20.5	94.1	1623	2145	9.6	9.2	29.4	21.8	7.6	4.2	30.5	1.59	2.34	111.3	76.3	0.00	43.9	44.8	11.3	GP-GC
4	3+500	B	SUBRASANTE	23.5	90.9	1235	1931	8.9	8.2	31.6	20.1	11.5	3.8	11.5	--	--	99.6	69.2	0.00	46.2	40.2	13.6	GC
4	3+500	B	SUBYACENTE	22.5	98.9	1540	1800	17.5	16.9	33.4	20.6	12.8	5.1	3.1	--	--	22.6	24.3	2.16	28.1	40.1	31.8	SC
5	4+100	B	BASE HCA	15.5	100.3	1276	1956	9.4	8.2	29.3	20.4	8.9	3.1	31.2	4.41	2.21	109.3	103.0	0.00	42.3	45.4	12.3	SC
5	4+100	B	SUB-BASE	21.5	96.2	1634	2136	9.2	8.5	30.6	23.5	7.1	4.3	27.4	1.59	2.34	110.8	65.3	0.00	40.3	46.6	13.1	SC
5	4+100	B	SUBRASANTE	22.5	91.2	1329	1915	8.4	7.9	33.6	23.2	10.4	4.1	12.3	--	--	96.2	72.3	0.00	48.2	37.3	14.5	GC
5	4+100	B	SUBYACENTE	21.0	90.6	1126	1729	16.2	15.7	30.9	19.6	11.3	4.7	3.5	--	--	26.3	21.6	2.24	26.2	41.4	32.4	SC
6	5+000	B	BASE HCA	17.5	106.2	1264	1985	9.0	8.3	27.2	20.4	6.8	2.8	36.1	4.23	2.27	100.6	98.6	0.00	44.2	46.4	9.4	SC
6	5+000	B	SUB-BASE	21.5	94.4	1639	2113	9.7	9.1	25.9	20.2	5.7	4.0	21.5	1.54	2.36	95.3	71.3	0.00	41.2	45.6	13.2	SC
6	5+000	B	SUBRASANTE	20.5	92.8	1329	1939	8.6	7.9	30.8	23.2	7.6	3.4	20.3	--	--	97.4	60.8	0.00	40.2	43.6	16.2	GC
6	5+000	B	SUBYACENTE	18.5	90.4	1131	1731	15.7	15.2	31.6	21.8	9.8	3.5	5.1	--	--	23.8	20.5	2.16	23.1	46.5	30.4	SC
7	6+000	B	BASE HCA	15.5	101.4	1014	1982	9.5	9.0	24.3	21.2	3.2	1.7	36.1	1.91	2.33	97.0	98.6	0.00	54.2	38.1	7.7	GP-GC
7	6+000	B	SUB-BASE	15.5	96.7	1398	1980	10.0	8.8	23.1	19.6	3.5	2.3	35.6	2.69	2.24	92.0	51.3	0.00	46.6	38.0	15.4	GC
7	6+000	B	SUBRASANTE	21.0	93.6	1310	2020	9.0	7.8	25.1	20.5	4.6	2.1	32.3	--	--	90.0	46.1	0.00	40.3	40.5	19.2	SC
7	6+000	B	SUBYACENTE	19.5	92.4	1265	1920	12.0	10.5	22.9	19.0	3.9	1.9	30.1	--	--	92.0	68.0	0.00	26.4	61.8	11.8	SC



Para corregir estas anomalías, será necesario mejorar las características de resistencia de la base, con materiales que sean resistentes a los cambios de humedad, al tratar la base se corregirá la deficiencia de los grados de compactación bajos.

IV.2 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

De los análisis realizados, el diseño del pavimento nos arroja que la base presenta un valor relativo de soporte crítico del 85.0%, se encuentra ligeramente inferior al 100% que especifica el método, el espesor de la base requerida con el VRS crítico es de 80%, es de 25 cm., actualmente se tiene una base hidráulica de buena calidad pero no cumple con los espesores mínimos ya que estos se encuentran entre 15.5 a 22.5 cm. Para corregir lo anterior es necesario mejorar las características de calidad y de resistencia.

IV.3 METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

De la medición de las deflexiones del pavimento por medio de la Viga Benkelman, podemos observar que las mediciones son superiores a las cuarenta milésimas de pulgada, por lo que el pavimento requiere un refuerzo de concreto asfáltico de 15.0 a 23.25 cm. indicio de que el pavimento existente actualmente presenta cierto grado de fatiga y deformación y requiere reforzarse.

Para construir este refuerzo es necesario corregir los daños superficiales de la carpeta y de la base hidráulica por lo que se recomienda fresar superficialmente la carpeta y la base hidráulica en un espesor de 20 cm. tenderlo y compactarlo al 100% y posteriormente construir el espesor del refuerzo calculado para cada subtramo en particular.

IV.4 PRIMERA ALTERNATIVA.

Esta alternativa recomienda cortar y recuperar un espesor de 25.0 centímetros, posteriormente se le incrementara el 4% de cemento Pórtland respecto al peso volumétrico seco suelto del material recuperado para lograr que la capa de base tenga un módulo elástico de 5000 a 6000 kg/cm², enseguida se construirá una carpeta asfáltica con un espesor de 10.0 centímetros, elaborada en caliente con cemento asfáltico tipo AC-20 modificado con polímero tipo solprene SBS o similar al 2.5%, y será compactada al 95% del peso volumétrico máximo determinado con la prueba Marshall, debiendo cumplir con las especificaciones generales.



IV.5 LA SEGUNDA ALTERNATIVA.

Esta alternativa consiste en la construcción de una carpeta asfáltica sobre una capa de material recuperado cortando carpeta y la base hidráulica en un espesor de 20 cm y construyendo una carpeta asfáltica de espesor indicado en el Método del Instituto Norteamericano del asfalto.

CAPITULO V

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS ALTERNATIVAS DE REHABILITACION DEL PAVIMENTO.

V.1 PRIMERA ALTERNATIVA.

Los trabajos que se proponen en esta alternativa tienen el objetivo de mejorar la capacidad estructural de la base existente y garantizar que durante el periodo de diseño, con una buena conservación, los pavimentos cumplan el periodo de servicio requerido. El procedimiento es el siguiente:

1.-Se cortarán y recuperarán 25 centímetros de la estructura existente, que incluye la carpeta asfáltica y parte de la base hidráulica; los tramos indicados que se recuperarán se observan en la siguiente gráfica, debiendo utilizar una máquina Rotomill o una recuperadora tipo RR500 o similar.

GRÁFICA No. 25 TRAMOS A RECUPERAR

CUERPO	TRAMO DE KM AL KM	CARRIL
B	0+000 AL 21+950	BAJA, ALTA Y ACOTAMIENTO

Al material se le incorporará el 4.0% de cemento Pórtland en relación al peso volumétrico suelto del material, es decir 62 Kg./m^3 , los materiales deberán ser mezclados con la máquina recuperadora y se les incorporará una humedad mayor del 3% de la humedad óptima, deberá afinarse y nivelarse con motoconformadora, compactarse con rodillo vibratorio al 100% de su peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba AASHTO modificada. Esta capa deberá curarse con riegos de agua, hasta que se le apliquen el riego de impregnación.



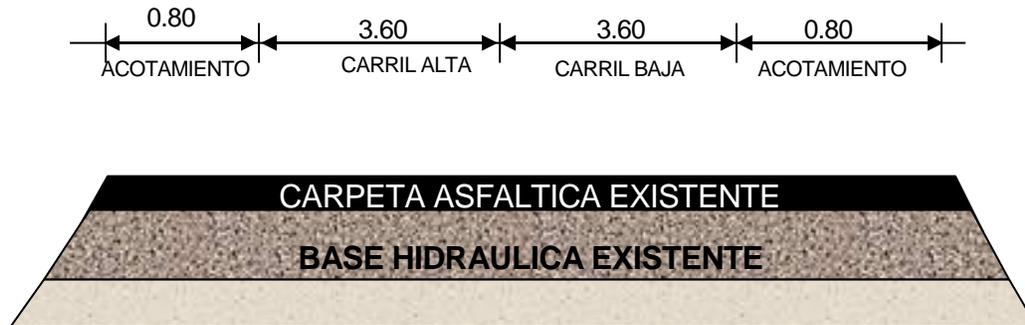
2.-La capa recuperada, nivelada, afinada, con una textura adecuada y compactada se le aplicará un riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento medio a razón de 1.2 l/m^2 , dejándola el tiempo necesario para que se adhiera al material pétreo de la base, la emulsión deberá ser diseñada para garantizar la adherencia con el tipo de material pétreo. Previamente deberá aplicarse un barrido enérgico a la superficie para dejarla libre de polvo y partículas perjudiciales, esto se hará con barredora mecánica autopropulsada. El nivel ya terminado será el mismo que tenía la carpeta existente, por lo que tendrá que desperdiciarse lo que corresponda al volumen del cemento Pórtland incorporado.

3.-Se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido tipo RR-2K, a razón de 0.5 l/m^2 dejándola el tiempo necesario para que adquiera la viscosidad necesaria para recibir la carpeta asfáltica en toda la superficie de la base mejorada y acotamientos.

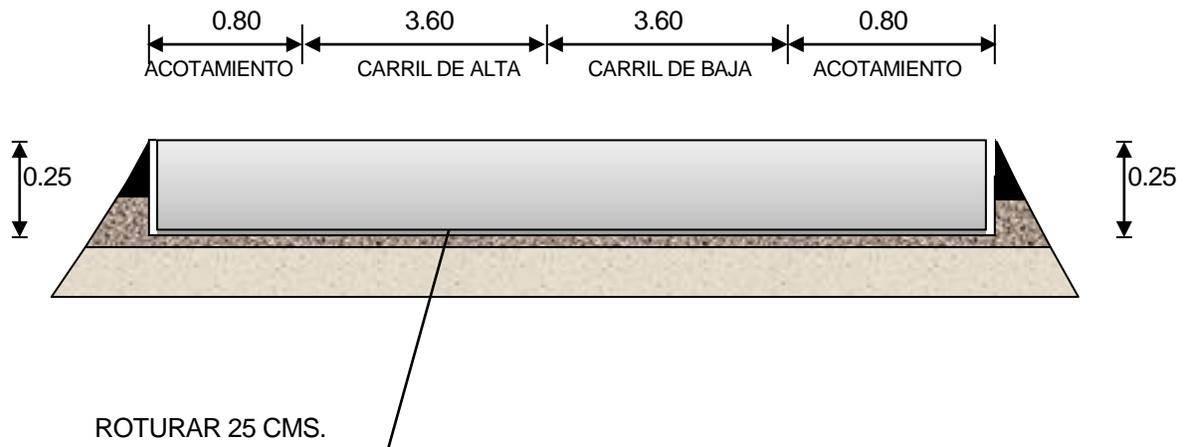
4.-Se construirá una carpeta asfáltica elaborada en planta estacionaria en caliente de 10.00 cm de espesor compactada al 95% de su peso volumétrico máximo determinado con la prueba Marshall. La carpeta deberá ser elaborada con cemento asfáltico tipo AC-20 modificado con un aditivo (polímero) tipo Solprene SBS 411 o similar al 2.5 % en proporción con el peso del cemento asfáltico. Deberá ser tendida con maquina extendedora tipo Finisher. Tanto los procedimientos constructivos como los materiales deberán cumplir con las normas y especificaciones particulares y generales propuestas en el estudio las cuales se pueden observar en el apartado de anexos.

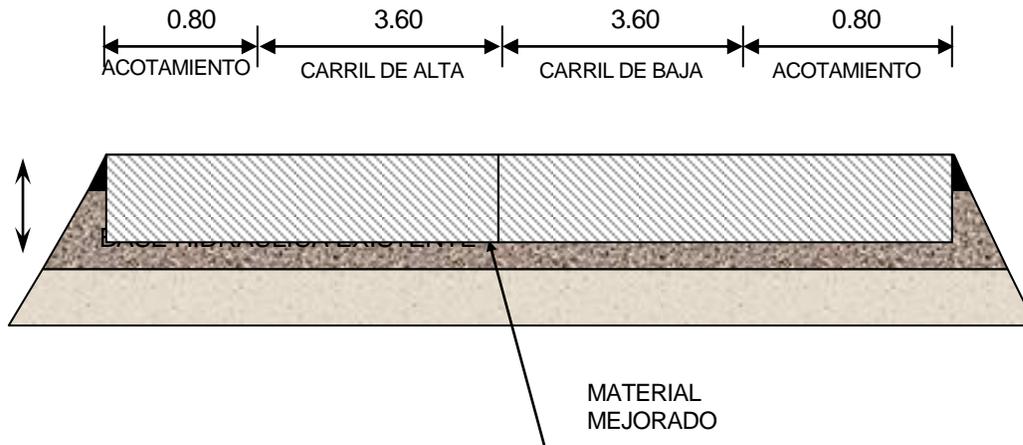
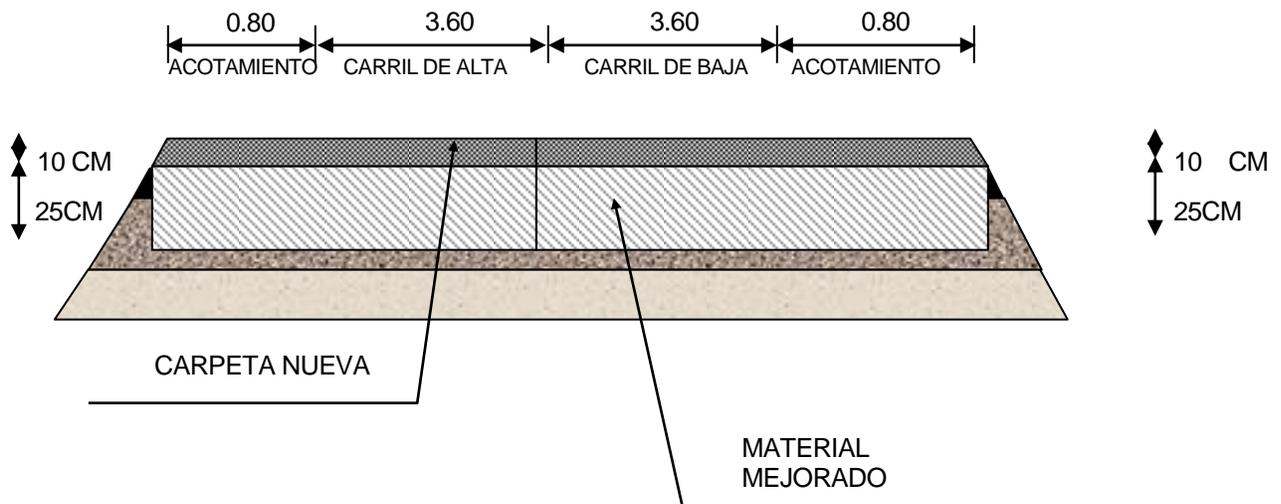
PRIMERA ALTERNATIVA

A) ESTRUCTURA ACTUAL



B) FRESADO



C) MATERIAL MEJORADO CON EL 4% DE CEMENTO PORTLAND**D) CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA**



V.2 SEGUNDA ALTERNATIVA

En esta alternativa primeramente se procederá a la reparación de baches; una vez corregida la zona de baches se cortarán y recuperarán 20 cm, posteriormente se construirá una carpeta de 15 a 23.25 cm (según el tramo en base a los resultados obtenidos por el Instituto Norteamericano del Asfalto) como a continuación se describe.

1.- Reparación de baches profundos: Para realizar la reparación de baches profundos se deberá retirar las capas inestables, hasta encontrar material en buen estado, el procedimiento se hace mediante un cajeo de tal dimensión que abarque 30 cm, mayor que el área afectada, con dos de sus lados perpendiculares al eje de la carretera y cuyas caras sean verticales. Este procedimiento se puede efectuar mediante el uso de herramientas manuales o equipo ligero, se deberá procurar dejar las excavaciones bien perfiladas.

Se realizará el relleno de las excavaciones utilizando material para base hidráulica compactándola en capas de 20 cm., al 95% de su peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba pórtler, la última capa antes del nivel de la carpeta será de 25 cm. compactada al 100%.

La superficie deberá estar libre de polvo y partículas perjudiciales cuando se aplique el riego de liga el cual será con emulsión de rompimiento rápido a razón de 0.7 l/m², posteriormente se rellenará la caja con mezcla asfáltica elaborada en planta y en caliente, compactándola al 95% de su peso volumétrico determinado con la prueba Marshall. La calidad de la mezcla deberá cumplir con las especificaciones generales y particulares que se indican en el estudio para las mezclas asfálticas utilizadas para carpetas asfálticas.

2.-Recuperación de base y carpeta asfáltica: Una vez realizados los trabajos en la zona de baches se cortarán y recuperarán 20 cm de la estructura existente; los materiales recuperados deberán ser mezclados con una maquina recuperadora y se les incorporará una humedad mayor al 3% de la humedad optima; posteriormente, la mezcla de materiales deberá afinarse y nivelarse con motoconformadora y compactarse con rodillo vibratorio al 100% de su peso volumétrico seco máximo, determinado con la prueba AASHTO modificada a cinco capas. La capa tendida, afinada, nivelada y compactada deberá curarse con riegos de agua, hasta que se le apliquen los riegos de impregnación.

Se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido, a razón de 0.5 l/m², cuidando que en ningún momento quede asfalto encharcado, se dejará el tiempo necesario para que adquiera la consistencia necesaria para recibir la mezcla asfáltica. Este procedimiento se repetirá cuando el espesor de la carpeta sea mayor de 10cm.

Se construirá una carpeta de concreto asfáltico elaborado en caliente en planta estacionaria, con agregado pétreo triturado totalmente con tamaño máximo de 3/4 de pulgada a finos y cemento asfáltico AC-20 modificado con el 2.5% con polímero Solprene

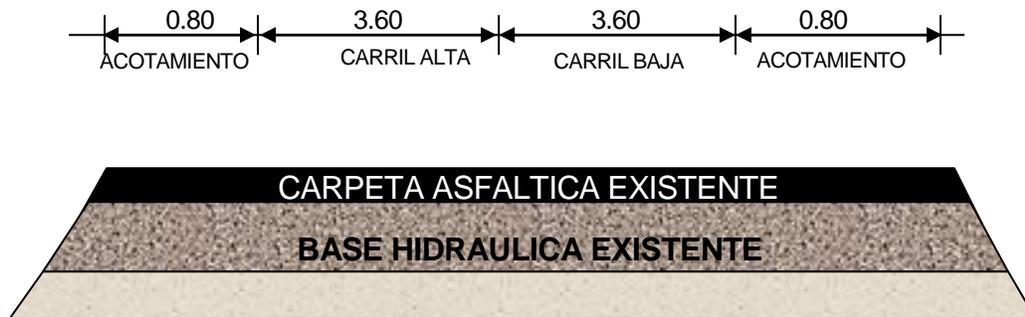
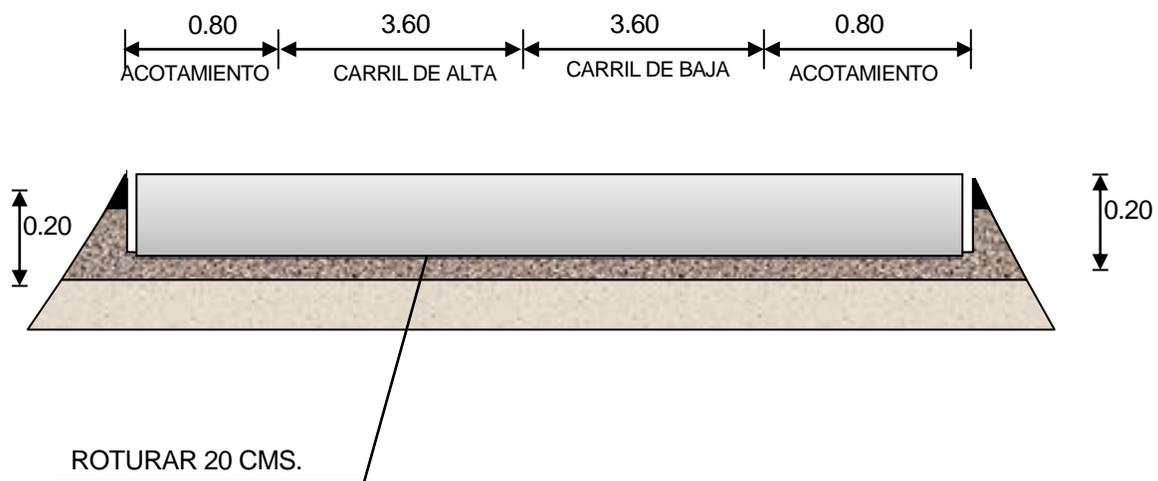
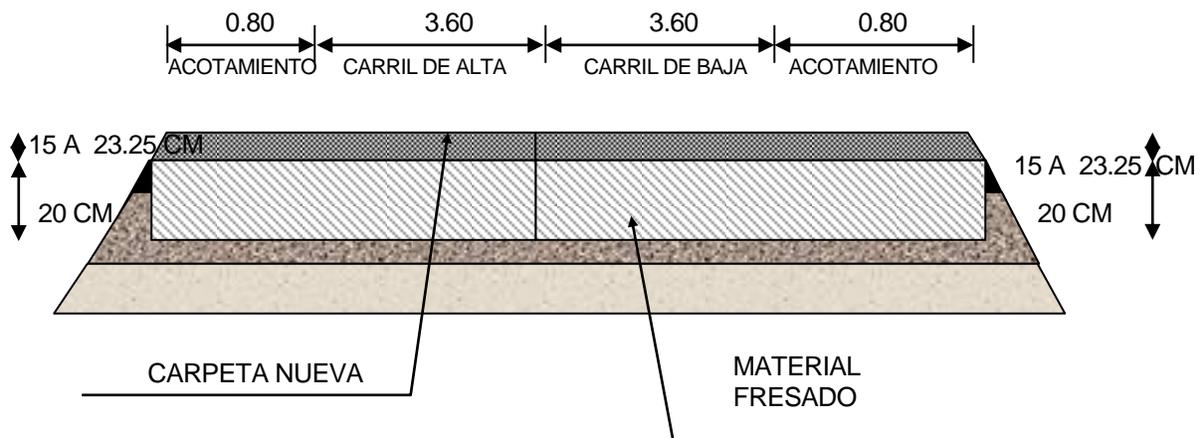


SBS 411 o similar. El espesor de la carpeta asfáltica será de 15 a 23.25 cm según el tramo compactados al 95 % de su peso volumétrico máximo de la prueba Marshall. El equipo que se utilice en la elaboración y en el tendido deberá estar en óptimas condiciones. Los materiales deberán cumplir con todas las especificaciones particulares y generales marcadas en el estudio las cuales se pueden observar en el apartado de anexos.

Esta alternativa se aplicará en toda la sección del Km. 0+000 al km 21+950, incluyendo acotamientos.

GRÁFICA No. 26 TRAMOS A REFORZAR

TRAMO	SUBTRAMO	CUERPO	REFUERZO DE CONCRETO ASFALTICO EN CM
0+000 – 21+950	0+000 - 2+320	B	19.0
0+000 – 21+950	2+320 – 4+270	B	18.75
0+000 – 21+950	4+270 - 5+510	B	23.25
0+000 – 21+950	5+510 – 6+960	B	15.0
0+000 – 21+950	6+960 – 9+670	B	15.0
0+000 – 21+950	9+670 – 12+100	B	15.0
0+000 – 21+950	12+100 – 14+610	B	15.0
0+000 – 21+950	14+610 – 17+220	B	15.0
0+000 – 21+950	17+200 – 19+870	B	19.0
0+000 – 21+950	19+870 -21+950	B	18.75

SEGUNDA ALTERNATIVA**A) ESTRUCTURA ACTUAL****B) FRESADO****C) CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFALTICA**



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los defectos encontrados en la carpeta asfáltica con más intensidad pertenecen a los del tipo de roderas y agrietamiento de tipo piel de cocodrilo, éste tipo de deterioros son característicos de pavimentos ya fatigados y su capa de base material con insuficiente capacidad estructural de carga, con material asfáltico oxidado y rigidizado y de pavimentos fatigados por tránsito pesado e intenso.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas a los materiales se logró determinar que en general la base hidráulica existente no cumple con las normas de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; teniendo en consecuencia una insuficiente capacidad de carga estructural y módulos de elasticidad en la base hidráulica inferiores a los recomendados; ésta condición se tiene por granulometrías finas, equivalente de arena bajo, plasticidades altas lo que refleja desgaste del material por la repetición de cargas impuestas por el tránsito, además existen algunas zonas en las que la granulometría de la base se encuentra muy fina debido a la degradación provocada por las repeticiones de carga que le son impuestas por el pesado tránsito.

Los materiales no cumplen con las especificaciones generales de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes por lo que al incrementar un % determinado de cemento Pórtland dichos materiales cumplen.

Se realizó también la evaluación de la capacidad estructural del pavimento utilizando la viga Benkelman, los valores obtenidos fueron aplicados para el diseño del refuerzo necesario calculado con el Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Del diseño y la revisión de las alternativas de rehabilitación por los métodos de la UNAM y del Instituto Norteamericano del Asfalto; resulta que en las rehabilitaciones propuestas, la vida útil tanto por deformación como por fatiga es superior a la de proyecto; sin embargo se tendrá que hacer una mejora a la base hidráulica.

Por lo anterior como medida correctiva para reforzar la estructura del pavimento actual, es conveniente aumentar su capacidad de carga en la estructura del pavimento para soportar las cargas que le son transmitidas por el pesado tránsito vehicular, esto se logrará mediante la recuperación de una capa de 25.0 cm., agregándole el 4% de cemento Pórtland (alternativa I), recuperar 20.0 cm mejorando la carpeta y parte de la base hidráulica, (alternativa II), después se aplicará un riego de impregnación y un riego de liga para apoyar una carpeta asfáltica nueva de 10.0 cm.(alternativa I) y de 15 a 23.25 cm (alternativa II), lo mencionado anteriormente debe cumplir con las especificaciones generales y particulares.



Realizando un análisis de cada una de las alternativas, se determina que la **alternativa I (uno)** es la adecuada, por costo, proceso constructivo, tipo y tiempo de mantenimientos. Por lo que la Rehabilitación del Tramo Libramiento Guaymas se realizará mediante la recuperación de una capa de 25.0 cm., agregándole el 4% de cemento Pórtland considerando esta capa la base hidráulica cementada y 10.0 cm de carpeta asfáltica.

Por lo que los resultados del método del instituto de ingeniería de la UNAM son los más , favorables para la rehabilitación del pavimento en estudio; ya que toma en cuenta los VRS críticos, los espesores de la estructura actual del pavimento y la suma de ejes equivalentes; sin embargo es necesario darle un tratamiento especial a la base hidráulica para que se garantice una distribución adecuada de los esfuerzos que le son transmitidos por las cargas vehiculares y tener así una vida útil superior a la de proyecto.

El propósito de este trabajo es: DEJAR EN CLARO QUE EL INGENIERO CIVIL DEBE TENER UN CRITERIO AMPLIO TOMANDO EN CUENTA LOS DIVERSOS FACTORES QUE INTERVIENEN COMO: COSTO, PROCESO CONSTRUCTIVO, TIPO DE MANTENIMIENTO Y TIEMPO DE EJECUCION, QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MAS VIABLE PARA LA REHABILITACION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE QUE CUMPLA CON NORMAS VIGENTES DE CALIDAD QUE RIGEN ESTE TIPO DE TRABAJOS; ASEGURANDO DE ESTA MANERA QUE EL SERVICIO QUE DEMANDAN LAS VIAS DE COMUNICACIÓN, BRINDEN AL USUARIO UN SERVICIO DE TRANSITO COMODO, RÁPIDO, SEGURO Y BARATO PARA TRASLADARSE DE UN LADO A OTRO SIN DAÑAR SU VEHICULO.



CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- FUENTE DE INFORMACIÓN: INEGI

- 2.-ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD DE LA RED CARRETERA EN MÉXICO
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.
MARIO C. ARRIAGA PATIÑO
PAUL GARNICA ANGAS
ALFONSO RICO RODRIGUEZ
PUBLICACION TECNICA No.108
SANFANDILA QUERETARO 1998

- 3.- REGLAMENTO SOBRE EL PESO, DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE LOS
VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LOS CAMINOS Y
PUENTES DE JURISDICCIÓN FEDERAL
Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de enero de 1994

- 4.- GUIA DE PROCEDIMIENTOS Y TECNICAS PARA LA CONSERVACION DE
CARRETERAS EN MEXICO DEL 2014 DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y
TRANSPORTES.

- 5.- NORMAS DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

- 6.- LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES, ALFONSO RICO
RODRIGUEZ – HERMILO DEL CASTILLO.



CAPITULO VIII

ANEXOS

ANEXO DE FOTOGRAFIAS



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA PERSONAL DE LABORATORIO DETERMINANDO EL GRADO DE COMPACTACION EN LA CAPA DE BASE HIDRAULICA EN EL KM 2+120 CUERPO B



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA FALLA TIPO PIEL DE COCODRILLO CON GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES EN CUERPO "B" KM. 11+950 DE LA CARRETERA LIBRAMIENTO GUAYMAS.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA EXPLORACION DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN CUERPO "B" KM. 19+000 DE LA CARRETERA LIBRAMIENTO GUAYMAS.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA MEDICION DE RODERAS CON REGLA METALICA EN EL CARRIL DE BAJA VELOCIDAD KM 5+400



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA MEDICION DE RODERAS CON REGLA METALICA EN EL CARRIL DE BAJA VELOCIDAD KM 5+400



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA MEDICION CON VIGA BENKELMAN PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA DEL PAVIMENTO EN EL CARRIL DE BAJA VELOCIDAD KM 17+400



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LAS MEDICIONES DEL INDICE DE SERVICIO UTILIZANDO EL PERFILGRAFO.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN LOS PCA. PARA REALIZAR LOS ENSAYES CORRESPONDIENTES A LOS MATERIALES.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE ARENA REALIZADA A LOS MATERIALES EXTRAIDOS EN LOS SONDEOS REALIZADOS.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVAN GRIETAS LONGITUDINALES Y PIEL DE COCODRILO EN EL KM 20+260 EN EL CARRIL DE BAJA VELOCIDAD.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVAN LA REALIZACION DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN CAMPO.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA EXPLORACION DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE PCA'S EN EL KM 7+300 CARRIL DE BAJA



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA EL DETERIORO DE LA CARRETERA EN EL CARRIL DE BAJA KM 15+600.



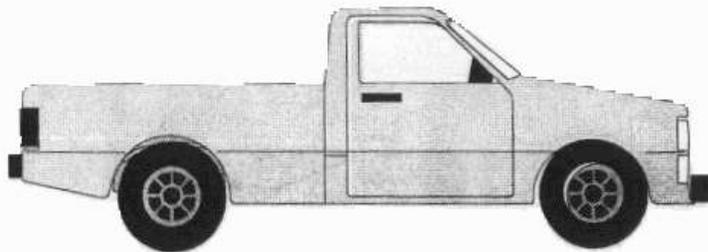
EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA MEDICION DE LA RODERA EN EL KM 2+400 CARRIL DE BAJA VELOCIDAD.



EN LA FOTOGRAFÍA SE OBSERVA LA UTILIZACION DE LA VIGA BENKELMAN PARA DETERMINAR LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO EN EL KM 13+800 CARRIL DE BAJA.

FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE PAVIMENTO FLEXIBLE

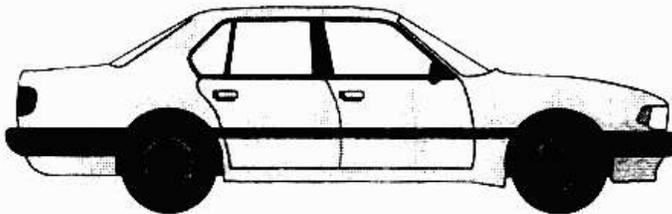
Automoviles y vehículos ligeros



3,000 lbs
F.C.E. = 0.0011

1,400 lbs
F.C.E. = 0.0001

Peso total = 4,400 lbs
F.C.E. = 0.0012



1,500 lbs
F.C.E. = 0.0001

1,500 lbs
F.C.E. = 0.0001

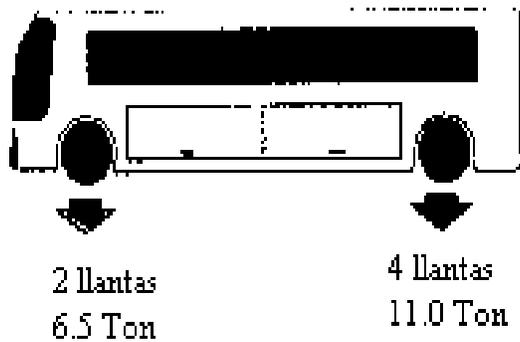
Peso total = 3,000 lbs
F.C.E. = 0.0002

F.C.E. = factor de carga equivalente

PESO BRUTO VEHICULAR MAXIMO EN CAMINO TIPO A

AUTOBUS B2

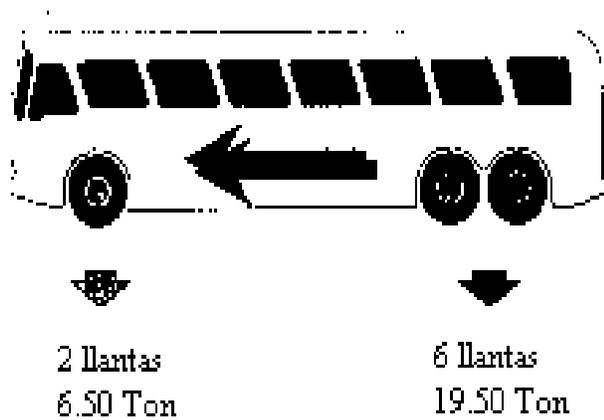
Para los autobuses de 4 ruedas en el eje trasero se considera:



PESO TOTAL = 17.5 TON.

AUTOBUS B3

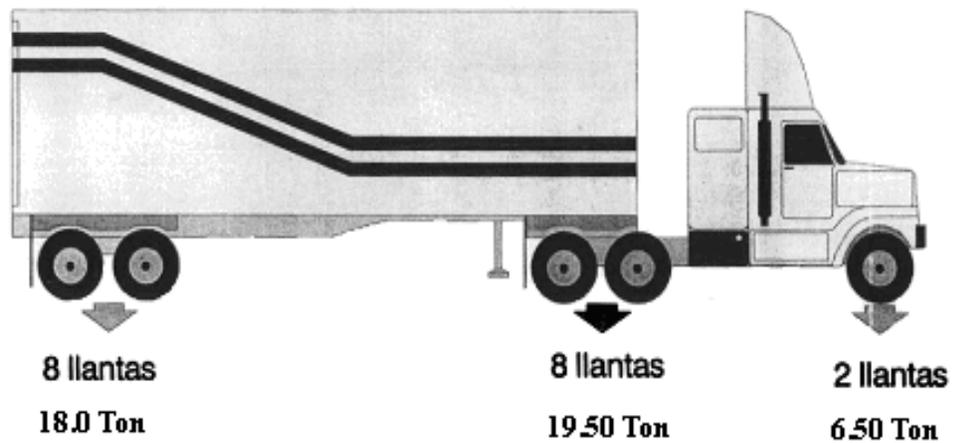
Para los autobuses de 8 ruedas en el eje trasero se toma



PESO TOTAL =26.0 TON

PESO BRUTO VEHICULAR MAXIMO EN CAMINO TIPO A

**Vehículo de carga de 5 ejes
Tractor 3 ejes
Remolque 2 ejes**

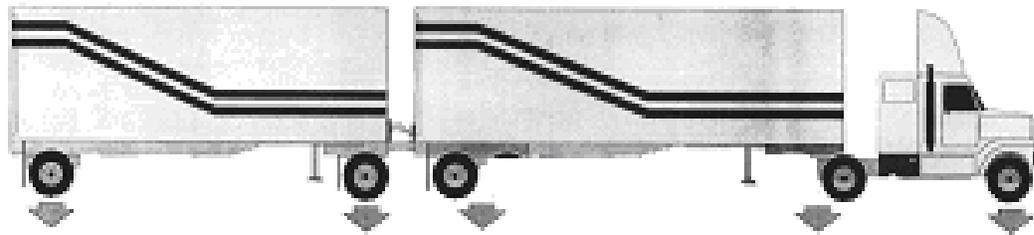


CONFIGURACION VEHICULAR = T3S2

PESO TOTAL= 44 TON

PESO BRUTO VEHICULAR MAXIMO EN CAMINO TIPO A

VEHICULO DE CARGA DE 5 EJES



4 llantas
10.0 Ton

4 llantas
10.0 Ton

4 llantas
10.0 Ton

4 llantas
11.0 Ton

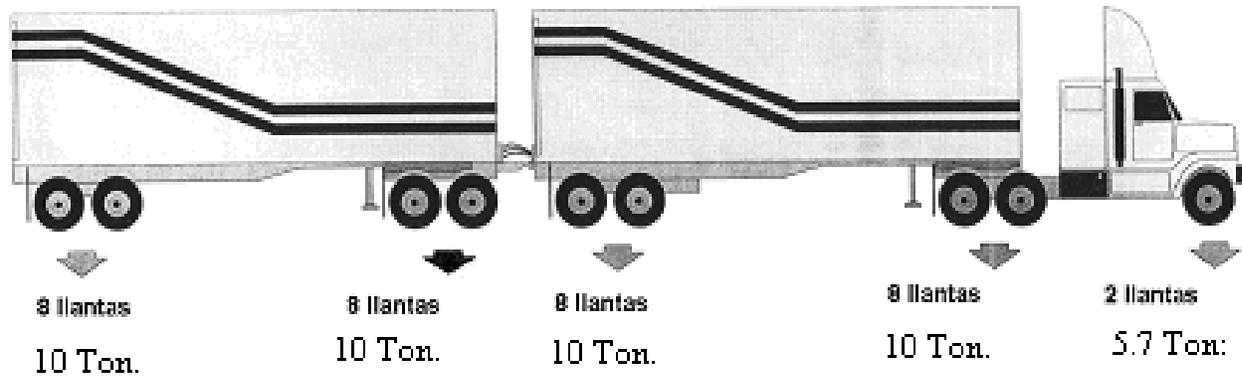
2 llantas
6.5 Ton.

CONFIGURACION VEHICULAR T2-S1-R2

PESO TOTAL = 47.50

PESO BRUTO VEHICULAR MAXIMA EN CAMINO TIPO A

Vehículo de carga de 9 ejes
Tractor 3 ejes
Remolque 2 ejes
Semiremolque 4 ejes



CONFIGURACION VEHICULAR= T3-S2-R4
PESO TOTAL = 73.7 TON.



A continuación se describen dos normas técnicas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes utilizadas para la rehabilitación del pavimento.

NORMA PARA CONSERVACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS N-CSV-CAR-4-02-001/03

LIBRO: CSV. CONSERVACION
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 4. TRABAJOS DE RECONSTRUCCION
TITULO: 02. Pavimentos
CAPITULO: 001. Recuperación en frio de pavimentos asfálticos

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos por considerar en los trabajos de recuperación en frio de pavimentos asfálticos de carreteras, incluyendo la desintegración de la carpeta y de las capas inferiores mediante recuperadora; así como el remezclado, tendido y compactación del material recuperado, con el propósito de formar una nueva base o subbase hidráulica con materiales modificados, estabilizados, mezcla asfáltica en frío o concreto hidráulico de baja resistencia.

B. DEFINICIÓN

Es el conjunto de actividades que se realizan para desintegrar la carpeta asfáltica y parte o la totalidad del material de base o subbase, por medio mecánicos en frio, remezclar en el lugar el material recuperado con materiales pétreos nuevos, modificados o estabilizados con materiales asfálticos, cemento Portland, cal u otros o transformarlo en concreto hidráulico de baja resistencia; tender y compactar el material recuperado para formar una base o subbase sobre la que posteriormente se construirá una nueva carpeta.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N·LEG·3
Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras	N·PRY·CAR·10·03·001
Limpieza de la Superficie de Rodamiento y Acotamientos	N·CSV·CAR·2·02·001
Bacheo Profundo Aislado	N·CSV·CAR·2·02·004
Instalación de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras de Conservación	N·CSV·CAR·2·05·011



Prácticas Ambientales durante la Conservación Periódica de las Obras	N·CSV·CAR·5·02·001
Calidad de Cemento Pórtland	N·CMT·2·02·001
Materiales para Bases Hidráulicas	N·CMT·4·02·002
Materiales para Bases Tratadas	N·CMT·4·02·003
Cal para Estabilizaciones	N·CMT·4·03·001
Calidad de Materiales Asfálticos	N·CMT·4·05·001
Criterios Estadísticos de Muestreo	M·CAL·1·02
Compactación AASHTO	M·MMP·1·09

D. MATERIALES

D.1. El Contratista de Obra será el responsable de someter el material recuperado a los tratamientos establecidos en el proyecto o por la Secretaría.

D.2. Los materiales nuevos pétreos, asfálticos, cemento Pórtland y cal que se utilicen en la construcción de capas de pavimento mezclados con materiales producto de la recuperación en frío de pavimentos asfálticos, serán los que indique el proyecto o la Secretaría y cumplirán con lo establecido en las Normas N·CMT·2·02·001, *Calidad de Cemento Pórtland*, N·CMT·4·02·002, *Materiales para Bases Hidráulicas*, N·CMT·4·02·003, *Materiales para Bases Tratadas*, N·CMT·4·03·001, *Cal para Estabilizaciones* y N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos* salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Los materiales pétreos que se utilicen en la nueva mezcla procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.3. Si dados los requerimientos de la obra, es necesario modificar las características de los materiales recuperados o de los materiales asfálticos nuevos utilizando aditivos, éstos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de éstos aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la consideración de la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y los resultados de las pruebas de calidad, así como los procedimientos para su manejo, uso y aplicación.

D.4. No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en las Fracciones D.1 a D.3 de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra, en el caso de materiales nuevos.

D.5. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en las Fracciones D.1 a D.3 de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, corrija las deficiencias o reemplace los materiales nuevos por otros adecuados. Los atrasos en el programa de ejecución



detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la recuperación en frío de pavimentos asfálticos, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto o señalada por la Secretaría, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación o el que indique la Secretaría, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que duren los trabajos y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista de Obra corrija las deficiencias lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. RECUPERADORA

E-1.1. La recuperadora será autopropulsada y estará equipada con las unidades necesarias específicamente diseñadas para disgregar la carpeta asfáltica y las capas inferiores. Así como con dispositivos para la reducción de emisiones de polvo y de preferencia una regla de extendido. En caso de no contar con ésta última, será necesario utilizar una motoconformadora.

E.1.2. Será capaz de cortar y desintegrar el material de la capa asfáltica y las capas inferiores del pavimento, al tamaño y hasta la profundidad indicados en el proyecto o por la Secretaría.

E.1.3. Cuando se vaya a realizar el mezclado de los nuevos materiales adicionados con el equipo de recuperación, éste preferentemente contará, además, con un dispositivo para la adición del asfalto, cemento Portland, cal o el material que indique el proyecto. La adición de cemento Portland o cal, siempre se hará en lechada o mediante algún procedimiento aprobado por la Secretaría. Que garantice la homogeneidad de la mezcla.

E.2. MOTOCONFORMADORAS

Para la conformación de las capas recuperadas cuando la recuperadora no cuente con regla de extendido. Serán autopropulsadas, con cuchillas cuya longitud sea mayor de tres coma sesenta y cinco metros, y con una distancia entre ejes mayor de cinco coma dieciocho metros.

E.3. COMPACTADORES

E.3.1. Compactadores de rodillos metálicos



Autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos; en el caso de compactadores vibratorios, éstos estarán equipados con controles para modificar la amplitud y frecuencia de vibración. Pueden ser de tres rodillos metálicos en dos ejes, o de dos o tres ejes con rodillos en tándem, con diámetro mínimo de un metro y con la masa que garantice compactación uniforme en todo el espesor de la capa.

E.3.2. Compactadores neumáticos

Remolcados o autopropulsados, con una masa total mínima de treinta y cinco toneladas. Tendrán nueve ruedas como mínimo. De igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser lastrado, de forma que la masa total del compactador se distribuya uniformemente en ellas, dispuestas de manera que las llantas del eje trasero cubran, en una pasada, el espacio completo entre las llantas adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas, con tamaño mínimo de 7.50-15 de cuatro capas infladas uniformemente a la presión recomendada por el fabricante, con una tolerancia máxima de diecisiete coma veinticinco kilopascales (2,5 lb/in).

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

F.1. El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N·CMT-2·02·001, *Calidad de Cemento Pórtland*, N·CMT-4·02·002, *Materiales para Bases Hidráulicas*, N·CMT-4·02·003, *Materiales para Bases Tratadas*, N·CMT-4·03·001, *Cal para Estabilizaciones* y N·CMT-4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos*. Se sujetarán en lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

F.2. Los residuos producto de la recuperación de pavimentos asfálticos que no vayan a ser utilizados, se cargarán y transportarán al banco de desperdicios que apruebe la Secretaría, en vehículos con cajas cerradas o protegidas con lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen. Cuando sean depositados en un almacenamiento temporal, se tomarán las medidas necesarias para evitar la contaminación del entorno, trasladándolos al banco de desperdicios lo más pronto posible.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la recuperación en frío de pavimentos asfálticos, se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N·LEG·3.

Ejecución de Obras

G.2. CONDICIONES CLIMATICAS



Los trabajos para la recuperación en frío de pavimentos asfálticos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se recuperarán pavimentos:

G.2.1. Con agua libre o encharcada en la superficie.

G.2.2. Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

G.2.3. Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los cuatro grados Celsius, en el caso de bases o subbases asfálticas. La temperatura ambiente será tomada a la sombra, lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.3. TRABAJOS PREVIOS

G.3.1. Señalamientos y dispositivos de seguridad

Antes de iniciar los trabajos de recuperación en frío de pavimentos asfálticos, el Contratista de Obra instalará las señales y los dispositivos de seguridad que se requieran conforme a la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, *Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras*, como se indica en la norma N-CSV CAR-2-05-011, *instalación de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras de Conservación* y contará con los bandereros que se requieran, tomando en cuenta todo lo referente a señalamiento y seguridad que establece la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*. En ningún caso se permitirá la ejecución de los trabajos de recuperación en frío de pavimentos asfálticos mientras no se cumpla con lo establecido en este inciso. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por éste motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.3.2. Limpieza de la superficie por recuperar

Si así lo indica el proyecto o la Secretaría inmediatamente antes del inicio de los trabajos, la superficie de rodadura se limpiará de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CSV CAR 2 02 001. *Limpieza de la Superficie de rodamiento y acotamientos*.

G.3.3. Bacheo

Todos los baches profundos identificados en la superficie por recuperar serán tratados de acuerdo con lo indicado en el proyecto o por la secretaria y conforme a lo establecido en la norma N-CSV CAR-2-02-004, *Bacheo Profundo Aislado*.

G.3.4. Precauciones durante la obra

No se permitirá que los camiones que realicen los acarrees de los distintos materiales u otros vehículos o máquinas, realicen maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién recuperada. En el caso de que por algún motivo ésta situación llegue a suceder, el Contratista de Obra reparará inmediatamente los daños causados, por su cuenta y costo, a satisfacción de la Secretaría.



G.4. CORTE CON RECUPERADORA

G.4.1. La profundidad de corte de la carpeta y las capas inferiores, será la establecida en el proyecto o por la Secretaría, cuidando que no se afecte la estructura del pavimento más allá de dicha profundidad.

G.4.2. El equipo de recuperación cortará la carpeta y las capas inferiores con una tolerancia de más menos dos coma cinco centímetros.

G.4.3. La recuperación se realizará siguiendo una trayectoria paralela al eje de la carretera, iniciando y terminando en líneas normales a dicho eje.

G.4.4. A lo largo de las aproximaciones a guarniciones o pavimentos adyacentes, los cortes a la carpeta se realizarán con los cuidados necesarios para no dañarlos.

G.4.5. El Contratista de Obra será el responsable de proteger las estructuras adyacentes, la vegetación u otros elementos, para evitar daños provocados por la recuperación en frío del pavimento.

G.5. MEZCLADO Y TENDIDO

El material recuperado será mezclado en el sitio utilizando el equipo de recuperación, añadiéndole en su caso materiales pétreos nuevos, emulsión asfáltica, cemento Portland, cal o aditivos, según lo indique el proyecto o la Secretaría para formar una nueva base o subbase; el cemento Portland y la cal serán añadidos en lechada. Para el mezclado y tendido se considerará lo siguiente:

G.5.1. El material recuperado, los materiales pétreos nuevos, los materiales asfálticos, el cemento Portland, la cal y los aditivos que se empleen en la elaboración de las mezclas, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir un producto homogéneo, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría para mezclas modificadas con consumos de tres a cinco por ciento de cemento Portland o con cal, la dosificación de los materiales será la que indique el proyecto o la Secretaría. A menos que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, la resistencia a la compresión simple de mezclas estabilizadas con seis a diez por ciento de cemento Portland, será de cuatro megapascales (40 kg/cm²) y para concretos hidráulicos de baja resistencia, con contenidos de cemento Portland mayores de diez por ciento, la resistencia será la indicada en el proyecto o por la Secretaría.

G.5.2. En el caso de modificaciones, estabilizaciones o concreto hidráulico de baja resistencia, definidas como se indica en el inciso anterior, además del cemento Portland podrá utilizarse cal, cuando así lo establezca el proyecto o indique la Secretaría.

G.5.3. En el caso de mezclas asfálticas, el diseño será responsabilidad del Contratista de Obra, considerando que para obtener las características de resistencia y pérdida de estabilidad por inmersión en agua establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, determinará el proporcionamiento adecuado mediante un diseño de mezclas en frío de acuerdo con lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N·CMT-4·02·003. Materiales para bases tratadas.

G.5.4. Cuando el proyecto o la Secretaría establezcan que el mezclado se realice en el sitio con el equipo de recuperación incorporándole cemento Portland o emulsión asfáltica al



material recuperado, la cantidad que se añada será la especificada con una tolerancia de más menos cero coma dos ($\pm 0,2$) por ciento.

G.5.5. En el caso de ser necesaria la incorporación de agua para alcanzar el contenido de agua óptimo de compactación, el agua se agregará junto con la emulsión o en la lechada de cemento Portland o cal.

G.5.6. El mezclado en el sitio se realizará de tal forma que se obtenga una mezcla uniforme sin segregación.

G.5.7. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de materiales recuperados, así como los materiales pétreos, asfálticos, cemento Portland, cal y aditivos utilizados en la elaboración de la mezcla, no se obtiene un producto con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por éste motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.5.8. El procedimiento que se utilice para la elaboración de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que la mezcla compactada, cumpla con los requerimientos establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá, en lo que corresponda, a lo indicado en la Norma N-CMT-4-02-003. Materiales para bases tratadas.

G.5.9. El tendido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques del equipo para evitar las deformaciones que se produzcan con ésta operación.

G.5.10. Se tendrá especial cuidado en traslapar las franjas de recuperación en un ancho igual al espesor de la capa recuperada; siempre que sea posible, se trabajará con recuperadoras en paralelo desfasadas para permitir el tránsito, cuando sea necesario y evitar juntas longitudinales de construcción.

G.5.11. Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes del equipo de recuperación que presenten residuos de mezcla.

G.5.12. La longitud de recuperación es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se recuperarán tramos mayores que los que puedan ser compactados de inmediato.

G.6. COMPACTACIÓN

G.6.1. Inmediatamente después de conformada la mezcla o bien cuando la emulsión haya comenzado a romper será compactada.

G.6.2. La capa recuperada se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, en general ésto requiere una alta energía de compactación, por lo que el proceso será definido en un tramo de prueba, hasta alcanzar el cien por ciento de la masa volumétrica seca máxima, obtenida



en la prueba AASHTO modificada, según lo indicado en el Manual M-MMP-1 09, *Compactación AASHTO*.

G.6.3. La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

G.7. JUNTAS TRANSVERSALES

En las bases o subbases recuperadas con cemento Portland para obtener un concreto hidráulico de baja resistencia, previamente a la compactación se formarán juntas de contracción, espaciadas según lo indique el proyecto o lo apruebe la Secretaría, mediante el paso de una quilla que deje una membrana de asfalto en casi todo el espesor de la capa o inducidas mediante la incrustación de un elemento preformado, o bien, mediante corte con sierra circular en la capa compactada y endurecida.

G.8. ACABADO

G.8.1. Durante la recuperación de la carpeta asfáltica y de las capas inferiores se evitará que los residuos resultantes se depositen en los acotamientos, los carriles abiertos al tránsito, las cunetas o cualquier tipo de obra de drenaje.

G.8.2. La superficie de la capa terminada, quedará limpia y presentará una textura y acabado uniformes en todo el ancho recuperado.

G.8.3. La superficie de la capa recuperada se conservará húmeda por lo menos durante las cuarenta y ocho horas siguientes a su compactación.

G.8.4. Al final de la jornada, las zonas de almacenamiento temporal quedarán libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de recuperado, que contaminen el entorno, depositándolos en el sitio o banco de desperdicios que apruebe la Secretaría.

G.9. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Durante el proceso de recuperación en frío de pavimentos asfálticos, el Contratista de Obra tomará las precauciones necesarias para evitar la contaminación del aire, los suelos, las aguas superficiales o subterráneas y la flora, conforme a lo señalado en la Norma N-CSV-CAR-5-02-001, *Prácticas Ambientales durante la Conservación Periódica de las Obras*, sujetándose en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la capa recuperada, hasta que hayan sido recibidas por la Secretaría, cuando el tramo sea operable.

NORMA PARA CONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS N-CTR-CAR-1-04-006/04



LIBRO	CTR. CONSTRUCCIÓN
TEMA:	CAR. Carreteras
PARTE:	1. CONCEPTOS DE OBRA
TITULO:	04. Pavimentos
CAPITULO:	006. Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente

A. CONTENIDO

Ésta Norma contiene los aspectos por considerar en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente para pavimentos de carreteras de nueva construcción.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

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, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor igual a cuatro centímetros o mayor las carpetas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Las carpetas de granulometría semiabierta o abierta, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura. Se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

C. REFERENCIAS Son referencias de esta Norma, las normas E 670 *Standard Test for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter* y E 1274, *Standard Test for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph*, publicadas por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACION
Ejecucion de obras.....	N-LEG-3
Riegos de impregnacion.....	N-CTR-CAR-1-04-004
Riegos de liga.....	N-CTR-CAR-1-04-005
Carpetas por el sistema de riego.....	N-CTR-CAR-1-04-008
Materiales petreos para mezclas asfalticas.....	N-CMT-4-04
Calidad de materiales asfalticos.....	N-CMT-4-05-001



Calidad de materiales asfálticos modificados....N-CMT-4-05-002
Calidad de mezclas asfálticas para carreteras..N-CMT-4-05-003
Criterios estadísticos de muestreo.....M-CAL-1-02

D. MATERIALES

D.1 Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras* salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.2 Si dados los requerimientos de la obra es necesario modificar las características de los materiales pétreos del material asfáltico o de la interacción entre ambos utilizando aditivos. Éstos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la consideración de la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y los resultados de las pruebas de calidad, así como los procedimientos para el manejo, uso y aplicación de los aditivos.

D.3. No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción 0.1.de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.

D.4. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción 0.1.de ésta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija o los remplace por otros adecuados, 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 de Obra.

E. 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 de Obra 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 Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado



por concepto y ubicación, que por éste motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. PLANTA DE MEZCLADO

Contara como minimo con:

E.1.1. Secador con inclinación ajustable colocado antes de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual a la capacidad de producción de la planta o mayor.

E.1.2. Un pirógrafo a la salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo.

E.1.3. Cribas para clasificar el material pétreo por lo menos en tres tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material pétreo disponible para la mezcla.

E.1.4. 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 minutos sin ser alimentadas y divididas en compartimentos para almacenar los materiales pétreos por tamaños.

E.1.5. Dispositivos para dosificar los materiales pétreos por masa, y sólo en casos excepcionales, cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen y que permitan un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.

E.1.6. Equipo para calentar el cemento asfáltico en forma controlada, que garantice que éste no se contamine y que esté provisto de un termómetro con rango de veinte a doscientos diez grados Celsius.

E.1.7. Dispositivos para dosificar el cemento asfáltico, con una aproximación de más menos dos (± 2) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento de la mezcla.

E.1.8. Mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.

E.1.9. Recolector de polvo.

E.1.10. Dispositivo para agregar finos.

E.2. PAVIMENTADOR

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.



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. Si durante la ejecución de los trabajos, los controles automáticos operan deficientemente la Secretaría a su juicio, podrá permitir al Contratista de Obra terminar el tendido del día, mediante el uso del control manual de la pavimentadora; sin embargo, el tendido se podrá reiniciar sólo cuando los controles automáticos funcionen adecuadamente.

Es recomendable contar además, con un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.

E.3. COMPACTADORES

E.3.1. Compactadores de rodillos metálicos

Autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos. Pueden ser de tres rodillos metálicos en dos ejes, o de dos o tres ejes con rodillos en tándem, con diámetro mínimo de un metro, en todos los casos.

E.3.2. Compactadores neumáticos

Remolcados o autopropulsados. Tendrán nueve ruedas como mínimo, de igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser lastrado, de forma que la masa total de compactador se distribuya uniformemente en ellas dispuestas de manera que las llantas del eje trasero cubran en una pasada, el espacio completo entre las llantas adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas, con tamaño mínimo de 7.50-15 de cuatro capas e infladas uniformemente a la presión recomendada por el fabricante, con una tolerancia máxima de treinta y cuatro coma cinco kilopascales (5 lb/in).

E.4. BARREDORAS MECÁNICAS

Autopropulsadas o remolcadas. Tendrán una escoba rotatoria con el tipo de cerdas adecuadas según el material por remover y la superficie por barrer.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas asfálticas* N-CMT-4-05-001 *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*. Se sujetarán, en lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

F.1. El transporte de la mezcla se hará siempre sobre superficies pavimentadas.

F.2. La distancia del transporte será de sesenta kilómetros como máximo, la que se reducirá un diez por ciento por cada grado de pendiente ascendente, medida como el



desnivel entre la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la longitud de transporte.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

G.2. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

G.2.1. Los materiales pétreos, asfálticos y aditivos que se empleen en la elaboración de las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir una mezcla asfáltica homogénea, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

G.2.2. El proporcionamiento se determinará mediante un diseño de mezclas asfálticas en caliente, para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Este diseño será responsabilidad del Contratista de Obra.

G.2.3. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la elaboración de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, no se obtiene una mezcla con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra 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 de Obra.

G.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas asfálticas con mezcla en caliente:

G.3.1. Sobre superficies con agua libre o encharcada.

G.3.2. Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

G.3.3. Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas esté por debajo de los quince grados Celsius.

G.3.4. Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince grados Celsius y su tendencia sea a la baja. Sin embargo, las carpetas de granulometría densa pueden ser construidas cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los diez grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.4. TRABAJOS PREVIOS

G.4.1. Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran



existido. No se permitirá la construcción sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Secretaría.

G.4.2. Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, cuando la carpeta se construya sobre una base, ésta debe estar impregnada de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1 04-004, *Riegos de Impregnación*. Es responsabilidad del Contratista de Obra establecer el lapso entre la impregnación y el inicio de la construcción de la carpeta.

G.4.3. Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, inmediatamente antes de iniciar el tendido de la carpeta, se aplicará un riego de liga en toda la superficie, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1 04-005, *Riegos de Liga*.

G.4.4. Los acarrees de la mezcla hasta el sitio de su utilización se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro. 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 de Obra reparará inmediatamente los daños causados, por su cuenta y costo.

G.5. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

G.5.1. El procedimiento que se utilice para la elaboración de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que la mezcla cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá lo indicado en la Norma N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

G.5.2. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad de la mezcla asfáltica difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el Contratista de Obra 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 de Obra.

G.5.3. Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de mezcla a otro hasta que la planta haya sido vaciada completamente y los depósitos de alimentación del material pétreo sean cargados con el nuevo material.

G.6. TRAMO DE PRUEBA

Sobre la superficie donde se construirá la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, el Contratista de Obra ejecutará previamente un tramo de prueba con una longitud de cuatrocientos metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que se utilizarán, considerando que:

G.6.1. La construcción del tramo de prueba se hará cumpliendo con todo lo establecido en esta Norma.

G.6.2. Una vez compactada la carpeta del tramo de prueba, se verificará que cumpla con lo establecido en la Cláusula H, de ésta Norma. En caso negativo, el Contratista de



Obra construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que cumpla con lo indicado en dicha Cláusula.

G.6.3. Si el tramo de prueba construido cumple con lo indicado en el inciso anterior podrá considerarse como parte de la obra y será objeto de medición y pago, de lo contrario no se medirá ni pagará y la Secretaría, a su juicio, determinará si es necesario o no que el Contratista de Obra retire el tramo de prueba por su cuenta y costo.

G.7. TENDIDO DE LA MEZCLA

G.7.1. Después de elaborada la mezcla asfáltica, se extenderá y se conformará con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.

G.7.2. Si la mezcla está quemada, no se permitirá su tendido.

G.7.3. El Contratista de Obra determinará, mediante la curva *Viscosidad/Temperatura* del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.

G.7.4. El tendido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.

G.7.5. En el caso de carpetas de granulometría densa, cuando el tendido se haga en dos o más franjas, con un intervalo de más de un día entre franjas, éstas se ligarán con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Esto se puede evitar si se elimina la junta longitudinal utilizando pavimentadoras en batería.

G.7.6. Cuando se trate de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se pueden evitar las juntas longitudinales utilizando pavimentadoras en batería. Cuando esto no sea posible, no se utilizarán productos asfálticos para ligar las juntas de dos franjas sucesivas o en la continuación de una franja con otra, debido a la obstrucción que pueden producir al drenaje dentro de la carpeta. Es importante que, por ningún motivo, se obstruya el drenaje interior en cualquier tramo.

G.7.7. En el caso de carpetas de granulometría densa, la cara expuesta de las juntas transversales se recortará aproximadamente a cuarenta y cinco grados antes de iniciar el siguiente tendido ligando las juntas con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Si se trata de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se considerará lo indicado en el inciso anterior.

G.7.8. En cualquier caso, se tendrá especial cuidado para que el enrasador traslape las juntas de tres a cinco centímetros y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida, para que al ser compactado, el pavimento quede con los niveles y dentro de las tolerancias establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

G.7.9. En el caso de carpetas de granulometría densa, de ser necesario, la mezcla se extenderá en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar como se indica en la Fracción G.8. de esta Norma, hasta que se obtengan la sección y el espesor establecidos en el proyecto. Cuando el tendido se haga



por capas, la capa sucesiva no se tenderá hasta que la temperatura de la capa anterior sea menor de setenta grados Celsius en su punto medio. El tendido de las carpetas de granulometría semiabierta o abierta se hará en una sola capa.

G.7.10. Cada capa de mezcla asfáltica se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril.

G.7.11. Durante el tendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena, para evitar la segregación de los materiales. No se permitirá el tendido de la mezcla si existe segregación. Es recomendable utilizar un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.

G.7.12. Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de mezcla.

G.7.13. La longitud de tendido de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se tenderán tramos mayores de los que puedan ser compactados de inmediato.

G.7.14. En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, el tiempo de almacenamiento de la mezcla no excederá de treinta minutos por lo que habrá coordinación adecuada entre la producción, el transporte y la colocación de la carpeta.

G.8. COMPACTACIÓN

G.8.1. Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, será compactada.

G.8.2. En el caso de carpetas de granulometría densa, la capa extendida se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

G.8.3. En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, la mezcla se compactará mediante dos pasadas con compactadores de rodillo liso metálico estático, con una masa mínima de diez toneladas. Si así lo aprueba la Secretaría, se dará solamente una pasada cuando, a su juicio, se detecte un posible fracturamiento del material pétreo.

G.8.4. La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

G.8.5. El uso de compactadores vibratorios sólo se permitirá para la compactación de capas mayores de cuatro centímetros de espesor, en carpetas de granulometría densa.

G.8.6. La compactación se terminará cuando la mezcla asfáltica tenga una temperatura igual a la mínima conveniente para la compactación, que haya determinado el Contratista de Obra conforme a lo indicado en el inciso G.7.3. de esta Norma, o mayor.

G.8.7. Por ningún motivo se estacionará el equipo de compactación, por periodos prolongados, sobre la carpeta recién compactada, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.



G.9. ACABADO

G.9.1. Una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona de la última capa de la carpeta de granulometría densa, se formará un chaflán en las orillas, cuya base será igual a uno coma cinco veces el espesor de la carpeta asfáltica, compactándolo con el equipo adecuado. Para ello se utilizará mezcla asfáltica adicional, colocándola inmediatamente después del tendido, o bien directamente con las pavimentadoras si están equipadas para hacerlo.

G.9.2. En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona, se verificará que no se haya obstruido el drenaje lateral en ningún tramo. En el caso de que existan obstrucciones, el Contratista de Obra las eliminará por su cuenta y costo.

G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la carpeta asfáltica hasta que haya sido recibida por la Secretaría, cuando la carretera sea operable.

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, de cada tramo de un kilómetro de longitud o fracción, se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará:

H.1. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

H.1.1. Que los materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la mezcla asfáltica hayan cumplido con las características establecidas.

H.1.2. Que las características de la mezcla asfáltica hayan cumplido con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

H.1.3. Que la estabilidad de la carpeta de granulometría densa, determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios. Conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1 02. *Criterios Estadísticos de Muestreo*, haya cumplido con lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la secretaria considerando que:

H.1.3.1. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$e = L/50$$

Donde:



e = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad superior

L = Longitud del tramo, (m)

H.2. ÍNDICE DE PERFIL

Que el índice de perfil de la última capa de la carpeta asfáltica de granulometría densa compactada, en cada línea de tendido de cada subtramo de doscientos metros de longitud o fracción haya sido de catorce centímetros por kilómetro como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista de Obra hará ésta verificación conforme a la norma ASTM E 274, dentro de las cuarenta y ocho horas siguientes a la terminación de la compactación, considerando lo que a continuación se señala. La Secretaría evaluará diariamente los resultados que se obtengan.

H.2.3. Determinación del índice de perfil

H.2.3.1. La obtención del índice de perfil, en cada línea de tendido, se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a noventa más menos veinte (90 ± 20) centímetros de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas de doscientos metros, con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue al Contratista de Obra un estímulo por mejoramiento de calidad o se le aplique una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, según la calidad obtenida en la superficie terminada y de acuerdo con el criterio establecido en la Cláusula J de esta Norma.

H.2.3.2. Cuando la longitud de un subtramo construido en un día de trabajo, no alcance los doscientos metros, será agrupado con el tramo inmediato que se construya el día siguiente. En este caso, la medición del índice de perfil deberá hacerse tan pronto como sea práctico y posible, pero no después de cuarenta y ocho horas de terminado el último subtramo de ese día. Si el Contratista de Obra no es el responsable del tendido de un tramo subsecuente, no se medirá el índice de perfil en los cinco últimos metros del tendido de su tramo.

H.2.3.3. Si el índice de perfil determinado en alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos metros o fracción, resulta menor de diez coma un centímetros por kilómetro ($10,1 \text{ cm / km}$), el Contratista de Obra se hará acreedor a un estímulo por mejoramiento de calidad, calculado con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica. En su caso, el estímulo se determinará mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de ésta Norma.

H.2.4. Índice de perfil promedio diario

H.2.4.1. Cada día de trabajo se determinará el índice de perfil promedio diario, obteniendo el promedio aritmético de todos los índices de perfil determinados ese día. Si el índice de perfil promedio diario, resulta mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km), se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta asfáltica, hasta que el Contratista de Obra corrija la carpeta defectuosa, según se indica en el inciso



H.2.5. Para reanudar la construcción de la carpeta, el Contratista de Obra debe construir otro tramo de prueba según lo indicado en la Fracción G.6. de ésta Norma, como si se tratara del inicio de los trabajos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por éste motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.5. Corrección de la superficie de la carpeta asfáltica

H.2.5.1. El Contratista de Obra realizará las correcciones de la superficie de la carpeta asfáltica que se requieran para obtener el índice de perfil adecuado.

H.2.5.2. Después de obtenido el índice de perfil de cada línea de tendido en un subtramo de doscientos metros, todas aquellas áreas en las que el perfilograma presente una desviación igual a un centímetro o mayor, en siete coma cinco metros o menos, serán corregidas mediante fresado. Concluida la corrección, se obtendrá nuevamente el índice de perfil del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

a) Fresado continuo de la superficie de la carpeta de granulometría densa, en tramos no menores de cincuenta metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, para reducir el índice de perfil a veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) o menos. Sobre la superficie fresada, se colocará un tratamiento superficial aprobado por la Secretaría, con un espesor de dos centímetros como mínimo, a menos que el proyecto establezca la construcción de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta.

b) Colocación sobre la carpeta de granulometría densa, de una sobrecarpeta de tres centímetros de espesor como mínimo, en tramos no menores de cincuenta metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, elaborada con la misma mezcla utilizada en la carpeta, que cumpla con todo lo indicado en ésta norma y tenga un índice de perfil de veinticuatro centímetros por kilómetro (24cm/km) como máximo.

H.2.5.4. Cuando el índice de perfil de alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos metros esté entre catorce coma uno y veinticuatro centímetros por kilómetro, el Contratista de Obra podrá elegir entre corregir la superficie terminada o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad, calculada con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica, mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.5.5. Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del Contratista de Obra, y previamente a su ejecución, los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta serán sometidos a la aprobación de la Secretaría. No se permitirá efectuar trabajos de corrección con equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento, ni con resanes superficiales adheridos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que se ocasionen por motivo de las correcciones, serán imputables al Contratista de Obra.