BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

BUAP

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERÍA CIVIL

RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN LA CIUDAD DE PUEBLA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

CESAR AUGUSTO CABRERA CARMONA

ASESOR:

M.I. JORGE ANTONIO CARAZA ISLAS

PUEBLA, PUE. SEPTIEMBRE 2014

AGRADECIMIENTO

Agradezco todas las personas que siempre estuvieron cerca de mí en buenos y malos momentos, pero sobre todo a los que nunca dejaron de que creer en mí a lo largo de este proyecto, a la familia Caraza Alemán por el apoyo que me ha brindado y principalmente a mi madre le agradezco por darme la oportunidad de concluir este sueño.

DEDICATORIA

Gracias a todas las personas que hicieron todo lo posible para que yo llegara hasta este día, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño está tesina se las dedico a ustedes:

Padres, Familia y Amigos

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO1 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

1.1 Pavimentos 1

1.2 Estructura de pavimento 3

1.3 Principales factores que afectan a la estructura de pavimento 6

1.3.1 Condiciones ambientales 6

1.3.2 Cargas de tráfico 7

1.4 Factores que causan el deterioro de un pavimento 8

1.4.1 Los factores medio ambientales 8

1.4.2 Efectos del tránsito 9

1.5 Consecuencia del Agrietamiento 9

1.6 Tipos de fallas en pavimentos flexibles 10

1.6.1 Falla funcional 10

1.6.2 Falla estructural 11

CAPÍTULO2 PRUEBAS DE LABORATORIO A PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

2.1Estudios de laboratorio 12

2.2 Pruebas de campo 12

2.2.1 Muestreo 13

2.2.2 Peso volumétrico seco del lugar 13

2.3 Pruebas en laboratorio 14

2.3.1 Contenido natural de agua 14

2.3.2 Peso volumétrico seco suelto 15

2.3.3 Peso volumétrico seco máximo 16

2.3.4 Granulometría 17

2.3.5 Límites de consistencia 18

2.3.6 Absorción y densidad 19

2.3.7 Equivalente de arena 20

2.3.8 Valor relativo soporte 20

2.3.9 Desgaste de los ángeles 21

2.3.10 Intemperismo acelerado 22

2.3.11 Contenido de cemento asfáltico 22

CAPÍTULO 3 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE PAVIMENTOS

3.1 Estabilización mediante materiales no contaminantes 23

3.2 Empleo de Cal 24

3.3 Empleo de Cemento Portland 27

3.4 Empleo de Emulsiones Asfálticas 29

3.5 Estabilización con asfalto espumeado 31

CAPÍTULO 4 TRABAJOS DE REHABILITACIÓN, CONSERVACIÓNY RECICLDO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

4.1 Proceso de rehabilitación de pavimentos 32

4.2 Proceso de conservación de menor o rutinaria 34

4.2.1 Relaminaciones 34

4.2.2 Renivelaciones 35

4.2.3 Sobrecarperta 36

4.2.4 Bacheo 37

4.2.5 Relleno de Grietas 38

4.2.6 Riego de Sello 39

4.3 Proceso de conservación mayor o periódica 40

4.3.1 Carpeta asfáltica 40

4.3.2 Reciclado de carpetas asfálticas 41

4.3.3 Recuperación de Base hidráulica y Carpeta 41

4.3.4 Reconstrucción 42

4.3.5 Riego de Sello 43

4.4 Reciclado de pavimentos asfalticos en frio (recuperación de pavimentos) 43

4.4.1 Reciclado en planta 44

4.4.2 Reciclado in situ 45

CAPÍTULO 5 VENTAJAS Y TIPOS DE RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

5.1 Recuperación de pavimentos 50

5.1.1Bajo costo 54

5.1.2Ecológico 54

5.1.3Rápido 55

5.1.4 Larga vida útil 56

5.1.5Fácil de procesar 56

5.1.6 Limpio 56

5.1.7 No interrumpe totalmente el tráfico 56

5.1.8 Ahorro de recursos naturales 57

5.1.9 De buena aceptación por usuarios 57

CAPÍTULO 6 RESUMEN DE ESTUDIOS REALIZADOS A PAVIMENTOS DE LA CIUDAD DE PUEBLA

6.1 Análisis de dos zonas para rehabilitación de pavimento 58

6.1.2 Zona A (San Manuel) 58

6.1.3 Zona B (Bella Vista, Azcarate y de la Luz) 62

6.2 Proceso constructivo propuesto para realizar el trabajo derecuperación en una jornada 66

6.2.1 con el equipo de recuperación 66

6.2.2 Impregnación 67

6.2.3 Carpeta 67

CONCLUSIÓN 69

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Las ciudades tienen un gran crecimiento en cuanto a los vehículos automotores, así como un gran incremento en peso, lo que trae como consecuencia un gran deterioro en sus arterias viales y la ciudad de Puebla a la que se refiere este trabajo, no se sale de estos desarrollos, lo que trae como consecuencia que los pavimentos actualmente se encuentran deteriorados, de tal manera que basta con acceder a las zonas de fraccionamientos en la zona de San Manuel en las que podemos observar el gran deterioro existente, bacheo con abultamientos, agrietamientos que aún persisten en zonas contiguas al bacheo, servicios como drenaje, descargas domiciliarias, gas natural (actualmente) que realizan excavaciones y rellenan sin ninguna reglamentación apropiada de cómo debe realizarse, y consecuentemente otra falla más de este deterioro de pavimentos es la antigüedad de los mismos .

Existe desde 1992, en nuestro país la incorporación de maquinaria que permite aprovechar lo que se tenga de pavimento y procesarlo con el empleo de la ingeniería (para que este material cumpla con características de un pavimento real) y rehabilitar el pavimento deteriorado. Estos equipos son las recuperadoras.

Una vez rehabilitada esta capa, se procede a reforzar la estructura del pavimento, por lo que se coloca sobre una carpeta asfáltica de un espesor determinado, para que la estructura soporte el transito actual y futuro predeterminado, realizando los trabajos de conservación requerida para llegar a su vida útil.

En 1995 el pasante de ingeniero José Agustín Burgos Peralta de la escuela de ingeniería civil (en aquel entonces), realizo una investigación para realizar su

tesis para su titulación (de ingeniero civil) en la que elaboro, en base a una gran cantidad de muestreos en diferentes pavimentos de la ciudad de Puebla efectuando además una serie de trabajos de laboratorio, para conocer las características de los pavimentos que la conformaban, determinando los materiales que conformaban las diversas capas existentes y con ello en sus conclusiones ya recomendaba el procedimiento de recuperacióndel pavimento existente, incorporándole algún aditivo con el cual las característicasdel material sonmejoradas y con ello obtener un material concaracterísticas superiores al material existente. Yaque por las necesidades actuales se deberá contar con materiales de mejores características.

Siendo esto lo que me motivó a realizar este trabajo, por que como se observara en el desarrollo del mismo, es económico, rápido y muy buena calidad, además de apoyar a la ecología cumpliendo con las 3 R (Reducir, Reutilizar y Reciclar).

En este trabajo solo se consideran 2 zonas del trabajo de tesis antes descrita, en donde se caracteriza una similitud a las demás zonas y en ellas se definirán sus condiciones.

En este trabajo se inicia con lo que es un pavimento, sus características y las fallas que se pueden presentar por el deterioro del mismo, en el capítulo siguiente se trata sobre las pruebas que se le realizan a los materiales que conforman un pavimento, para con ello poder definir como se mejoraran las características del material para poderlo reutilizar. Continuando con el capítulo 3 indicando lo que corresponde a los estabilizadores que se emplean en los trabajos de recuperación con la intención de mejorar las características de los

suelos y así continuar con el capítulo 4 en donde se indican los trabajos de conservación y rehabilitación de los pavimentos flexibles indicando posteriormente en el capítulo 5 de las bondades que el método de recuperación trae en beneficio de las reconstrucciones y se da por ultimo en el capítulo 6 se hace un estudio completo de dos zonas de la ciudad de puebla así como se indica un proceso constructivo para llevar a un buen fin una rehabilitación del pavimento con un proceso de recuperación del mismo que es el tema de este trabajo.

Un pavimento tiene como función el dar comodidad, seguridad y facilidad de tránsito a los vehículos, sin embargo al presentarse deterioro superficiales como son abultamientos ocasionados por tanto bacheo, agrietamientos por donde se introduce el agua que trae como consecuencia un nuevo bache, lo que ocasiona que el pavimento disminuya mucho su función de comodidad de seguridad obteniendo una dificultad de circulación sobre él. Por lo que se requiere contar con pavimentos que permitan un buen funcionamiento el que se logra con una rehabilitación de pavimento con el empleo del equipo de recuperación construido para ese fin aprovechando los materiales existentes

El en caso de la ciudad de puebla el H. ayuntamiento es el encargado de mantener satisfactoriamente en buen funcionamiento los pavimentos y la mayoría de las veces esto lo realiza con bacheos, no siendo esto lo más apropiado por costoso y mal elaborado. Sin embargo no con un proceso de recuperación en donde se emplea los materiales existentes se mejoran mucho la estructura y como consecuencia estos deterioros se presentaran después de la vida útil del trabajo realizado el que puede ser superior a diez años.

En la ciudad de Puebla me afocaré al fraccionamiento de jardines de San Manuel en donde el deterioro de sus calles es considerable y con el sistema de recuperación su rehabilitación es muy acorde a un pavimento bien terminado.

CAPÍTULO 1 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

1.1 Pavimentos

Se llama pavimento a una estructura compuesta por un sistema de capas que se coloca sobre el terreno natural o de apoyo, Calderón (1998:2) afirmo que "tiene como función recibir de forma directa las cargas del tránsito y transmitir a las capas inferiores en forma disipada", proporcionando una superficie de rodamiento cómoda y segura, la cual debe funcionar eficientemente.

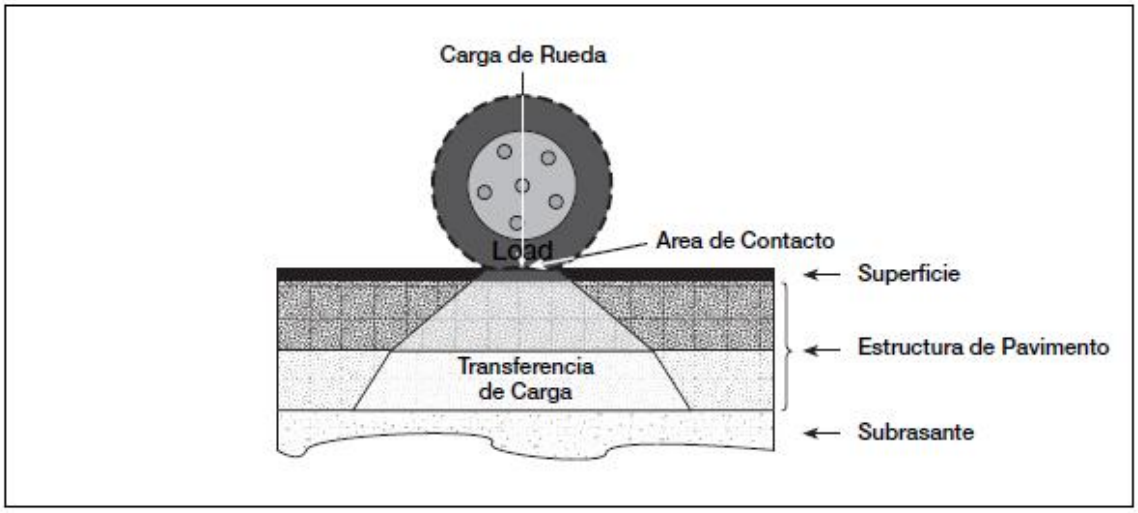


Fig. 1 .1 Se ilustra cómo se transfiere la carga de los vehículos a la estructura del pavimento.

La superficie o capa de rodadura es la única parte visible de un camino, bajo esta superficie, existe una estructura constituida por varias capas de distintos materiales, que en ciertos casos puede alcanzar profundidades mayores a 1.0 metro. La estructura de pavimento bajo la carpeta asfáltica de la carretera que realiza el trabajo de soportar las cargas de tránsito. El peso de los vehículos aplicada en la superficie se transfiere o disipa al "terreno natural" a través de la

estructura de pavimento. El terreno natural generalmente no tiene calidad de soportar las cargas del tránsito. Las fuertes cargas de transito aplicadas en la superficie del pavimento se van distribuyendo sobre un área más grande en las capas inferiores hasta llegar al terreno natural.

Cada una de las capas que conforman la estructura de un pavimento varía en su composición y espesor. Las capas de la superficie son construidas utilizando materiales de alta resistencia (por ejemplo una mezcla asfáltica en caliente) con el objetivo de resistir las altas tensiones producidas por las cargas del tráfico. A medida que la carga se distribuye sobre un área mayor en las capas inferiores, el nivel de tensiones se reduce. Por lo tanto, las capas inferiores pueden ser construidas por materiales de calidad inferior. Como consecuencia los materiales de las capas inferiores son más económicos que los materiales de las capas superiores.

Los pavimentos de carreteras se clasifican básicamente en dos tipos:

- Pavimentos rígidos, con una capa gruesa de concreto de alta resistencia sobre una base granular estabilizada.
- Pavimentos flexibles, construidos de materiales naturales con las capas superiores con algún tipo de ligante (usualmente asfalto y/o levemente cementadas).

En términos generales, solo los pavimentos flexibles pueden ser reciclados in-situ. Los pavimentos rígidos construidos de concreto hidráulico de alta resistencia habitualmente son demolidos al final de su vida útil.

Una vez que ha finalizado la construcción de una carretera, esta se somete a las fuerzas destructivas o solicitaciones del medio ambiente y tráfico. Ambos factores actúan en forma continua, reduciendo la calidad de rodadura y la integridad estructural del pavimento, además de las acciones que deben tomarse para retardar este proceso (mantenimiento), y las medidas para restaurar la serviciabilidad una vez que el deterioro ha alcanzado un nivel de servicio inaceptable (rehabilitación estructural).

1.2 Estructura de pavimento

La estructura de pavimento transfiere la carga de tránsito desde la superficie hasta el terreno natural. La carga aplicada por una rueda se reduce dentro de la estructura a medida que esta se reparte en una superficie mayor. El pavimento generalmente está compuesto por varias capas de material, con distintas propiedades de resistencia. Wirtgen Gmbh (2004:19) afirmo que “cada capa tiene el objetivo de distribuir la carga que recibe desde la parte superior, a un área mayor en la capa inferior”. Las capas ubicadas en la parte de la estructura están sujetas a tensiones mayores que aquellas en la parte inferior, y por lo tanto requieren de un material más resistente.

La respuesta de un material (tensiones, deformaciones), a la carga de transito depende en gran medida de las propiedades elásticas del material y de la carga misma (magnitud, presión, etc.).

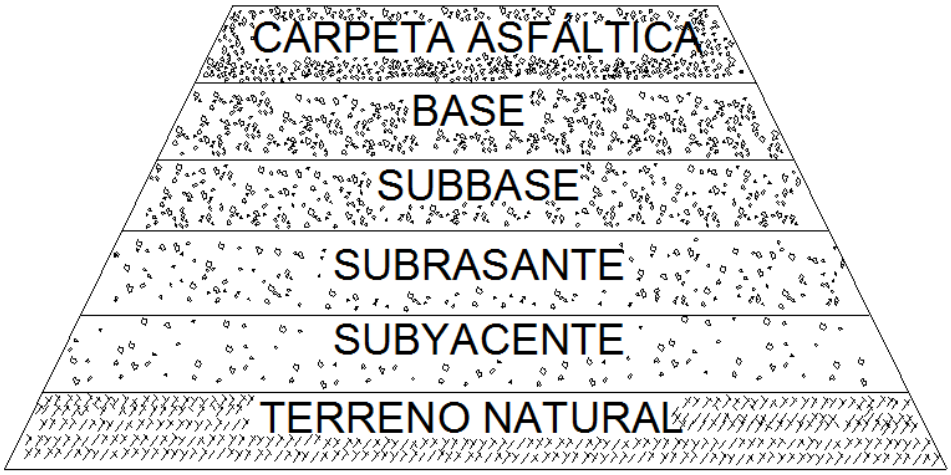


Fig. 1.2 Estructura de un pavimento con todas las capas existentes

La estructura de un camino puede ser constituida básicamente por las siguientes capas de acuerdo al proyecto estimado:

- Base: Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la sub - base o la subrasante para formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica. Estos materiales, según el tratamiento que recibieron pueden ser; naturales, cribados, parcialmente triturados, totalmente triturados o mezclados.
- Sub-base: son materiales granulares, que se coloca normalmente sobre la subrasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimentos asfálticos. Estos materiales, según el tratamiento que recibieron pueden ser; naturales, cribados, parcialmente triturados, totalmente triturados o mezclados.
- Subrasante: son suelos seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que utilizan para formar dicha capa

inmediatamente encima de la cama de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo de un terraplén cuando ésta última no se construya para servir de desplante a un pavimento.

- Subyacente: los materiales para la capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción de bancos, que se utiliza para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de un terraplén o terreno natural.

El área de la ingeniería que se encarga de estudiar a profundidad la respuesta de los materiales de pavimentos, se mencionan los puntos más importantes a continuación:

- Los materia granulares (gravas, materiales de trituración), transfieren las cargas a través de las partículas o esqueleto de la estructura. La fricción interna de las partículas mantiene la integridad estructural bajo condiciones normales. Sin embargo los materiales granulares son sometidos a cargas repetitivas de tránsito en conjunto con un incremento en el contenido de humedad, se produce un proceso de densificación gradual en el material (las partículas que lo conforman comienzan a juntarse). Este fenómeno puede ocurrir en cualquier capa granular de la estructura, generando una deformación de la capa superficial del pavimento. Esta deformación se manifiesta habitualmente como un extenso ahuellamiento bajo la huella de los neumáticos.
- Los materiales ligeros (con asfalto) actúan de forma similar a una losa. La aplicación de una carga vertical a la superficie de una losa genera tensiones de compresión horizontales en la mitad superior de la misma, y

tensiones horizontales de tracción en la mitad inferior. las tensiones horizontales máximas se producen en los extremos superior e inferior. La deformación unitaria producto de estas tensiones, y particularmente la deformación unitaria repetitiva de tracción en la parte de la capa, lleva al material a una falla del tipo fatiga. Las grietas producidas por la fatiga se forman en la parte inferior de la capa y luego se protegen verticalmente a medida que las repeticiones de tráfico aumentan.

La deformación producida en el material granular, y el agrietamiento de fatiga del material ligado están relacionados al número de repeticiones de carga. Este permite determinar la vida funcional del pavimento en términos del número de veces que puede ser cargado hasta que “falle”.

1.3 Principales factores que afectan a la estructura del pavimento

Los caminos se construyen bajo cualquier condición ambiental sin importar las condiciones, todos los proyectos de caminos se diseñan con el mismo objetivo de resistir las cargas de trafico transmitiendo cargas hacia las capas inferiores de la estructura de tal forma que el terreno natural o de desplante pueda resistir el transito sin sufrir deformaciones.

1.3.1 Condiciones ambientales

Además del tráfico, las superficies de los caminos están expuestas al sol, viento, lluvia y otros elementos naturales los cuales acarrean consecuencias que producen en las propiedades de ingeniería de la superficie del camino y se manifiestan principalmente en:

- Efectos térmicos que causan cambios de volumen, producto de la expansión y contracción de materiales por cambios de temperatura.
- Efectos de congelamiento, que producen el fenómeno llamado hinchamiento. Ciclos repetitivos de hielo y deshielo causan un mayor daño en la superficie del camino.
- Efectos de la radiación producen sobre la superficie de los pavimentos lo comúnmente denominado como “insolación”. La radiación ultravioleta aplicada sobre la superficie del pavimento produce la oxidación del asfalto, volviéndolo frágil. Este proceso se conoce como “envejecimiento”.

Según indica Calderon (1998:11) “El agua es el principal enemigo de las estructuras de caminos”, es por eso que la saturación con el agua hace que los materiales se vuelvan deformables y proporciona una lubricación entre las partículas, al mismo tiempo que las cargas de tráfico son aplicadas. La capacidad de soporte del material en condición seca es siempre mayor que en estado húmedo, y mientras más cohesivo (o arcilloso) sea el material, mayor es la susceptibilidad a la humedad. Además, si el agua presente en la estructura alcanza su punto de congelamiento, se produce una expansión de volumen en la misma, lo que genera daño considerable. Para ello es de alta importancia prevenir el ingreso del agua a la estructura de pavimento, especialmente en los materiales de más baja calidad de las capas inferiores es fundamental.

1.3.2 Cargas de tráfico

El objetivo principal de los caminos es permitir el tráfico vehicular. El volumen y tipo de tráfico esperado en un camino determinan los requerimientos geométricos y estructurales de los pavimentos. Los ingenieros necesitan las estadísticas de

trafico proyectado (en términos de número de vehículos, composición vehicular y cargas por eje) para determinar los requerimientos estructurales del camino. Por lo tanto, la estimación acertada del tráfico proyectado, tanto en volumen como en tipo de vehículos, es de gran importancia.

Las características más importantes del tráfico son aquellas que permiten definir la magnitud y frecuencia de las cargas de superficie que el camino puede anticipar durante la vida estimada del pavimento.

1.4 Factores que causan el deterioro del pavimento

Los pavimentos se deterioran por un gran número de factores, pero los dos más importantes son los efectos medio ambientales y las cargas de tráfico. El deterioro del pavimento es normalmente medido indirectamente por la calidad de rodado, pero las características visibles como el ahuellamiento y agrietamiento superficial también son relevantes.

1.4.1 Los factores medio ambientales

Son responsables de la mayor parte del inicio del agrietamiento superficial. El factor principal que contribuye a este el fenómeno es la radiación ultravioleta solar, que causa un endurecimiento lento pero continuo del asfalto y al mismo tiempo reduce su elasticidad, lo que produce el agrietamiento cuando la superficie se contrae al disminuir su temperatura. Al presentar dicho agrietamiento el pavimento tiende a deteriorarse a una tasa mayor producto del ingreso del agua a las capas inferiores de la estructura.

1.4.2 Efectos del tránsito

Es la responsable de la aparición del ahuellamiento y la aparición de grietas dentro de la estructura del pavimento. Todo vehículo que transite va a producir una pequeña deformación momentánea en la estructura del pavimento. Sin embargo la deformación producida por un vehículo liviano (automóvil particular) es insignificante, mientras que los vehículos pesados producen grandes deformaciones. El paso de una gran cantidad de vehículos tiene un efecto acumulativo que gradualmente lleva a una deformación permanente o agrietamiento de fatiga en el pavimento.

1.5 Consecuencia del agrietamiento

Una vez que el agrietamiento llega a la superficie, el agua puede ingresar libremente dentro de la estructura. Los efectos de la pérdida de capacidad de soporte producida por el agua, llevan a la reducción de la resistencia de la estructura y esta disminución de resistencia causa una tasa de deterioro mayor bajo las cargas del tráfico repetitivas.

Sin embargo, el agua en un material saturado puede llegar a ser un elemento destructivo cuando el pavimento está sometido a cargas pesadas. El agua transmite las cargas verticales de los vehículos en presiones, que rápidamente erosionan la estructura de material granular y produce la segregación del árido en el asfalto. Bajo estas condiciones, la fracción fina (arena) del material de pavimento se puede mover dentro de la estructura. Frecuentemente la fracción fina(arena) suele ser expulsada fuera del pavimento a través de las grietas (fenómeno conocido como “bombeo”), lo cual produce vacíos

dentro del pavimento, por lo consiguiente se observara la rápida formación de baches y un deterioro progresivo aún mayor.

Una causa que va más allá del agrietamiento normal de la superficie, y que se produce principalmente en superficies asfálticas delgadas, son grietas por ausencia de tráfico. El efecto de amasado generado por el tráfico mantiene al asfalto trabajando a la compresión y tensión en forma continua. La oxidación y el posterior envejecimiento del cemento asfaltico producen grietas térmicas en la superficie. Someter repetidamente al asfalto a cargas de tráfico, genera tensiones y deformaciones unitarias en la superficie, suficientes como para cerrar las grietas térmicas mientras se van formando. De este modo se evita la propagación de las mismas retardando el deterioro del pavimento.

1.6 Tipos de falla en los pavimentos flexibles

Se podrá definir como falla a las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado. Y estas se podrán dividir en dos tipos de fallas principalmente; que son falla estructural y falla funcional que a continuación se explicara cada una de ellas.

1.6.1 Falla estructural

Según Barrios (2013:53) dijo que “Es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de éste”, en su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento, a la que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas del proyecto.

1.6.2 Falla funcional.

Es la deficiencia superficial del pavimento, a lo que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica un falla estructural inmediata, ya que la primera puede ser en defectos de acabados al término de la construcción.

La falla funcional consiste en esencialmente en la en la in incapacidad del pavimento de seguir cumpliendo con las funciones para las que fue proyectado, involucra los aspectos de seguridad y comodidad que la superficie de rodamiento debe proporcionar al transito

En términos generales puede decirse que es un defecto del pavimento, que se refleja en la superficie de rodamiento y que afecta, en mayor o menor grado, la capacidad del camino para proporcionar al usuario un tránsito cómodo y expedido

CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO A PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

2.1 Estudios de laboratorio

Los procesos que se emplean para definir la calidad de los materiales que conforman la estructura y sustento de los pavimentos están basados en pruebas índice, que son las que realizan comúnmente en los laboratorios de pavimentos. Siendo el conjunto de los resultados de cada una de las pruebas; los que conforman el dictamen de la calidad del pavimento analizado, teniendo suma importancia el conjunto de los resultados de cada una de ellas.

Los resultados servirán para determinar la situación actual de los pavimentos y en base a ellos proponer el método de rehabilitación más conveniente.

Tomando como base las pruebas que se realizaran, Caraza et al. (2000:73) Señalaron que “estas las podemos dividir en dos grupos; las que se ejecutan en campo y las que se realizan en laboratorio” las que se describen a continuación.

2.2 Pruebas de campo

Las pruebas que se realizan en campos nos sirven para complementar el dictamen de calidad y posteriormente se describe cada una de ellas.

2.2.1 Muestreo

Para la realización del muestreo, se efectúan sondeos y/o canales en los que podemos conocer la estratigrafía del pavimento en estudio, determinando los espesores que lo constituyen, tomando muestras representativas de cada estrato.

Fig.2.1 Realización de sondeo en pavimento de la ciudad de Puebla

2.2.2 Peso volumétrico seco del lugar

La determinación de esta prueba, es con el fin de conocer el grado de compactación que se tiene en el lugar del muestreo, con el apoyo de pruebas complementarias como la determinación del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima.

2.3 Pruebas de laboratorio

En el laboratorio, después de haber preparado la muestra, se le efectúan diversas pruebas, como son:

2.3.1 Contenido natural de agua

Se determina con la intensión de conocer la humedad existente del material en la condición del lugar; además de que los contenidos naturales de agua, se pueden comparar estos con la humedad optima, y así poder determinar el comportamiento del material, ya que si el contenido natural de agua es mayor, es posible que el material este recibiendo agua por infiltración en alguna zona, no debiendo permitirse esto, con la construcción de las obras de sub-drenaje necesario, o viceversa; si la humedad natural es menor que la humedad optima, se considera que el material se encuentra bien drenado.

Fig. 2.2 Fotografía tomada en sondeos en la ciudad de Puebla

2.3.2 Peso volumétrico seco suelto

Su determinación , tiene como finalidad de conocer el peso del material por unidad de volumen, en la condición del material seco y suelto, el cual nos permitirá además, comparando con los diversos pesos volumétricos secos (máximo, o del lugar), calcular los coeficientes de variabilidad volumétrica que se requieren para conocer los diversos volúmenes (extracción, acarreo y compactación), que puede tener el material en diversas condiciones, así como si el proceso de compactación se lograra sin dificultad, ya que estando este peso volumétrico seco suelto muy próximo al peso volumétrico seco máximo, el proceso compactación se realizara más rápidamente.

Fig 2.3 Se muestra la tara cuyo peso y volumen se conoce para así determinar el peso volumétrico seco suelto del material.

2.3.3 Peso volumétrico seco máximo

La determinación de esta prueba nos permite conocer el mayor grado de acomodo que puede proporcionarse a un material ante una energía de compactación, así como conocer la humedad adecuada para realizar la compactación, siendo esta conocida como humedad optima, y su aplicación es fundamental en la determinación del grado de compactación en el lugar.

Fig. 2.4 Molde que no ayuda a determinar el volumétrico seco máximo

2.3.4 Granulometría

Con esta podemos conocer la mediad en dos dimensiones de las partículas sólidas que contiene el material y con el apoyo de esta prueba, lo podremos clasificar por tamaños de acuerdo al sistema S.U.C.S., además de comparar la composición granulométrica del material con las normas establecidas para el uso pretendido, conociendo si no existe la presencia de sobre-tamaños no deseados, así como si su composición granulométrica es adecuada; al material le corresponderá un alto peso volumétrico seco suelto, que al compactarlo con el peso volumétrico seco máximo, nos permitirá suponer si fácil compactación.

Fig. 2.5 Equipo para determinar la granulometría de los materiales

2.3.5 Límites de consistencia

Con los resultado de esta prueba, se podrá realizar la clasificación completa del material si este contiene finos, según el sistema de clasificación de los suelos S.U.C.S., además de observar si el material contiene plasticidad,(la cual no debe ser mayor que la recomendada en las normas de pavimentos), ya que al existir ésta, el comportamiento del material bajo contenidos diferentes de agua, traerá como consecuencia falta de estabilidad del material, procediendo a implementar tratamientos que permitirán la reducción de la plasticidad.

Fig 2.6 Equipo que se utiliza para determinar el los límites de consistencia

2.3.6 Absorción y densidad

Estas pruebas se realizaran en la fracción gruesa de los materiales, cuyos resultados nos indican por lo general que para absorciones bajas, corresponden densidades altas y esto trae como consecuencia que el material es más resistente, no así el caso inverso, donde por lo general corresponde a suelos menos resistentes, además de que a grandes absorciones, el suelo admitirá mayor cantidad de agua, que en muchos casos es perjudicial para alguna de las capas que conforman la estructura a las que puede dañar.

Fig. 2.7 Equipo que se utiliza para determinar la densidad de los materiales

2.3.7 Equivalente de arena

Es una prueba que en forma relativamente rápida, nos puede indicar si el suelo contiene material fino que tiende a ser arcilla, cuya presencia en pavimentos no es deseable.

Fig. 2.8 Equipo que se utiliza para determinar el equivalente de arena de los materiales

2.3.8 Valor relativo soporte

Es una prueba relativamente rápida; no costosa y muy fácil si elaboración, que nos mide un rango relativo de resistencia, que se compara con resultados preestablecidos necesarios para cada material de la estructura de un pavimento; es conveniente hacer notar que en suelos limpios los resultados tienden a ser bajos debido a la falta de cohesión entre

partículas, ya que esta no existe , solo la proporciona el agua con la que se compacta, pero es indudable su gran calidad aun con la falta de un resultado alto; aquí es de suma importancia que el equivalente de arena de este material sea alto y tenga buena composición granulométrica, y no así con materiales que llegan a tener alto; Valor relatico de soporte, pero contiene bajo el equivalente de arena y su límite liquido es alto. Es una prueba de mucho apoyo en el diseño de pavimentos.

Actualmenteesta prueba se ha suplido por la prueba de CBR (California Bearing Ratio) la cual es similar a la anterior con variantes en el proceso de compactación que es a base de impactos. (Similar a la prueba proctor), solo que se realiza con diferente equipo para suelos granulares al igual que el equipo de compactación, saturándose cuatro días por lo menos para definir su expansión. El costo de esta prueba es mayor que la de VRS y a la fecha la prueba de VRS se continúa empleando por el gran conocimiento que de ella se tiene.

3.3.9 Desgaste de los ángeles

Para conocer la resistencia del material al desgaste, se introduce una cantidad del material conocida dentro de un tambor en el cual se introduce unas esferas de acero con cantidad en peso dependiendo del tipo de granulometría de material que se utilice, se pone a girar el tambor durante 500 revoluciones en un tiempo definido y posteriormente se criba el material por una malla # 12 y se comparan los pesos de la original y lo

retenido para conocer la cantidad de material degradado el que debe ser menor a un parámetro establecido para cada empleo de material.

2.3.10 Intemperismo acelerado

Esta prueba se realiza tomando una muestra representativa del material, sumergiéndola en una solución salina (Sulfato de sodio o Sulfato de magnesio) durante 24 horas y posteriormente se seca al horno a peso constante formando esto un ciclo y la prueba se repite 5 ciclos, comparando el tamaño original del material y el tamaño del material final eliminando el material degradado.

2.3.11 Contenido de cemento asfáltico

Pruebas que se realiza a los materiales que contengan asfalto, con la intención de conocer la cantidad de que actualmente contienen de cemento asfáltico, y poder realizar los ajustes en el diseño, con lo cual se podrá cuantificar la cantidad necesaria por incorporar.

Una vez realizadas las pruebas a los pavimentos asfalticos determinaremos su situación actual, de no ser aceptable el dictamen de calidad se propondrá una estabilización mediante los métodos que se mencionaran en el capítulo siguiente.

CAPITULO 3 METODOS DE ESTABILIZACIÓN DE PAVIMENTOS

3.1 Estabilización mediante materiales no contaminantes

La idea general es la de aprovechar los materiales que existen en el lugar sin eliminarlos por la baja calidad y minimizar la importación de los materiales de bancos buscando también alternativas del empleo de materiales subproductos de desecho de otras actividades que se realizan por otras empresas.

El aprovechar el material existente requiere de aplicar algún proceso constructivo o producto que mejore sus características, por lo que es necesario realizar los estudios correspondientes de los productos que modificaran el material para lograr el objetivo. Los productos que se han considerado para este trabajo son empleo de cal, cemento Portland, emulsión asfáltica y asfalto espumeado principalmente.

Los productos que mejoran las características de los materiales pueden ser químicos, enzimáticos o naturales como:

- HIDROXIDO DE CALCIO (cal hidratada)
- OXIDO DE CALCIO (cal viva)
- CEMENTO HIDRAULICO
- EMULSION ASFALTICO

3.2 Empleo de cal

La cal se ha utilizado desde hace muchos años con rocas naturales que presentan alto contenido de sílice, aunque en la actualidad no considera a la roca caliza como cal; su uso data de tiempos remotos en estas condiciones, tal es el caso de los caminos blancos de los mayas, que están constituidos por rocas calizas; actualmente se ha difundido mucho el empleo de cal como oxido o hidróxido de calcio para estabilizar suelos arcillosos con resultados satisfactorios; en este tipo de materiales es donde se presenta su mayor beneficio.

La cal que se emplea es el producto de calcinación de rocas calizas y se puede clasificar en los siguientes tipos:

- **Cal aérea :** está compuesta por oxido o hidróxido de calcio y de magnesio, los que endurecen lentamente al aire por la acción del CO_2 de la atmosfera contiene $CaCO_3$ en un 95%
- **Cal Hidráulica:** este tipo endurece en contacto con el agua, se obtiene de calizas que contienen arcillas del tipo sílice y alúmina; en el proceso de hidratación se producen silicatos y aluminatos de calcio los cuales aportan las propiedades hidráulicas.
- **Cal viva:** se compone de calcio con una porción menor de óxido de magnesio obtenidos de la calcinación de la caliza, $CaCO_3 + \Delta \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$. Se comercializa en trozos de diferentes granulometrías; en contacto con el agua se hidrata, produce calor; cuando el producto de la calcinación contiene más del 5% de óxido de magnesio se le denomina cal dolomítica o dolomía calcinada.

- **Cal apagada o Cal Hidratada:** es una cal aérea y proviene de la hidratación controlada de la cal viva, produciendo hidróxido de calcio; $CaCO+H \rightarrow Ca(OH)_2+\Delta$ (15.5 Kcal/mol ó 277 Kcal/kg CaO) en contacto con el agua no produce calor; se comercializa en polvo fino y seco en sacos o a granel.
- **Cal en forma de lechada:** es la suspensión de cal apagada en agua, tiene apariencia de leche y contiene;(150 a400g Ca $(OH)_2/1H_2O$) por litro de agua. El empleo de esta presentación es conveniente cuando se quiere evitar polvo.

La reacción química de la cal en suelos arcillosos tiene los siguientes aspectos:

1. Que aglomera las partículas finas de arcilla en partículas gruesas desmenuzables (tamaños de arenas y sedimentos) a través de un fenómeno llamado intercambio de base.
2. Produce un definitiva cementación o acción de endurecimiento, la cual la cal reacciona químicamente con el sílice disponible y alúminas en el suelo (o con aditivos puzolánicos como el Fly ash, formando silicatos de calcio hidratados y aluminatos de calcio hidratados; estas características están presentes en las puzolanas y cementos. Los productos de la reacción son permanentes y la resistencia de la capa mejorada ayuda a la durabilidad del pavimento

Según Caraza (2000:27) confirmo que “la aplicación de cal modifica la estructura de las arcillas principalmente cuando se tienen valores entre 10% y 50% de Índice Plástico (IP) y con un contenido de finos mayor al 15% pasando por la malla 200”.

Las ventajas que ofrecen el mejoramiento de los suelos con cal son las siguientes:

a) Aumenta considerablemente VRS
b) La mezcla de cal y agua acelera la desintegración de los nódulos de arcilla
c) El índice de plasticidad se reduce considerablemente.
d) La contracción de los materiales arcillosos disminuyen considerablemente.
e) La reacción de cal y suelos arcillosos impermeabiliza la capa.
f) La aplicación de cal disminuye los excesos de humedad, actuando como un material secante.

En investigaciones realizadas por “CIC laboratorio” en la Zona Metropolitana de Puebla se destacaron 5 tipos de Suelos representativos, de baja calidad como material para Subrante, estos trabajaron en condiciones naturales (no se incorporó ningún estabilizador) y con la incorporación de diversos estabilizadores, Según Álvarez (1998:18) menciono que “los mejores resultados se obtuvieron fueron a los que se incorporó cal hidratada y cemento Portland”; en la tabla siguiente se presenten las características de los suelos en condición natural. Sin estabilizador y con incorporación de cal en 2% en peso, como se observa en la siguiente tabla tomada de

ESTABILIZACIÓN CON CAL										
	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
	Natural	con 2%	Natural	con 2%	Natural	con 2%	Natural	con 2%	Natural	con 2%
	sin cal	De Cal	Sin Cal	De Cal	Sin Cal	De Cal	Sin Cal	De Cal	Sin Cal	De Cal
No. De Muestra	1,0		2,0		3,0		4,0		5,0	
% que pasa No. 200	79,0		56,0		41,0		57,0		47,0	
% Limite Liquido	59,9	49,1	35,6	34,3	45,8	43,3	58,1	51,8	23,3	20,0
% Limite Plástico	22,6	27,9	29,3	29,1	19,9	33,3	30,9	30,8	15,2	14,1
% Indice Plástico	37,3	21,2	6,3	5,2	25,9	10,0	25,2	21,2	8,1	5,9
% Contracción L.	12,4	7,2	7,5	5,4	9,6	5,5	14,0	8,8	3,0	1,1
% Equiv. de arena	1,3	1,8	2,0	2,0	3,4	3,8	2,5	2,5	2,4	2,3
% V.R.S. Estandar	8,3	69,8	8,0	53,6	9,8	54,1	6,2	62,0	14,0	75,0
% Expansión	2,8	0,4	1,7	0,3	1,4	0,5	3,6	0,3	0,6	0,1
% V.R.S. (95%)	15,7	31,8	9,3	46,9	11,5	39,0	9,5	50,9	15,4	28,8
Valor cementante	5,5	17,6	10,3	21,2	6,7	18,9	6,2	17,9	7,0	18,9

Tabla 3.1 Tabla comparativa del suelo natural y estabilizado con Cal al 2%

3.3 Empleo de cemento Portland

El cemento Portland se ha empleado desde hace años como un material que mejora las características de los materiales; tal es caso que realizó Jhon Smeanton en 1756 que fue comisionado para reconstruir el Faro de Eddyston en la costa de Cornavalles en Inglaterra, el cual descubrió que el mejor mortero se obtenía cuando mezclaba Puzolana con Caliza que contenía alta calidad de material arcilloso; él fue el primero en conocer las propiedades químicas de cal hidráulica. A partir de lo anterior se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos.

Los principales componentes del cemento son la cal, sílice, alúmina y el óxido de fierro estos elementos interactúan en el horno para formar un compuesto más complejo; los principales según la nomenclatura química son:

CaO	=	**C**
SO_2	=	**S**
Al_2O_2	=	**A**
Fe_2O_3	=	**F**
H_2O	=	**H**

Es a partir de estudios realizados por laboratorios particulares (CIC laboratorio y GPO LICSA S.A. DE C.V) que se ha experimentado en el uso de cemento en procesos de recuperación, considerando el incremento del valor estructural de las capas del pavimento y modificado en algunos casos el diseño de la estructura original para aumentar la resistencia de la misma con espesores diferentes y más compactos.

En la siguiente tabla de los estudios efectuados y comentada en el párrafo anterior se puede observar la mejora de características de suelos de terracerías que detecto en la zona de la Ciudad de Puebla.

	Suelo Natural sin C.	Suelo con 2% De C.	Suelo Natural Sin C.	Suelo con 2% De C.	Suelo Natural Sin C.	Suelo con 2% De C.	Suelo Natural Sin C.	Suelo con 2% De C.	Suelo Natural Sin C.	Suelo con 2% De C.
No. De Muestra	1,0		2,0		3,0		4,0		5,0	
% que pasa No. 200	79,0		56,0		41,0		57,0		47,0	
% Limite Liquido	59,9	47,3	35,6	33,9	45,8	41,2	58,1	52,0	23,3	22,0
% Limite Plástico	22,6	25,2	29,3	28,2	19,9	28,6	30,9	34,0	15,2	16,1
% Indice Plástico	37,3	22,1	6,3	5,7	25,9	12,6	25,2	18,0	8,1	6,1
% Contracción L.	12,4	6,6	7,5	5,1	9,6	4,8	14,0	6,9	3,0	1,4
% Equiv. de arena	1,3	1,3	2,0	2,0	3,4	3,8	2,5	2,5	2,4	3,0
% V.R.S. Estandar	8,3	49,7	8,0	61,8	9,8	58,9	6,2	65,7	14,0	85,1
% Expansión	2,8	0,3	1,7	0,29	1,4	0,49	3,60	0,24	0,6	0,05
% V.R.S. (95%)	15,7	24,2	9,3	50,1	11,5	51,6	9,5	58,8	15,4	30,1
Valor cementante	5,5	28,0	10,3	23,2	6,7	20,2	6,2	20,0	7,0	18,9

Tabla 3.2 Tabla comparativa del suelo natural y estabilizado con cemento Portland al 2%

Datos obtenidos de la estabilización de los suelos en terracerías, en pavimentos se tienen pequeñas cantidades, menores al 4% para estabilizar obteniendo condiciones similares a los de la tabla de suelos, solo que en otra escala mucho mayor y si empleamos más del 4% se está estableciendo un concreto con la rigidez y condiciones similares de un concreto normal en el que se debe tener los cuidados tanto de su elaboración, tiempo de compactación y curado entre otros aspectos.

3.4 Empleo de emulsiones asfálticas

Cabe señalar que los productos que se han citado anteriormente se ha empleado durante muchos años, al igual que las emulsiones asfálticas que hacen su aparición, Caraza et al. (2000:35) comentaron que “en los 20’s en Hamburgo Alemania y en México llegan en los años 50’s como un producto de importación; en los años 60’s Caminos Federales emplean emulsiones asfálticas dando una gran proyección a su empleo”. El uso de la emulsión se limitó debido a que existía un subsidio por parte del gobierno federal para los productos asfalticos, incluyendo los asfaltos rebajados que tienen la peculiaridad de estar compuestos por cemento asfáltico y un solvente como gasolina, creándose los asfaltos rebajados de fraguado rápido; cuando el solvente fue el queroseno, se crearon los asfaltos rebajados denominados como de Fraguado Medio y cuando el solvente lo conformaban los aceites ligeros, Se crearon los asfaltos rebajados de Fraguado Lento cuyo empleo fue alto en nuestro país. Siendo estos productos de alta contaminación debido a la gran volatilidad de los solventes, que solo se utilizaban para obtener menor viscosidad del producto asfáltico. (Mayor cantidad de solventes, menor viscosidad) Productos que solo los producían Petróleos

Mexicanos (PEMEX), como hasta la fecha es la única empresa en nuestro país que produce el cemento asfaltico.

Por otro lado el desarrollo de las técnicas de pavimentación ha mejorado la calidad de la construcción de los caminos y ha facilitado al construir el desempeño del trabajo.

Su empleo como estabilizador en pavimentos recuperados y de nueva creación es ampliamente conocido como en la creación de las bases asfálticas comúnmente conocidas como bases negras que son las que se realizan con materiales que no cumplen la calidad de una base hidráulica, pero con la incorporación de un producto asfaltico emulsificador, mejoran sus características para su afectación como base en pavimentos, cuyo valor es similar a una base hidráulica como es el caso muy generalizado y conocido por los ingenieros de vías terrestres del sureste mexicano, en donde el material existente son arenas de río que por sí solo no cumplen con las características requeridas para pavimentación. Además, cuando se cuenta con materiales apropiados para base hidráulica e incorporando emulsión asfáltica adecuada al tipo de material pétreo y al procedimiento estabilizador por emplear se obtienen bases asfálticas de calidad muy superior a las bases tradicionales sin emulsión, lo que trae como consecuencia, el empleo de menores espesores de pavimento. Esto es lo que le proporciona un mayor valor estructural que algunos autores marcan del 1 a 1.5 dependiendo de las características obtenidas de la mezcla que conformara la base asfáltica que se desee obtener.

3.5 Estabilizacion con asfalto espumeado

El asfalto caliente (160-180ºC) se transforma en asfalto espumeado cuando se mezcla con una pequeña cantidad de agua atomizada (típicamente un 2% en masa) en una cámara de expansión especial. En el astado espumeado (un estado temporal de baja viscosidad), el asfalto puede ser agregado y mezclado con los agregados a temperatura ambiente y con contenidos de humedad del lugar.

El proceso de espumado del asfalto es dependiente del cambio de estado del agua de líquido a vapor, Wirtgen GmbH (2004:81) confirmó que “es un proceso que está acompañado de un expansión de unas 1500 veces el volumen original del líquido a una presión atmosférica normal”.Cuando las partículas de agua entran en contacto con el asfalto caliente la energía calórica del asfalto se transfiere al agua. Tan pronto como el agua alcanza su punto de ebullición esta cambia de estado, y al hacerlo, crea una burbuja con delgada película de asfalto llena de vapor de agua.

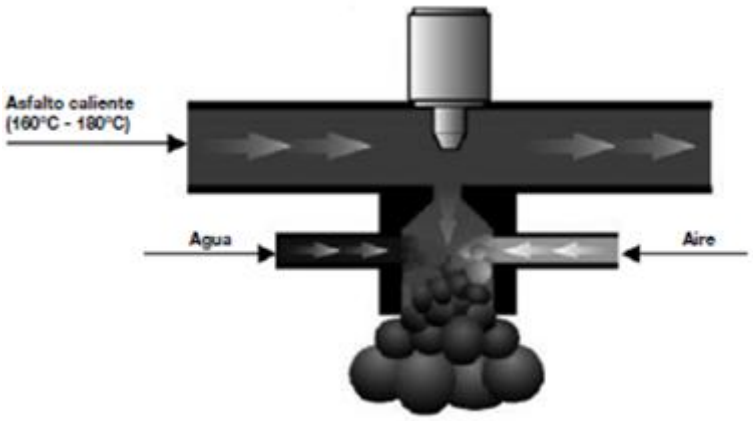


Fig 3.1 Producción de asfalto espumeado

CAPÍTULO 4 TRABAJOS DE REHABILITACIÓN, CONSERVACIÓN Y RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

4.1 Proceso de rehabilitación de pavimentos

La actividad a la que se refiere este capítulo es la rehabilitación, la cual se define como el conjunto de acciones que se realizan en un pavimento con la finalidad de restablecer las condiciones del pavimento a un nivel de servicio igual o superior al que se tenía originalmente.

Como se ha mencionado, en la rehabilitación se trata de restablecer un pavimento que se ha deteriorado, debido a que ha cumplido con su vida útil proyectada, a deficiencias productivas o a que los materiales que conforman la estructura son de baja calidad, a deficiencias constructivas o a que los materiales que conforman la estructura son de baja calidad, de forma tal que su índice de servicio es inferior al deseado para que un pavimento cumpla con la función para la que fue construido, encontrándose valores por debajo del mínimo aceptable. La consideración de los pavimentos que presentan fallas estructural con índices de servicios bajo, son los que requieren básicamente de ser rehabilitados.

Para llevar a cabo los trabajos de rehabilitación se han aplicado y se siguen aplicando diversas técnicas.

En este capítulo se comentaran los tratamientos que se aplican en forma tradicional.

Generalmente la rehabilitación se realiza hasta nuestros días con la importación de materiales vírgenes, procedentes de bancos de préstamo, eliminando el material existente; así tenemos que si surge la necesidad de corregir alguna obra vial con la finalidad de reforzar la estructura, los proyectos en forma tradicional marcan conceptos de ejecución como:

a) Retiro de material existente desperdiciándolo para sustituirlo por material de banco; esa práctica es muy común, con diferentes variantes, donde en ocasiones la extracción del material alcanza hasta niveles de capa subrasante, con el consiguiente alto volumen de material desperdiciado de las capas superiores (sub/base, base y carpeta asfáltica)
b) En otras ocasiones solo se ataca la carpeta del pavimento existente, en donde los volúmenes se reducen, pero también el material de buena calidad es desperdiciado; en ambos casos, el material de desperdicio incluye carpeta que, en todos los casos fue concreto asfaltico que en su tiempo reunió la calidad adecuada para su empleo y con el paso del tiempo, esta se ha envejecido y ya no cumple totalmente con la calidad requerida, pero su constituyente básico que es el material pétreo de muy buena calidad aun en cuanto a sus propiedades mecánicas se refiere, es desperdiciado.

Los procedimientos que se citan a continuación se han realizado por varios años y se siguen aplicando hasta nuestros días, el uso desmesurado

de materiales de banco y de productos asfalticos son materiales no renovables y tarde o temprano se agotarán.

4.2 Proceso de conservación menor o rutinaria

La actividad de conservación se ha dividido desde hace muchos años en: conservación menor y mayor, y actualmente debido al tipo de actividades que se desarrollan rutinariamente, ha recibido el nombre también de Conservación Rutinaria. En este capítulo se hace referencia a la actividad de Conservación Menor o Rutinaria.

Las actividades que se desarrollan en conservación rutinaria son aquellas que se realizan con frecuencia, con la finalidad de eliminar pequeños defectos y problemas que se presentan en la vialidad y que si estos no se corrigen oportunamente, se incrementaran los defectos al paso del tiempo, degenerando en problemas mayores deteriorando las obras en forma importante. Otro de los objetivos que tiene es proporcionar comodidad y seguridad al usuario del camino, considerando las actividades propias de la superficie de rodamiento y también de las obras complementarias. A continuación se citan las actividades que generalmente se aplican sobre la superficie de rodamiento:

4.2.1 Relaminaciones

Esta actividad se realiza con la finalidad de dar al usuario un confort y mejorar la superficie de rodamiento, aplicándose generalmente sobre las carpetas que ser presentan fallas a nivel funcional con agrietamientos

longitudinales de tipo mapa, piel de cocodrilo, etc., muy común en esta ciudad, empleando un mortero asfaltico elaborado en planta con cemento asfaltico.

El procedimiento que se ha citado tiene una desventaja, y es que en corto plazo se reflejan nuevamente las fallas que ya se tienen en la superficie tratada, provocando por lo tanto desprendimientos del tratamiento o la aparición de nuevas grietas.

4.2.2 Renivelaciones

Esta actividad se realiza con la finalidad de reestablecer el nivel original que se ha perdido por deformaciones o la presencia de fallas del tipo roderas, ondulamientos, etc., las cuales también en corto plazo se presentaran nuevamente, ya que generalmente no se analiza la causa que ha provocado este comportamiento; los espesores son variables, ya que dependen del grado de deformación que presente el pavimento; se aplica generalmente mezcla asfáltica para lograr la renivelación y alcanzar el nivel original; se considera como conservación rutinaria cuando la aplicación de mezcla asfáltica no rebasa de los 200m^3 por kilómetro.

4.2.3 Sobrecarpetas

Este proceso se refiere a la práctica de colocar una capa de concreto asfaltico en espesores variables que van de 5 hasta 10 cm., apoyadas sobre la estructura, aun cuando esté presente fallas.

La capa se constituye con materiales vírgenes, de muy buena calidad, lográndose inicialmente un buen comportamiento de la superficie de rodamiento incrementando su nivel de servicio en forma inmediata, pero como la actividad se realiza sobre estructuras que ya se presente fatiga (en la mayor parte de los casos) esto provocara que no tenga un buen comportamiento, y por consiguiente no durara el tiempo suficiente para justificar su alto costo de inversión.

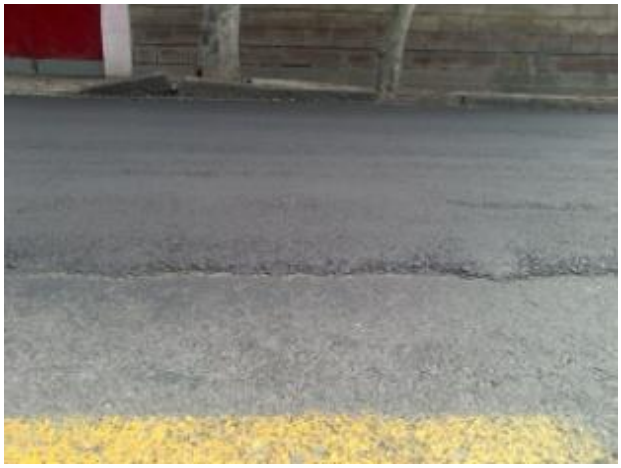


Fig. 4.1 Trabajo de sobrecarpeta en pavimento de la ciudad de Puebla

La práctica común es realizar las correcciones pertinentes como como bacheo o calavereo y aplicar posteriormente la sobrecarpeta.

4.2.4 Bacheo

Esta actividad se realiza con la finalidad de reportar la porción de la superficie de rodamiento que se ha destruido y perdido por la acción del tránsito; las oquedades de acuerdo a su tamaño se dividen en calaveras y baches, siendo mayores a 15 cm estos últimos.

Las calaveras y los baches generalmente indican que existe una falla en la superficie de rodamiento y a veces en la estructura: por lo general su reparación consiste en aplicar mezcla asfáltica con su respectivo procedimiento para reponer la porción que se ha perdido; debido a que esta actividad es una solución temporal y a corto plazo, se tiene que realizar frecuentemente; cabe señalar que el material que se aplica es virgen (del tipo concreto asfáltico) y generalmente se solicita que su calidad sea como mínimo la carpeta asfáltica por lo que su costo es sumamente alto y el tiempo de duración es corto.

Fig 4.2 Trabajo de bacheo en la ciudad de Puebla

Esta actividad se realiza constantemente en todos los estados de la república mexicana sin importar que los beneficios que aporta sean muy pocos en comparación con su costo.

4.2.5 Relleno de grietas

La presencia de grietas es la manifestación del inicio de la falla de los pavimentos; se presentan por diversas causas y puede ser definido a una falla superficial a nivel de capa de carpeta o a una falla en cualquiera de las capas de las estructura.

Fig. 4.3 Relleno de grietas en pavimento asfáltico

La presencia de grietas se debe corregir en forma inmediata con la finalidad de evitar su progreso y cause mayores daños. Las grietas según su ancho, es la forma de corregirlas, y así tenemos que comúnmente cuando se presentan grietas menores a 3 mm generalmente se aplica producto asfáltico fluido para lograr una penetración del asfalto y de esta manera sellar la grieta; cuando son mayores a los 3mm se aplica asfalto y

algún agregado mineral para provocar un taponamiento con mezcla de agregado mineral y asfalto.

La ejecución puede ser manual con equipo; esto depende de la intensidad con la que se presenten las mismas.

4.2.6 Riego de sello

Existe otro proceso constructivo, empleando materiales pétreos de calidad controlada o tratamiento de cribado o trituración parcial o total, que por su producción son de alto costo, los cuales solo se producen con materiales vírgenes y generalmente estos se localizan en bancos muy retirados de las zonas urbanas, incrementando el costo de acarreo y de aplicación; los materiales a los que nos referimos son los que se aplican en riego de sello, el cual se ha utilizado, para impermeabilizar y proteger la superficie de rodamiento prolongando la vida útil de la carpeta.

Fig. 4.4 Trabajos de riego de sello

La aplicación del riego de sello hasta ahora ha sido un proceso que revitaliza la superficie de rodamiento en términos generales satisfactoriamente, pero la aplicación provoca disturbios viales, y contaminación al ambiente por el exceso de polvos que se emiten durante su aplicación

4.3 Proceso de conservación mayor o periódica

Las actividades que se llevan a cabo durante la conservación mayor son aquellas que se realizan para rehabilitar y se aplican eventualmente o periódicamente y por eso también reciben el nombre de conservación periódica y corresponden a las que describen a continuación.

4.3.1 Carpetas asfálticas

El objetivo es el de mejorar la superficie de rodamiento y tradicionalmente se aplica el proceso constructivo de frezar o escarificar la carpeta existente, desechando el producto de frezado para colocar posteriormente una carpeta nueva sobre la superficie en la que se realizó la operación de frezado

Fig. 4.5 Aplicación de carpeta asfáltica

4.3.2 Reciclado de carpetas asfálticas

Otro procedimiento que se ha determinado en el reciclado de la carpeta, que consiste en emplear maquinas apropiadas para el calentamiento de la superficie a tratar, a temperaturas muy altas y que por su procedimiento también contamina al ambiente, aunque se logra el objetivo de evitar el corte de la carpeta; este proceso se puede decir que es el de los primeros intentos por evitar el desperdicio de los materiales procesados y que cuentan con calidad aceptable para ser reutilizados.

4.3.3 Recuperación de base hidráulica y carpeta asfáltica

Cuando se ha presentado deformaciones debido a la presencia de materiales de baja calidad en la capa de base o sub-base, tradicionalmente se procede a la reconstrucción de la base por el método de sustitución, es decir eliminar el material que conforma la estructura para construir una capa nueva con materiales procedentes de banco y que han tenido un tratamiento previo como cribado, triturado parcial o total; con este

procedimiento se tiene perdida de la estructura y por ende perdida de la carpeta asfáltica; el procedimiento tradicional conlleva la eliminación total de la carpeta asfáltica.

Fig. 4.6 Trabajos de recuperación en calles de la ciudad de Puebla

4.3.4 Reconstrucción

Cuando se ha presentado la falla a nivel de estructura, tradicionalmente se recurre a la reconstrucción del pavimento, eliminando las capas que lo constituyen hasta el nivel de la subrasante, que en muchos casos esta capa también se toca para modificar sus características eliminando las capas superiores a esta, como lo es la capa de subbase y base, para construir otras con materiales importados de banco, que han tenido algún tratamiento como los que se citaron anteriormente.

4.3.4 Riego de sello

La aplicación de los riegos de sello también corresponden a la conservación mayor o periódica y como ya se ha mencionado, la aplicación provoca una gran emisión de polvos y la aplicación de materiales implica la explotación de bancos para su producción, la cual es de un valor considerable debido al tratamiento que requiere para ser empleada en trituración total.

Los procedimientos citados anteriormente se han realizado hasta nuestros días, con la consecuencia de atacar al medio ambiente por múltiples actividades que se aplica cada uno de ellos.

4.4 Reciclado de pavimentos asfálticos en frio (recuperación de pavimentos)

El reciclado en frio puede ser realizado en planta o in-situ. En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (con mezclador continuo).Como el procedimiento que se realizó en la unidad deportiva anteriormente comentada.

In-situ, el reciclado se logra usando un maquina recicladora móvil en el lugar.

En general, el proceso en planta es la opción más cara en términos de costo por metro cubico de material. Esto debe ser principalmente a los costos de transporte, que no existen en el reciclado in situ. Sin embargo, ambos métodos de

reciclado tienen su nicho en la industria de la construcción y la decisión sobre la cual debe ser aplicado está definida básicamente por:

- Tipo de construcción. El proceso en planta habitualmente es considerado donde el material reciclado se puede utilizar en la construcción de un nuevo pavimento asfaltico, y en el refuerzo de un pavimento existente.
- El material en in-situ del pavimento existente que va ser reciclado. Cuando un material va a ser reciclado, la variabilidad o condición del tamaño en ocasiones requiere un proceso de selección o pre-tratamiento (por ejemplo, reducir el tamaño de una capa asfáltica gruesa)

En la actualidad el tratamiento in-situ de los materiales de pavimentos es de uso generalizado debido a la llegada de potentes maquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a una fracción del costo de los métodos de reconstrucción convencionales. Además considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente a la demanda por caminos nuevos. Como consecuencia de esto Wirtgen (2000:29) dijo “el reciclado in-situ ha sido adoptado en muchos países” como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos.

4.4.1 Reciclado planta

El tratamiento en planta permanece siempre como un opción que debería ser considerada cuando el reciclado tiene aplicación, particularmente en aquellos proyectos que requieren una mezcla de materiales vírgenes a ser tratados, y

tambien cuando son tratados con asfalto espumeado y luego almacenados en acopios para su uso posterior.

Los principales beneficios del reciclado en planta comparando con el reciclado en in situ son:

- Control de los materiales de entrada. Mientras que el reciclado in-situ permite un control limitado del material recuperado del pavimento existente, el reciclado en planta permite producir un producto final específico al mezclar distintos tipos de agregados. Los materiales de entrada pueden ser almacenados en acopios y ser sometidos a ensayos antes de producir la mezcla, y también es posible cambiar la proporción de los mismos en la mezcla
- Calidad de mezclado. Es posible realizar modificaciones en la operación del mezclado continuo para variar el tiempo en que el material es retenido dentro de la cámara de mezclado, combinando la calidad de la mezcla.
- Posiblidaddes de almacenar el material. Particularmente en los materiales tratados con asfalto espumeado, el producto producido puede ser almacenado y ser utilizado cuando sea requerido, y de ese modo evitar la dependencia de la producción de la mezcla y la colocación de la misma.

4.4.2 Reciclado in-situ

Se puede decir que las máquinas de reciclado han evolucionado a través de los años, desde las primeras máquinas modificadoras para fresar y estabilizar suelos, hasta las recicladoras especializadas hasta hoy en día. Wirtgen (2004:30) afirmo que “Estas recicladoras son especialmente diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimentos de gran espesor en una sola pasada”. Las

recicladoras modernas tienden a ser maquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación.

El elemento más importante de una maquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipada con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso. El tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente, como se observa en la siguiente imagen.

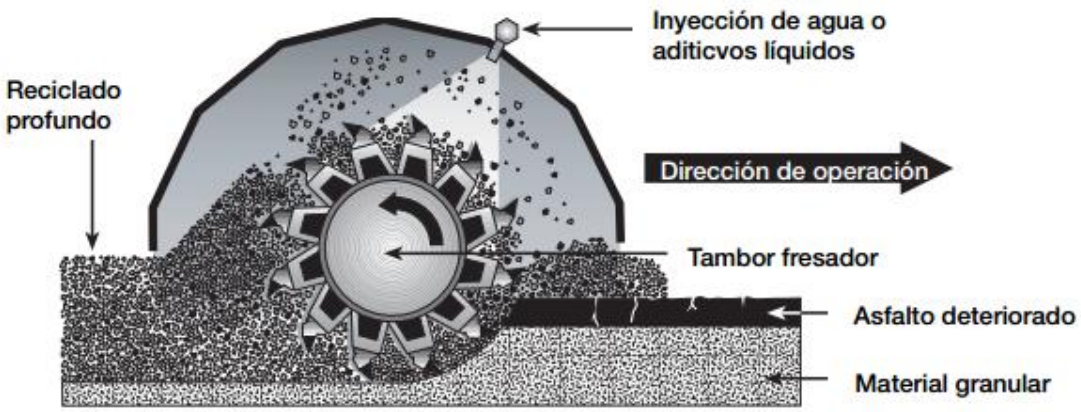


Fig. 4.7 Se puede observar cómo trabaja el tambor en la recuperación

A medida que la maquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de las cámaras dentro de la cámara de mezclado recicladora. El flujo de agua es medido con precisión mediante un micro procesador controlado por un sistema de bombeo, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad. De esta forma es posible conseguir altos niveles de compactación. Agentes estabilizadores como lechada de cemento/agua o emulsión asfáltica, tanto en forma separada como combinadas, pueden ser introducidas directamente a la cámara de mezclado de una forma

similar. Además, el asfalto espumeado puede ser inyectado dentro de la cámara de mezclado mediante una barra aspersora especialmente diseñada.

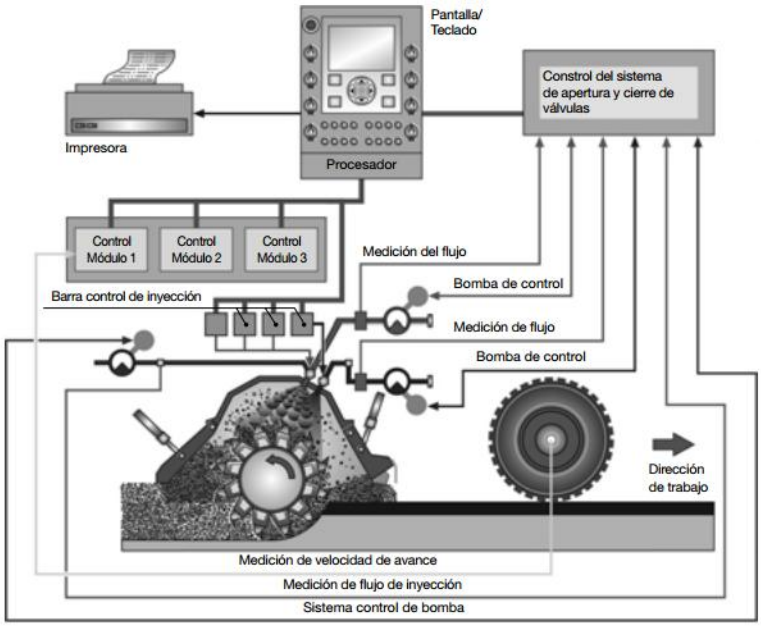


Fig 4.8 Procesador electrónico de máquinas modernas.

Agentes estabilizadores poderosos, como la cal hidratada, son normalmente repartidos en la superficie del pavimento existente, delante de la recicladora. La recicladora pasa trabajando sobre el estabilizador en polvo, mezclando a este con el material recuperado, para luego inyectarle agua con el proceso antes comentado, todo en una sola pasada como se observa en la siguiente fotografía

Fig. 4.9 Estabilización con cal mediante un sistema mecanizado.

Los trenes de reciclado pueden ser configurados de distinta manera dependiendo de la aplicación de reciclado y del tipo de agente estabilizador que sea utilizado. En cada caso la maquina recicladora ejerce la tracción en el tren de reciclado, empujando o tirando el equipo que está conectado a la misma mediante barras de empuje o lanzas.

El tren de reciclado presentado en la siguiente imagen, se utiliza cuando el material es estabilizado con lechada de cemento. La tasa de aplicación requerida de cemento y agua se mide con exactitud antes de mezclarse para formar una lechada, la cual es bombeada a la recicladora mediante una manguera flexible y posteriormente inyectada dentro de la cámara pulverizadora. Alternativamente, el cemento puede ser esparcido sobre el pavimento existente delante de la recicladora, sustituyendo el mezclador de lechada por un auto tanque de agua.

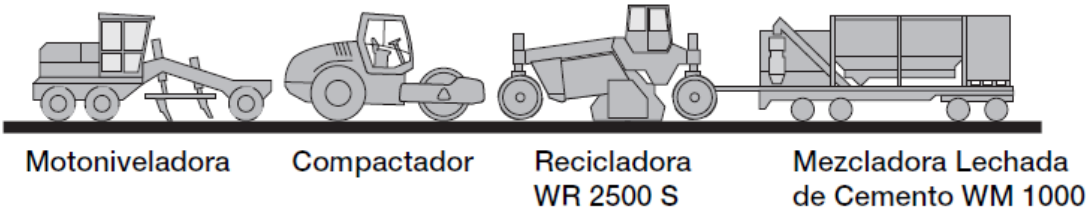


Fig. 4.10 Típico tren de reciclador con mezclador con lechada

El material que sale de la recicladora recibe la compactación inicial del rodillo pesado vibratorio para alcanzar una densidad uniforme en todo el material. Posteriormente el material se perfila con una motoconformadora antes de ser finalmente compactada utilizando un compactador neumático y rodillo vibratorio.

Cuando la emulsión o el asfalto espumeado se aplican junto con la lechada de cemento se configura un tren de reciclado similar al anterior, formado por un tanque suministrador de asfalto empujando delante del mezclador de lechada, como se observa en la siguiente figura. En los casos donde el cemento se esparce como polvo sobre la superficie del camino delante del tren de reciclado, el auto tanque de asfalto se acopla directamente a la recicladora y el tanque de agua es empujado, lidereando el tren de reciclado. En el caso de utilizar una recicladora montada sobre orugas y equipada con placa compactadora, el uso de la motoconformadora para perfilar la superficie puede ser no necesario.

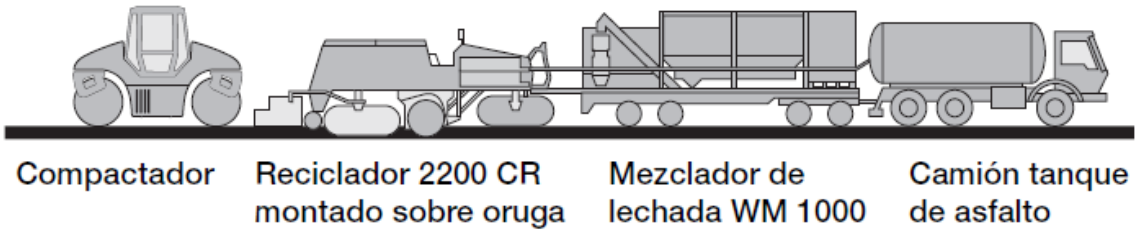


Fig. 4.11 Típico tren de reciclador con mezclador con lechada y camión de asfalto

Cabe señalas que el reciclado en frio es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial.

CAPITULO 5 RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS

5.1 Recuperación de pavimentos

Este proceso según Caraza et al. (2000:51) indicaron que “inicia en nuestro país al principio de los años 90´s”, consistiendo en aprovechar el pavimento actual (carpeta y base) y convertirla en un base hidráulica, asfáltica o estabilizada con cualquier otro material o producto, con la intención de obtener una base dentro de las características de aceptación como tal, o aumentar la calidad de la misma para obtener valores estructurales similares al de una base hidráulica dentro de los parámetros establecidos por las normas cuyo valor estructural corresponde a la unidad, el cual aumenta o es mayor, cuando se mejora aún más la calidad de la base obtenida por la incorporación de algún estabilizador, como asfalto, cal, cemento etc.

Para el trabajo de la recuperación es necesario el empleo de equipo adecuado que en una pasada, en el tramo por tratar, corta el espesor requerido de proyecto deshaciendo los grumos de los materiales constituyentes, mezclando energéticamente e incorporando en forma líquida el aditivo o producto estabilizador incluyendo el agua necesaria para obtener la humedad optima y realizar la siguiente etapa constructiva que consiste en nivelar o perfilar, consiguiendo con esto la a sección de proyecto; posteriormente se procede a su compactación, que dependiendo de los estabilizadores se requiera de un curado; entonces es conveniente realizarlo con la aplicación de un riego de impregnación oportunamente.

Cuando los estabilizadores no sean líquidos, se depositan sobre la superficie por tratar y se realiza el proceso de recuperación.

La capa tratada con el procedimiento de recuperación requiere una superficie de rodamiento, la cual depende del proyecto del tipo de estabilizador, que podrá ser desde una carpeta con tratamiento superficial hasta una carpeta de concreto asfáltico.

En esta ciudad Según Caraza et al.(2000:51) comentaron que “en 1992 se realizaron dos tramos de prueba en la colonia San Manuel consistentes en recuperar 10 cm para convertirlos en base asfáltica”, empleando emulsión asfáltica de rompimiento superestable con una cantidad de aprox. 70 lts/m^3, la cual se compacto y se colocó sobre ella una carpeta mezcla en frio elaborada en planta de 4 cm compactos como refuerzo y superficie de rodamiento. (Tramo que a la fecha se ha comportado satisfactoriamente). Corresponde al cuerpo Pte. Del Boulevard de la 22 Sur entre San Francisco y San Ignacio, esta última continúa funcionando aun con reparaciones de agua potable y drenaje que se han realizado.

Cabe hacer notar esta prueba se realizó en la calle antes citada, la que presentaba deformaciones severas, alcanzando en algunos subtramos hasta 50 cm igual que la calle localizada en Av. Rio Papagayo entre Circunvalación y San Claudio.

Esta calle, debido al proyecto que corresponde a una radial anillo periférico ecológico, se reconstruyo el tramo de la Av. Circunvalación a Av. San Claudio con un procedimiento similar en 1998, solo que este consistió en reforzar la estructura

en un espesor de 20 cms., aplicando cemento portland al 4% en peso y colocando una carpeta de 7 cm de espesor.

Otra avenida que se trató con estabilización en la capa de base de 20 cms. Fue la unidad deportiva en 1993, a la cual se le aplico emulsión asfáltica de rompimiento medio, con la finalidad de convertirla en base asfáltica, con un valor estructural de 1.3, y que de acuerdo al diseño de la estructura, requirió exclusivamente una carpeta de tratamiento superficial doble.

Este sistema consistió en los 20cms recuperados, se enviaron a una planta portátil estabilizadora en donde se realizó la mezcla con emulsión asfáltica y agua con lo que obtuvo una base asfáltica, la que se almaceno para su curado, y posteriormente se regresó al tramo, se tendió con motoconformadora y se compacto. Construyendo sobre ella la carpeta por el sistema de 2 riegos.

El periodo de vida útil que se ha pronosticado para cada una de las vialidades citadas es de 10, 15 y 10 años respectivamente.

Cabe mencionar que es importante la conservación continua de las vialidades puesto que si no se ve vigilada constantemente, su periodo de vida útil se puede acortar.

En lo que se refiere a la estabilización de los materiales que conforman la estructura, su comportamiento, dependerá del fin o el objetivo que se requiera de acuerdo al proyecto; es así que una base hidráulica recuperada tendrá un comportamiento similar al de una base construida con materiales vírgenes y la cual cumple con los índices o parámetros que establecen las especificaciones y sirve como parámetro de referencia para igualar o superar sus índices de calidad;

esto incide directamente en el valor estructural de la base recuperada, asignándole para este caso un valor unitario, que al multiplicar por el espesor de la base recuperad será similar al de la base comparada.

Existen diversos criterios para la definición de este índice, como el instituto de Ingeniería de la UNAM propuesto por el Ing. Santiago Corro Caballero, el del método que propone el Ing. Fernando Bustamante en nuestro país, aun cuando el principio para proposición parte de los estudios realizados en diversas partes del mundo; siendo el más importante el de la capacidad, experiencia y sobre todo la buena fe del personal que intervienen en el estudio y proyecto de pavimentos.

El valor estructural que se le aplica al cálculo de una estructura de pavimento, debe sustentarse en el procedimiento constructivo que se defina por parte del diseñador, y al cual se deberá dar el seguimiento durante su construcción, verificando para garantizar la calidad tanto en materiales como en el proceso.

Así que el valor estructural aún se encuentra en proceso de experimentación con los tramos construidos y estabilizados, que servirá de alimentación para definirlos en un futuro.

Las ventajas que ofrece el procedimiento de recuperación son diversas; cómo podemos citar:

- Bajo costo
- Ecológico
- Rápido
- Larga vida útil

- Fácil de aplicar
- Limpio
- No interrumpe el trafico totalmente
- Ahorro de recurso naturales
- De buena aceptación por usuarios

5.1.1 Bajo Costo

En lo que se refiere al costo, la recuperación de pavimentos se considera como una actividad de bajo costo.

Comparado con otro tipo de sistemas que tradicionalmente se realizan, se logran ahorros hasta mayor a un 30% debido a que no se requiere de retirar y acarrear los materiales a bancos de tiro ni de extracción, adquisición y acarreo de material virgen debido a que él material pétreo se encuentra en el pavimento por tratar.

El empleo de maquinaria se reduce y lo que es más importante es que las horas de uso de la misma se disminuyen.

5.1.2 Ecológico

En lo que se refiere al factor ecológico, se tiene la ventaja de que se mitiga la contaminación ambiental, debido a la reducción de horas máquina y a los acarreos de los mismos tanto de tiro como es costumbre en el relleno de barrancas desperdiciando este material que es de muy buena calidad. Como al emplear materiales vírgenes se beneficia (ahorrando explotación, tratamiento

acarreo) la ecología al no atacar los bancos de materiales empleados como fuente de abastecimiento el mismo pavimento a tratar.

5.1.3 Rápido

El proceso de recuperación tiene una ventaja de ser rápido ya que en una misma etapa constructiva se realizan diferentes actividades como:

Corte de la superficie por tratar en el espesor que especifique el proyecto y que puede alcanzar hasta 350 mm, incluyendo la carpeta y base hidráulica existente deteriorada.

Disgregación de material producto de corte por medio de las puntas que contiene el rotor.

Incorporación de agua en el material y producto asfaltico o aditivo con la precisión y en la cantidad que se establece en el proyecto de mezcla, ya que se dosifica mediante un dispositivo de flujo controlado que está conectado a un procesador.

Homogenización del material con agua, producto asfaltico o aditivo en su caso, logrando una mezcla uniforme.

Tendido del material formando la capa en el espesor deseado, lista para qué con el empleo de una motoconformadora dar los niveles para conformar y compactar en el grado que se especifique en el proyecto.

Se considera que la recuperación de pavimentos mediante este proceso, puede reducir los tiempos de ejecución si se compara con el proceso tradicional, de un 50 a un 80% del tiempo que se requiere con otro sistema.

5.1.4 Larga Vida Útil

Mediante el proceso de recuperación, se mejoran las características de los materiales mediante el empleo de estabilizadores que se incorporan como ya se ha citado anteriormente en forma líquida o sólido, incrementando por lo tanto la calidad de los mismos y por consiguiente garantizando un mayor periodo de vida útil; esto estará en función del proyecto de rehabilitación.

5.1.5 Fácil De Procesar

El proceso es muy sencillo puesto que el equipo de recuperación solo requiere de una fuente de alimentación, como podría ser un camión pipa o petrolizadora para incorporar aditivos líquidos, o de colocar el material solido que estabilizara la capa del pavimento por cortar y mediante el sistema de la propia maquina ajustar el mecanismo de corte en el espesor deseado.

5.1.6 Limpio

Se considera un proceso limpio, puesto que no tiene desperdicio, ya que el pavimento envejecido, es tratado y reciclado en su totalidad, y con la incorporación de agua para su compactación se elimina la posibilidad de emisión en exceso de polvos de los materiales tratados al contar estos con la humedad necesaria para posteriormente lograr la compactación requerida.

5.1.7 No Interrumpe El Trafico Totalmente

El proceso de recuperado se aplica por carriles y en un ancho hasta de 2.50 metros, lo que da la oportunidad de dejar carriles en carreteras o avenidas de alta demanda vehicular, para una circulación libre y de esta manera no interrumpir el tráfico o como se propone en las vialidades de Puebla

5.1.8 Ahorro De Recursos Naturales

Como la fuente de abastecimiento es el mismo pavimento por rehabilitar, se reduce la explotación de bancos de materiales, es decir se minimiza considerablemente el empleo de materiales vírgenes, y por lo tanto también se reduce la contaminación por polvos y gases producto de los acarreos de materiales y empleo de maquinaria.

5.1.9 De Buena Aceptación Por Usuarios

Por todos los beneficios antes citados, el tiempo de ejecución, reducción de molestias al usuario, y beneficio al medio ambiente, este producto ha gozado de buena aceptación en las obras en que ha realizado, quedando impactados los usuarios por el corto tiempo en que causa molestia por los trabajos de construcción.

CAPITULO 6 RESUMEN DE ESTUDIOS REALIZADOS A PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE PUEBLA

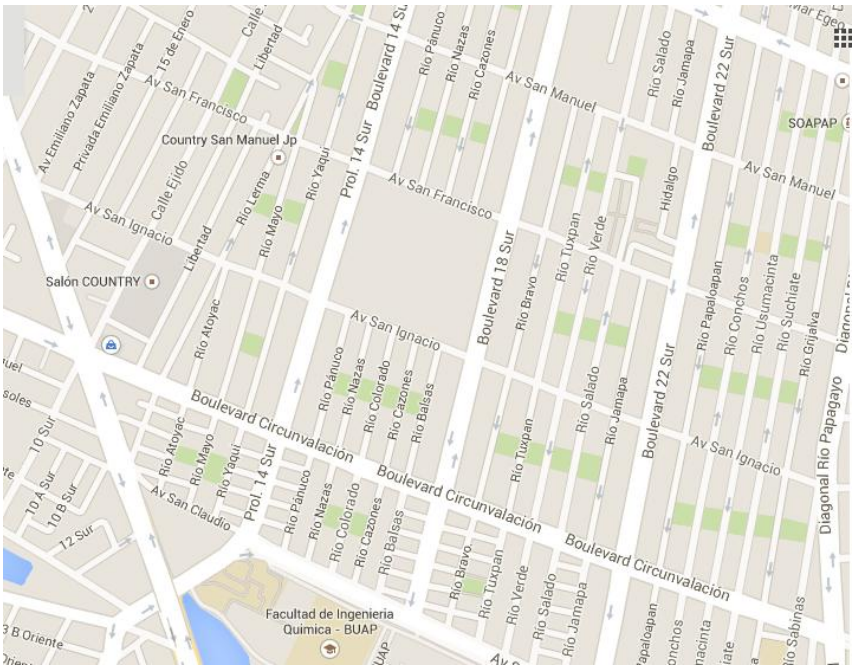
6.1 Análisis de dos zonas para rehabilitación de pavimento

En el año de 1995 el ingeniero José Agustín Burgos Peralta, en su trabajo de tesis denominado “comportamiento actual de los pavimentos en una zona de la ciudad de Puebla” para obtener el grado de ingeniero civil, estudio una gran cantidad de materiales con la intención de formar un banco de datos.

De igual manera los alojo en cuatro zonas de las cuales estoy considerando dos de ellas las que adelante se indican Zona A (San Manuel) y Zona B (Bella Vista, Azcarate y De la Luz) comprendidas en diferentes calles.

6.1.2 Zona A (San Manuel)

Plano correspondiente a la Zona A



Plano de Google earth que nos servirá de apoyo para ubicar las calles

Calles que integran la Zona A:

1 Av. San Claudio entre Boulevard de la 18 Sur y Rio Balsas.
2 Boulevard de la 18 Sur esquina con Av. San Claudio.
3 Boulevard Valsequillo esquina Circunvalación.
4 Lateral de San Claudio esquina 22 Sur.
5 Boulevard de la 22 Sur entre Circunvalación y San Ignacio frente a casa No. 5941
6 Boulevard de la 22 Sur entre Circunvalación y San Ignacio frente a casa No. 5928
7 Av. San Claudio entre 14 Sur y Rio Pánuco.
8 Rio Cazones, entre Blvd. Circunvalación y Av. San Ignacio.
9 Rio Verde, entre Blvd. Circunvalación y Av. San Ignacio.
10 Rio Cazones, entre Av. San Manuel y Av. San Francisco
11 Rio Tuxpan entre Av. San Claudio y Blvd. Circunvalación.
12 Rio Pánuco entre Av. San Claudio y Blvd. Circunvalación.
13 Rio Balsas entre Av. San Claudio y Blvd. Circunvalación.
14 18 Sur entre Av. San Claudio Y Blvd. Circunvalación.
15 18 Sur entre Blvd. Circunvalación y San Ignacio.

Aquí se indica las caracteristicas de los materiales obtenidos de los sondeos de la zona A

Resumen del espesor del pavimento:

Espesor de carpeta deteriorada.

Espesor Carpeta Zona A

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Espesor	6	12	9	6	6	6	7	5	7	9	4	4	5	5	9

Espesor de la capa de base:

Espesor Base Zona A

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Espesor	23	20	12	20	24	25	20	14	14	12	14	16	12	23	17

Resumen de las características de los materiales que forman la capa de base en esta zona.

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PVSS	1591	1435	1435	1350	1502	1595	1438	1355	1265	1313	1292	1463	1275	1299	1389
PVS max								2115	2065	2093	2065	2143	1840	1996	2226
% Abs	6,9	5,8	5,7	4,5	6,8	4,2	5,1	5,13	6,8	4,32	5,8	4,01	5,56	5,57	4,2
Dens.	2,3	2,4	2,19	2,3	2,5	2,4	2,3	2,25	2,23	2,3	2,71	2,36	2,24	2,21	2,29
% E.A.	20,8	19,6	30,2	20,2	13,3	14,8	20,5	23,7	17,6	13,3	12,6	39,5	26	13,1	12,9
L.L.	20	25	34	25	28	27	23	21	31	35	33	30	35	35	27
L.P.	11	13	20	19	24	23	15	N.P.	11	15	12	16	10	18	10
I.P.	15	12	14	6	4	4	8	N.P.	20	20	21	14	25	17	17
C.L	3,4	1.2	4,3	2,5	3,8	4,3	2,7	0,5	3,9	4,2	6,2	2,7	4,8	5,5	3,2
V.R.S.								86,7	66,2	88,7	35	82,4	51,4	50,6	89,7
% Exp.								NP	NP	0,2	NP	0,3	NP	1.2	0,4
Grava	41	64	65	42	68	63	56	14	39	53	35	38	25	32	50
Arena	59	36	35	58	32	37	44	86	61	47	65	62	75	68	50
Finos	13	10	8	16	15	20	9	20	26	23	22	23	35	33	18
S.U.C.S.	SC	GL-CL	GL-CL	S.C	GM	GM	GC-CL	SC	SC	GC	SC	SC	SC	SC	GC-SC

Tabla 6.1 Datos obtenidos por el ingeniero civil José Agustín Burgos Peralta de la Base hidráulica de la zona A.

Los materiales que conforman el pavimento (capa de base). Cuenta con agregados y la presencia de finos que por lo general son arcillosos, siendo necesario en este caso reducir la plasticidad de estos materiales, lo que comúnmente se realiza con cal hidratada, y si se quiere mayor resistencia es necesario incorporar cemento portland, (que este no es el caso) además o solo este estabilizador en mayor cantidad, dependiendo del estudio de estabilización del laboratorio de pavimentos.

Resumen de las características de los materiales que forman la capa de Subrasante de esta zona.

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T. Max.	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4
PVSS	1135	1224	1139	1118	1063	1182	1202	994	1038	1090	1038	1134	970	996	1168
Pasa Nº 4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pasa Nº 40	87	95	85	84	90	69	84	91	78	84	83	93	92	91	75
Pasa Nº 200	43	59	40	41	47	33	35	64	43	48	53	71	67	68	38
PVS max.	1680	1770	1650	1670	1610	1665	1650	16,5	1640	1720	1695	1180	1630	1530	1790
Hum. Opt.	19,5	18,5	20,1	19	21	21	20,2	21,4	10,2	16,5	16,4	26,7	22,5	24,2	16,2
Hum. Nat.	20,1	23,2	23,4	20,2	20	16,1	15,7		10,5				31,4	27	19,7
L.L.	43	42	36	45	42	25	37	43	43	30	26	70	52	56	19
L.P.	24	17	21	19	19	16	15	19	17	11	13	13	14	15	13
I.P.	19	25	15	26	23	9	22	24	26	19	13	57	38	41	6
C.L	12,7	12,3	8,6	12,6	11,3	3,3	8,2	8,5	7,4	3,5	1,8	13,1	12,2	10,5	1,7
E.A%	6,5	1,8	8,2	4,9	1,8	18,3	4,1								
Grava	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena	57	41	60	59	53	67	65	36	57	52	47	29	33	32	62
Finos	43	59	40	41	47	33	35	64	43	48	53	71	67	68	38
S.U.C.S.	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SC	CL	SC	SC	CL	CH	CH	CH	SC

Tabla 6.2 Datos obtenidos por el ingeniero civil José Agustín Burgos Peralta de la Subrasante de la Zona A

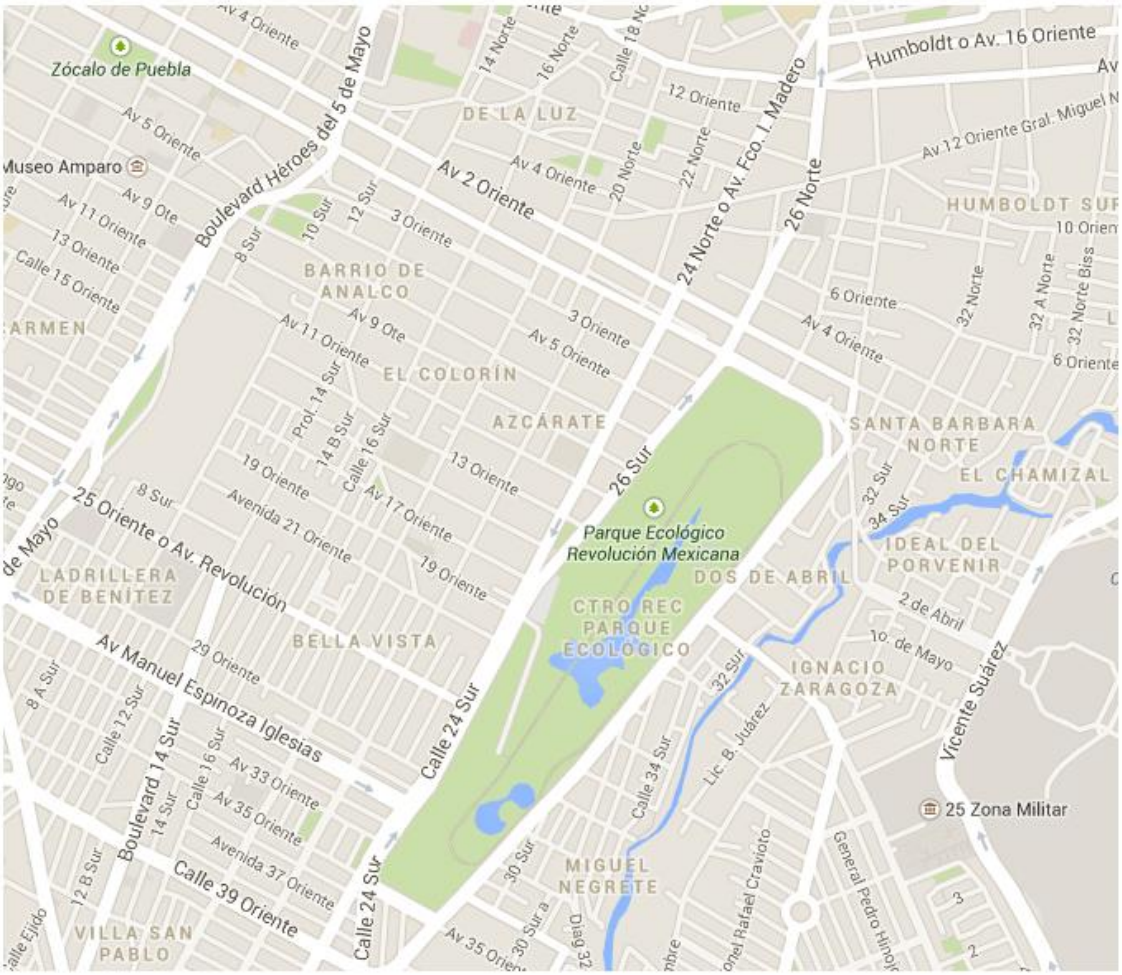
El material correspondiente a la capa inmediatamente inferior a la capa de base (considerada como capa Subrasante) corresponde a un suelo con mucha presencia de plasticidad finos y con contenidos de humedad del lugar mayores que la óptima. Lo que nos indica que está conformado con el mismo material del terreno natural, que preferiblemente no debe de tocarse para no romper la estabilidad existente.

Con todos estos datos se puede decir, que existe un pavimento formado por una carpeta de mezcla asfáltica deteriorada por el paso del tiempo y envejecida por lo mismo y presencia del agua; y una capa de base deficiente en calidad por su plasticidad, que estabilizando se pueden mejorar sus características

En conjunto se observa que por lo menos existen 20 cm de pavimento sumando los espesores de carpeta y base, los que se pueden emplear en la recuperación, con la incorporación de una nueva carpeta que servirá de refuerzo al nuevo pavimento recuperado.

6.1.3 Zona B (Bella Vista, Azcarate y de la Luz)

Plano correspondiente a la Zona B



Plano de Google earth que nos servirá de apoyo para ubicar las calles

Calles que integran la Zona B:

1 24 Sur entre 19 Oriente y 21 Oriente
2 17 Oriente entre 16 Sur y 18 Sur
3 16 Sur y 25 Oriente
4 24 Sur entre 33 Oriente y 35 Oriente
5 16 sur entre 7 Oriente y 9 Oriente
6 26 Sur entre 2 Oriente y Maximino Ávila Camacho
7 25 Oriente esquina 24 Sur
8 24 Sur entre 3 Oriente y 5 Oriente
9 Av. 24 Sur esquina 39 Oriente
10 Av. 16 Sur entre 31 Oriente y 33 Oriente

Aquí se indica las caracteristicas de los materiales obtenidos de los sondeos de la zona B

Resumen del espesor del pavimento:

Espesor de carpeta deteriorada.

Espesor de Carpeta Zona B

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Espesor	12	6,5	20	11	19	10	19	6	12	5

Espesor de la capa de base:

Espesor de Base Zona B

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Espesor	18	50	30	14	30	20	14	15	14	13

Resumen de las características de los materiales que forman la capa de base en esta zona.

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PVSS	1738	1641	1434	1616	1519	1624	1532	1514	1321	1402
PVS max								2025	2032	1782
% Abs	5,5	4,5	5,8	6,1	4,1	4,6	6	6,5	5,5	5,7
Dens.	2,2	2,3	2,3	2,3	2,9	2,3	2,1	2,23	2,31	2,2
% E.A.	13,3	26,3	10,3	30	24	24,1	15	16	22	33,7
L.L.	26	23	30	23	24	21	31	25	27	27
L.P.	12	N.P.	17	15	18	19	14	19	17	N.P.
I.P.	14	N.P.	13	8	6	2	17	6	10	N.P.
C.L	4,8	0,4	6,7	2,8	4	1,6	5,8	4,5	1,8	0
V.R.S.								63	61.6	99,8
% Exp.								0	0	0
Grava	61	44	71	44	54	44	64	63	66	41
Arena	39	56	29	56	46	56	36	37	34	59
Finos	18	10	11	17	13	14	13	14	14	6
S.U.C.S	GC	SM-ML	GC-CL	SC	GC	SM	GC	GC	GC	SM-CL

Tabla 6.3 Datos obtenidos por el ingeniero civil José Agustín Burgos Peralta de la Base hidráulica dela zona B

Se observa que existe más de 20.0 cm de estructura de pavimento compuesta por la carpeta deteriorada y la capa de base ligeramente plástica

Los materiales cuentan con agregados y la presencia de finos que por lo general son arcillosos, siendo necesario en este caso reducir la plasticidad de estos materiales, lo que comúnmente se realiza con cal hidratada, y si se quiere mayor resistencia es necesario incorporar cemento portland, (que este no es el caso) además o solo este estabilizador en mayor cantidad, dependiendo del estudio de estabilización del laboratorio de pavimentos.

Resumen de los materiales que forman la capa de Subrasante de esta zona.

Ensayes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T. Max.	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4
PVSS	1209	1172	1097	1118	1135	1105	1122	1025	1075	1118
Pasa Nº 4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pasa Nº 40	80	89	90	88	93	85	86	91	86	88
Pasa Nº 200	43	47	38	50	34	39	35	50	40	49
PVS max.	1660	1695	1510	1650	1580	1610	1640	1578	1654	1810
Hum. Opt.	17	19,1	22,5	20,5	23	22,7	18,5	24,3	20,4	16,5
Hum. Nat.	20,3	20,5	29,3	29,4	23	25,5	26,3	35	23,8	13,2
L.L.	38,8	42,4	36	42	31,9	36	39	39	34	36
L.P.	17,7	13,1	14	13	18,2	19	19	17	26	17
I.P.	21	29	22	29	14	17	20	22	8	19
C.L	6,7	11,7	11,1	13,9	6,4	9,2	10	7	2,1	4
E.A%	5,3	2,3	4,5	1,8	10,6	7,8	3,5			
Grava	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena	57	53	62	50	61	61	65	50	60	51
Finos	43	47	38	50	39	39	35	50	40	49
S.U.C.S.	SC	SC	SC	CL	SC	SC	SC	CL	SC	SC

Tabla 6.4 Datos obtenidos por el ingeniero civil José Agustín Burgos Peralta de la Subrasante dela zona B

El material correspondiente a la capa inmediatamente inferior a la capa de base (considerada como capa Subrasante) corresponde a un suelo con mucha presencia de plasticidad finos y con contenidos de humedad del lugar mayores que la óptima. Lo que nos indica que está conformado con el mismo material del terreno natural, que preferiblemente no debe de tocarse para no romper la estabilidad existente.

Con todos estos datos se puede decir, que existe un pavimento formado por una carpeta de mezcla asfáltica deteriorada por el paso del tiempo y envejecida por lo mismo y presencia del agua; y una capa de base deficiente en calidad por su plasticidad, que estabilizando se pueden mejorar sus características

En conjunto se observa que por lo menos existen 20 cm de pavimento sumando los espesores de carpeta y base, los que se pueden emplear en la recuperación, con la incorporación de una nueva carpeta que servirá de refuerzo al nuevo pavimento recuperado.

Como se puede ver con estas dos zonas analizadas, se puede generalizar el criterio de poder recuperar el pavimento existente, reforzándolo con la incorporación de una carpeta asfáltica nueva.

En base a todos los estudios anteriores se puede sugerir el siguiente proceso constructivo tomando en cuenta que las calles están en condiciones aceptables para su recuperación (en su mayoría estabilizándolas con hidróxido de cal) mediante el método de **recuperación de pavimentos.**

6.2 Proceso constructivo propuesto para realizar el trabajo completo en una jornada

En el desarrollo de la recuperación, verificar las obras de infraestructura como drenaje, agua potable, pozos de visita, etc. Con la finalidad de no perjudicar con el paso del equipo de construcción las ya existentes y tratar que todas estén conectadas para evitar posteriores cortes en la obra terminada, y continuar con las guarniciones y banquetas en las zonas pendientes.

6.2.1 Con el equipo de recuperación**.**

Se está proponiendo que todos los trabajos por realizar (desde el proceso de recuperado, hasta el tendido de la carpeta asfáltica)**, se efectúen en una jornada normal, iniciando a más tardar a las 8:00 hrs y concluir por la tarde a más tardar 17:00 hrs. (periodo normal antes de temporada de lluvia) obra 100% concluida.**

Proceder a colocar sobre la superficie por trabajar, la cantidad de cal hidratada (cuya cantidad de hidróxido de cal no sea menor a 75%) en la proporción recomendada, extendiéndola en toda la superficie.

Realizar la recuperación del pavimento, en el espesor requerido, incorporando el agua necesaria para obtener la humedad cercana a la óptima de compactación, a todo el ancho de la sección que sea la conveniente (de acuerdo a lo que se pueda efectuar, para ser cubierto el mismo día con la carpeta asfáltica proyectada) para posteriormente con la motoconformadora concluir con un mezclado y tendido dando la sección de proyecto, previo a su compactación.

Una vez realizado y aceptado el trabajo anterior, se procederá a compactar toda la sección con el empleo del equipo adecuado, pesado NO VIBRATORIO, (equipo de rodillo liso, acompañado con equipo neumático) hasta obtener como mínimo el 95% de su peso volumétrico seco máximo

6.2.2 Impregnación

Una vez tratada y recibida por la supervisión de construcción la capa de base recuperada, y previo a un barrido de la superficie, para eliminar material suelto no deseable, se aplicará un riego con producto asfáltico emulsificado catiónico de rompimiento lento (ECL-60), para proteger a esta capa, y recibir posteriormente la carpeta asfáltica, la dosificación aproximada es de 1.4 a 1.8 lts/m^2. Lo que dependerá de la textura terminal de esta capa de base.

6.2.3 Carpeta

Previo a la aplicación de un riego de liga con emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido tipo ECR-60 en dosificación aproximada de 0.5 a 0.7 lts/$m^{2,}$ y permitiendo el rompimiento de la misma, se colocará la mezcla asfáltica que formará la carpeta de concreto asfáltico (mezcla en planta en caliente) la que se realizará mezclando el material pétreo y cemento asfáltico a una temperatura no menor de 150 ^{o}C conforme al diseño Marshall respectivo en una planta de mezcla asfáltico en caliente.

La mezcla asfáltica se colocará, con extendedora (finisher) a una temperatura no menor a 130 ^{o}C El proceso de compactación se realizará con el equipo apropiado a la temperatura mínima de 120 ^{o}C. empleando rodillo liso para armar y equipo neumático para su completa compactación, eliminando las huellas

de este equipo con rodillo liso para concluir el proceso quedando un espesor de 5.0 cm compactos al 95% como mínimo de su peso volumétrico Marshall.

NOTA:

No se debe permitir, realizar trabajos que queden pendiente para otro día, ya que la superficie recuperada puede perjudicarse si no se protege con la carpeta asfáltica, el mismo día.

CONCLUSIONES

Como se pudo observar en este trabajo, el proceso de recuperación de pavimentos es un trabajo limpio, ecológico y económico que además por su rapidez los resultados son inmediatos, además es muy importante hacer notar que se cumple con la mitigación de los trabajos similares al reutilizar, reducir y reciclar los materiales existentes.

Las superficies deformadas por el bacheo son eliminadas al emplear el método de recuperación de pavimento.

El costo como se observó se reduce en mucho al no exportar material virgen ni desechar el pavimento existente.

La calidad del nuevo pavimento (recuperado) es superior a la calidad original como se observó que la carpeta se integra al material de base y además se incorpora un aditivo.

Estos trabajos son rápidos y es de importancia que quede protegido totalmente con el refuerzo de pavimento extra que lo conforma la carpeta asfáltica.

Con este sistema se elimina el bachar sobre bache bacheado, que es un negocio muy generalizado.

BIBLIOGRAFÍA

- Wirtgen GmbH, (2004). Manual de Reciclado en Frio, 2ed. Ed. Wirteng GmbH, Alemania.
- Calderón H., Miguel (1998), Curso de pavimentos, 3ed. Ed. CECSA. México.
- Caraza Islas, Jorge Antonio (1977) “Evaluación de las condiciones de servicio y métodos para el diseño del refuerzo de un pavimento flexible “, Tesis de Lic. en Ingeniería Civil, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Caraza Islas, Jorge Antonio. Cruz Pérez, Antonio. Pérez Madrid José (2000) “Rehabilitación de la infraestructura vial urbana en la ciudad de Puebla con métodos no contaminantes “, Tesis de Maestría en Tránsito y Transporte, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Burgos Peralta, José Agustín (1995) “comportamiento actual de los pavimentos en una zona de la ciudad de Puebla “, Tesis de Lic. en Ingeniería Civil, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Álvarez Macías, Enrique (1998) “Estabilización de suelos con Aditivos”, Tesis de Lic. en Ingeniería Civil, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Barrios Olvera, Federico (2008) Falla funcional en pavimentos asfalticos, Vol. 1, no. 4, Pp. 52-53. Disponible en: http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3024/Capitulo4.pdf (Consulta: 1 de julio de 2014)
- Herrara Herrera, Carlos Alfonso (2012) Falla funcional en pavimentos asfalticos, Vol. 1, no. 1, Pp. 1-2. Disponible en: http://www.soporteycia.com/rcm2-7/servicos-rcm2/66-rcm2/faqrcm2/379-faqrcm2-10 (Consulta: 4 de julio de 2014)