

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En la medida en que un pavimento complete su periodo de diseño, construcción y la necesidad de preservarlo, se incrementa la necesidad de evaluar la capacidad estructural del pavimento.

Ante esta situación y dada la complejidad y altos costos que implica la realización de los ensayos del Módulo Resiliente (M_R), parámetro que representa el comportamiento de los materiales que conforman el pavimento ante la acción de cargas de tránsito a la que se ven sometidas, se ha optado por obtener este parámetro a partir de correlaciones que determinan el Módulo Resiliente (M_R) a través de ensayos de valor de soporte relativo (CBR) para caracterizar las capas del pavimento. No obstante, y con la finalidad de minimizar los tiempos requeridos e incrementar el número de mediciones, se propone la estimación del Módulo Resiliente (M_R) a partir de ensayos no destructivos, los cuales se basan en la determinación de la capacidad estructural del pavimento mediante un análisis de deflectometría.

Con base a las deflexiones obtenidas es posible por medio de metodologías de retrocálculo determinar el Módulo Resiliente (M_R) de las capas de la estructura de pavimento, minimizando de esta forma tiempo y costos, y reduciendo los procedimientos destructivos que impliquen la rotura de la vía y la extracción de muestras de campo.

Esta investigación busca mostrar metodologías mecánico - empíricas que permitan comparar los resultados obtenidos con los módulos determinados a partir de ensayos de laboratorio, analizando la relación entre ambas metodologías a partir de la influencia de diferentes factores como ser: el contenido de humedad de los materiales,

la teoría de capas elásticas y la temperatura, que ayuden sustancialmente a la interpretación y manipulación de los datos recolectados.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Dentro de la ingeniería vial es de gran importancia la determinación de los parámetros que representan de mejor manera las características de esfuerzo – deformación de los materiales que conforman la estructura del pavimento. Por ello investigadores y diseñadores se han preocupado por desarrollar y proponer el uso de métodos que nos ayuden a determinar el comportamiento y respuesta del suelo ante la acción de solicitaciones, además de encontrar un parámetro que nos ayude a entender el comportamiento de la estructura de los pavimentos.

Actualmente el avance tecnológico de los equipos como resultado de varias investigaciones, han desarrollado varios métodos, técnicas y nuevos equipos de evaluación capaces de representar el comportamiento de la estructura de un pavimento con información amplia y valiosa.

Uno de estos equipos es precisamente el Deflectómetro de Impacto (FWD), equipo que permite por medio de técnicas no destructivas realizar la evaluación estructural de pavimentos, de forma rápida y precisa, recopilando la información necesaria con la cual es posible determinar los módulos de las capas que conforman un pavimento.

Sin embargo, el costo elevado de esta nueva tecnología impide su aplicación masiva en nuestro país, por lo que se hace necesario la utilización de la Viga Benkelman instrumento completamente mecánico, de diseño simple y considerado como un método simple y económico.

A fin de lograr un completo análisis deformacional de los pavimentos se considera realizar un estudio de comparación de resultados entre valores de Módulos Resilientes obtenidos mediante la Viga Benkelman y los obtenidos mediante el valor de soporte CBR, partiendo de un mismo punto en común como son las condiciones

de trabajo y las condiciones propias del material, la temperatura y el contenido de humedad respectivamente.

Por esta razón nos interesa realizar un estudio y comparación en busca de determinar una correlación entre ambas metodologías, comparando con el mejor juicio los resultados obtenidos con ambos equipos, los cuales son usados para la determinación de las características necesarias para una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos con la obtención de Módulos de Resiliencia de campo más reales que los actuales.

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1.1 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Los pavimentos son estructuras diseñadas para ofrecer seguridad, confort, rapidez y economía para los vehículos que transitan sobre él. Con el paso del tiempo el efecto repetitivo de las cargas del tránsito, la acción climática, las deficiencias constructivas, o de los materiales utilizados, inducen un deterioro sobre su estructura. En función de su grado de deterioro se diseñan las reparaciones o rehabilitaciones pertinentes para prolongar su vida útil.

Los métodos recientes para el diseño de pavimentos emplean este parámetro de Módulo Resiliente (M_R) para la caracterización mecánica de los materiales que conforman su estructura, debido a que representa el comportamiento de los suelos ante la acción dinámica del tránsito, recreando de forma más real el estado de refuerzos y de deformaciones al que se ve sometido.

El Módulo Resiliente (M_R) generalmente es hallado por correlaciones con otros ensayos de laboratorio, como el ensayo de la relación de soporte de California (CBR).

Al no contar con el equipo necesario para realizar los ensayos apropiados en la determinación del Módulo Resiliente (M_R) de forma sencilla, nos vemos obligados a adoptar métodos más prácticos y viables, en este caso se utilizará la viga Benkelman y una correlación mediante CBR obtenido de laboratorio para la determinación del Módulo Resiliente (M_R) para posteriormente realizar una verificación de los resultados obtenidos comparando con el mejor juicio los resultados obtenidos por ambas metodologías.

1.3.1.2 PROBLEMA

¿La utilización de ambas metodologías para la correlación del Módulo Resiliente (M_R) de los materiales del pavimento del tramo Falda de la Queñua – San Lorencito, nos servirá para determinar características de campo más reales para una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos?

1.3.2 OBJETIVOS

1.3.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una comparación del Módulo Resiliente (M_R) obtenido a través de ensayos de laboratorio con el obtenido mediante ensayos no destructivos para establecer la correspondencia entre ellos a partir de la medición de deflexiones.

1.3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los conceptos teóricos en que se basan los métodos estudiados.
- Evaluar el procedimiento de cálculo para la determinación del Módulo Resiliente a través de ensayos de laboratorio y mediante ensayos no destructivos.

- Ubicar el tramo en estudio en base al tipo de tramo carretero.
- Determinar el número de deflexiones en el pavimento mediante la aplicación de la Viga Benkelman como método no destructivo, para un análisis estadístico probabilístico.
- Determinar el Módulo Resiliente a partir del modelo matemático de Hogg Simplificado para cada uno de los puntos donde se realizó el ensayo con la Viga Benkelman.
- Realizar el ensayo de valor soporte CBR del suelo en laboratorio a través de muestras obtenidas de los diferentes bancos para caracterizar cada una de las capas que conforman el pavimento.
- Evaluar la determinación y el comportamiento resiliente de los materiales de las capas del pavimento en base a datos obtenidos por la Viga Benkelman y los obtenidos en laboratorio.
- Establecer conclusiones sobre los resultados del estudio de comparación y recomendaciones para su aplicabilidad en nuestro medio.

1.3.3 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

1.3.3.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Se toma como variables independientes a las deflexiones y al valor soporte CBR determinados a partir de la aplicación de la Viga Benkelman y ensayos de laboratorio respectivamente, para conocer las características y el comportamiento de los materiales que conforman el sistema estructural del pavimento.

1.3.3.2 VARIABLES DEPENDIENTES:

Se toma como variable dependiente al Módulo Resiliente obtenido mediante los datos proporcionados por ambas metodologías, para establecer una correspondencia entre ambos resultados y poder evaluar el comportamiento estructural del pavimento.

1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1 COMPONENTES

1.4.1.1 UNIDADES DE ESTUDIO

Para el presente trabajo de investigación se toma como unidad de estudio el estado de los pavimentos.

1.4.1.2 POBLACIÓN

El elemento más común es el estado del pavimento del tramo Túnel Falda de la Queñua – San Lorencito.

1.4.1.3 MUESTRA

Se estudiarán 3 tramos de 15 kilómetros, los mismos que van desde la progresiva 18+500 a la progresiva 13+520; de la progresiva 13+500 a la progresiva 08+520 y de la progresiva 47+960 a la progresiva 47+230, analizando tanto deflexiones como capacidad estructural del suelo de fundación.

1.4.1.4 MUESTREO

DEFLEXIONES

Para el presente estudio se realizará el muestreo de los materiales que conforman la estructura del pavimento en el tramo de estudio tomando 1 segmento de medición cada 50 m de los 15 km propuestos, para la determinación del Módulo Resiliente (M_R) obtenido mediante la Viga Benkelman y ensayos de valor soporte CBR.

ENSAYO DE VALOR SOPORTE CBR

Para la validación del ensayo se tomarán muestras de materiales de las capas que conforman el pavimento del tramo en estudio. Estas muestras serán obtenidas de bancos.

1.4.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.4.2.1 PROCESO METODOLÓGICO

1.4.2.1.1 MÉTODOS

Para el presente trabajo se aplicará un Método Inductivo – Deductivo, se trata de un método mixto en la que ambas metodologías se complementan para un estudio, ya que el aprendizaje no culmina con la generalización, sino que necesita de la aplicación, comprobación y ejercitación, a este tipo de metodología se la conoce como método eléctrico, porque recoge procedimientos de la inducción y de la deducción, adoptando una posición intermedia.

ENSAYO VIGA BENKELMAN

El presente trabajo de aplicación parte de una lógica que se basa en la determinación de la deflexión de la estructura del pavimento a partir de una auscultación empleando métodos no destructivos para determinar el comportamiento del sistema pavimento –

subrasante, así como de establecer una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos, mediante modelos matemáticos a través de los cuales es posible determinar parámetros como el Módulo Resiliente (M_R) que caracteriza de mejor manera el comportamiento del pavimento.

1.4.2.1.2 TÉCNICAS

Las técnicas que se emplearán para obtener la información necesaria para poder desarrollar el presente trabajo son las siguientes:

- **Ensayos:** Son pruebas o técnicas experimentales que tienen una metodología de “medios” instrumento o equipo con el cual realizan los ensayos para determinar ciertas características.

Para el presente trabajo se realizarán 9 ensayos de valor soporte CBR para determinar las características de los materiales que conforman cada una de las capas del pavimento.

- **Medición:** La medida que resulta de la aplicación de una acción en base a un patrón.

Se evaluará la deflexión de la estructura del pavimento a través de la Viga Benkelman tomando 1 prueba por cada segmento.

Los segmentos en estudio serán cada 50 m de los 15 kilómetros propuestos.

- **Comparación:** Se efectuará una comparación entre los datos obtenidos por ambas metodologías que permitan establecer un análisis de deformación del pavimento.

1.4.3 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Este trabajo es de carácter probabilístico, ya que se realizarán diferentes ensayos y medidas de deflexiones con que se obtendrán una serie de datos, los cuales deberán ser

analizados y procesados para una correlación final, con la cual se determinará y evaluará la condición estructural del pavimento.

A partir de un conjunto de datos que representan tanto la población (Estado del pavimento) y el muestreo (CBR y deflexiones de los materiales del pavimento del tramo en estudio) se determinarán las medidas de posición y dispersión a partir de las cuales se establecen si existen datos fuera de rango.

- **MEDIA ARITMÉTICA**, valor medio de un conjunto de valores numéricos.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n} \quad \text{ECUACION 1.1}$$

- **MODA**, valor con mayor frecuencia en una distribución de datos.
- **MEDIANA**, representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

$$M_e = \frac{x_{(n+1)}}{2} \quad \text{ECUACION 1.2}$$

- **COEFICIENTE DE VARIACIÓN**, valor estadístico de dispersión que tiene la ventaja de que no lleva asociada ninguna unidad.

$$CV = \frac{S}{X} \quad \text{ECUACION 1.3}$$

- **DESVIACIÓN ESTANDAR**, es una medida de dispersión para variables de razón y de intervalo.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - x)^2}{n}} \quad \text{ECUACION 1.4}$$

1.5 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo se analizará toda la información obtenida de la aplicación de la Viga Benkelman con otro modelo propuesto por la AASTHO para compararlas entre sí a través de correlaciones, para con ello establecer una caracterización adecuada del sistema pavimento - subrasante y determinar de esta manera el Módulo Resiliente (M_R), parámetro que representa las características estructurales del sistema de pavimento, aplicado en 3 tramos más precisamente en las progresivas **18+500** a la **13+520**; **13+500** a la **08+520** y **47+960** a la **42+230** de la carretera Tarija – Potosí, tramo cruce Falda de la Queñua – San Lorencito.

Se realiza un estudio de las deflexiones en el sistema pavimento –subrasante a través de ensayos de deflectometría mediante la Viga Benkelman y ensayos de valor soporte CBR para determinar el Módulo Resiliente, ya que a mayor deflexión se aprecia un menor módulo de elasticidad y a menor deflexión se presentará un mayor Módulo de Resiliencia.

Este análisis nos ayudará a determinar las características de los materiales que conforman el sistema y determinar las necesidades de una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos con la obtención de Módulos de Resiliencia de campo más reales que los actuales mediante el método comparativo.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones generales del presente estudio, al respecto se señala que el Módulo de Resiliencia es una propiedad básica de los materiales que sirve para evaluar pavimentos.

En el Capítulo I, se da a conocer el objetivo general, objetivos específicos, justificación, alcance, entre otros, los cuales nos ayudarán a comprender el porqué de la importancia del estudio.

En el Capítulo II, se realiza un estudio teórico en forma general de lo que son los pavimentos, tipos de pavimentos, las mezclas asfálticas, para comprender y analizar

de manera teórica como influyen los materiales que conforman el pavimento y la calidad de estos en las deflexiones.

Estos y otros factores importantes se irán desarrollando más adelante y de manera más detallada para una mayor y mejor comprensión.

En el capítulo III, se hace un énfasis al efecto que produce las cargas repetidas sobre los materiales que conforman la estructura del pavimento, denotando que estos fallan principalmente por leyes de fatiga, lo cual ocurre en los materiales usados en la construcción de carreteras.

Como resultado de varias investigaciones, se han desarrollado nuevas técnicas y métodos que nos ayudan a determinar el comportamiento y respuesta del suelo a dichas sollicitaciones.

A través de este capítulo se pretende brindar un mayor conocimiento a través de conceptos y los procedimientos de cálculo en que se basan los métodos propuestos para la determinación del Módulo Resiliente (M_R), de esta manera caracterizar el sistema pavimento – subrasante y determinar sus necesidades.

Para el capítulo IV se establece la realización de ensayos de deflectometría mediante la Viga Benkelman y ensayos de valor soporte CBR para la aplicabilidad de métodos en la determinación del Módulo Resiliente (M_R), de este modo realizar un análisis de resultados y la comparación de estos para establecer Módulos Resilientes de campo más exactos. Se analiza que la aplicación del método no destructivo facilita la determinación del Módulo Resiliente para condiciones reales de campo a comparación de los valores de soporte.

En el capítulo V se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas después de la realización de esta investigación.

CAPÍTULO II

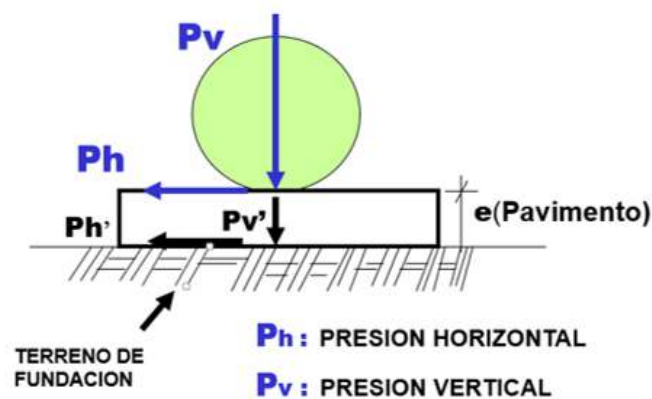
TEORÍA GENERAL DE LOS PAVIMENTOS

3.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Del latín *PAVIMENTUM*, el pavimento es una estructura o sistema estructural conformado por un conjunto de capas de diferentes materiales, diseñadas y construidas sobre la subrasante preparada para soportarlo, cuyas funciones fundamentales son:

- Proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura adecuados, capaz de resistir, transmitir y distribuir al terreno de fundación la intensidad de las cargas originadas por los vehículos.
- Mejorar las condiciones de rodadura de los vehículos, proporcionando comodidad y seguridad a los usuarios.
- Resistir a los esfuerzos horizontales (desgaste), tornando más durable la superficie de rodadura.

FIGURA 2. 1: ESQUEMA DE PRESIONES TRANSMITIDAS POR LOS VEHÍCULOS AL PAVIMENTO



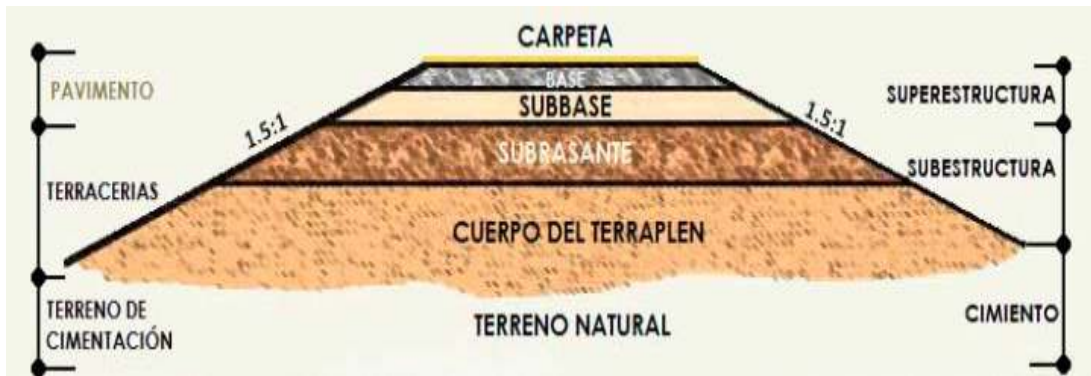
Fuente: Ponencia “Pavimentos económicos para un país en desarrollo” – Ing. Jorge Luis Yamunaque Miranda.

Un pavimento, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del volumen de tráfico.

Por lo general el pavimento está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

3.2 TERRACERÍAS

FIGURA 2. 2: ESQUEMA DE TERRACERÍA



Fuente: Tesis: “MÉTODOS DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS” - Rufino Mario Marchan Moreno, México DF. 2005.

Las terracerías pueden definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre.

Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer materiales fuera de ella, denominados zonas de préstamos.

Si se ubican cerca de la obra, se denominan zona de préstamo lateral, de lo contrario son zonas de préstamo de banco.

Las terracerías en terraplén (Fig. 2.2) se dividen en el cuerpo del terraplén, que es la parte inferior, y la capa subrasante o terreno natural, que se coloca sobre la anterior con un espesor mínimo de 30 cm.

3.2.1 CUERPO DEL TERRAPLÉN

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre son las siguientes:

- a) Alcanzar la altura necesaria para satisfacer las especificaciones geométricas en lo Relativo a la pendiente longitudinal.
- b) Resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para trasportarlos en forma adecuada al terreno natural, de acuerdo con su resistencia.

Los materiales empleados para construir el cuerpo del terraplén deben tener un tamaño máximo de hasta 75 cm.

Los materiales utilizados en la construcción del cuerpo del terraplén se dividen en: compactables y no compactables.

Un material es compactable cuando, después de disgregarse, se retiene menos del 20% en la malla de 7.5 cm (3 pulg.) y menos del 5 % en la malla de 15cm. (6 pulg.).

Los materiales no compactables carecen de estas características.

3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO DEL TERRAPLÉN

El acomodo de los materiales puede realizarse de tres maneras:

1.- Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad. En general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén es del 90 % y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.

2.- Si los materiales no son compactables, se forma una capa con un espesor casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca, no menor de 15 cm.

3.- Si es necesario efectuar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no es fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite colocar el material a volteo hasta una altura en que ya pueda operar el equipo.

3.2.3 FUNCIONES DE LAS TERRACERÍAS

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre son las siguientes:

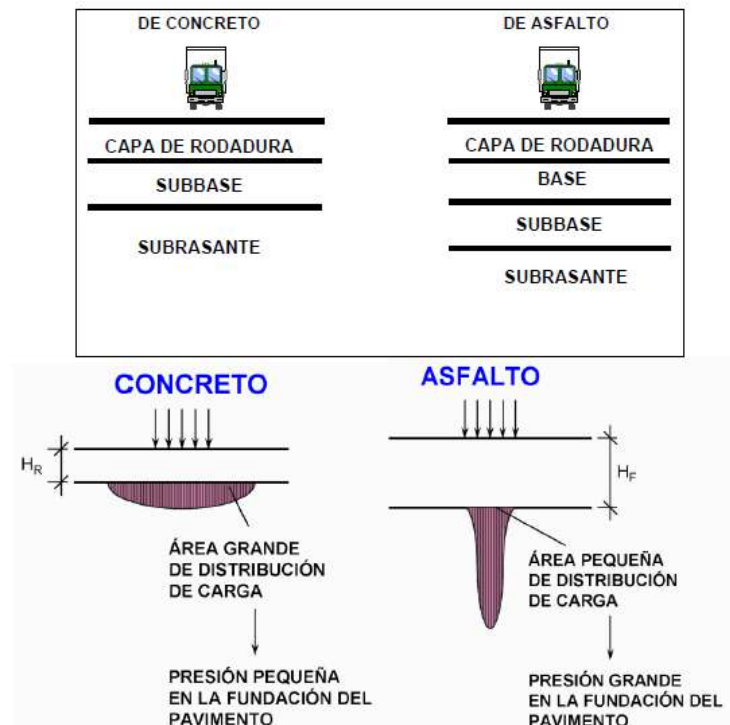
- Alcanzar la altura necesaria para satisfacer las especificaciones geométricas en lo relativo a la pendiente longitudinal.
- Resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para trasportarlos en forma adecuada al terreno natural de acuerdo con su resistencia.

3.3 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS SEGÚN SU RODADURA

Hay tres clases de pavimentos, dependiendo del material de construcción y de la forma como reciben y controlan las cargas de los vehículos: flexibles, articulados y rígidos.

El comportamiento de los mismos al aplicarse cargas es muy diferente, tal como puede verse en la (Fig. 2.3).

FIGURA 2. 3: COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN PAVIMENTOS.

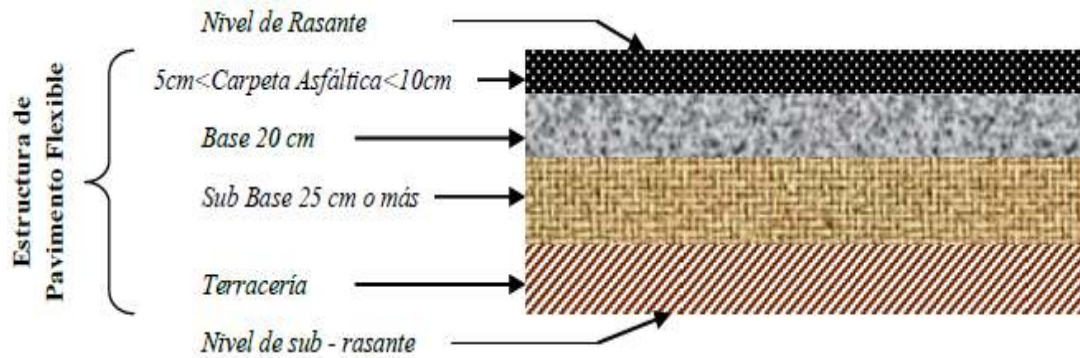


Fuente: Análisis comparativo de la Evaluación de Pavimentos por medio de la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, Fwd), Kerin Alexander Escobar, Alberto García y Carlos Guzmán, Diciembre de 2007.

3.3.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

Se denomina pavimento flexible al que está constituido por una carpeta o capa bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, habitualmente de materiales o suelos granulares, denominadas base y subbase; la primera situada sobre la segunda, sin embargo, en función de las características particulares de cada caso, es posible prescindir de cualquiera de estas dos capas, las cuales se apoyan a su vez en suelo de fundación preparado (subrasante). En algunos casos la capa subbase y/o la capa base se estabilizan para maximizar el uso de los materiales locales.

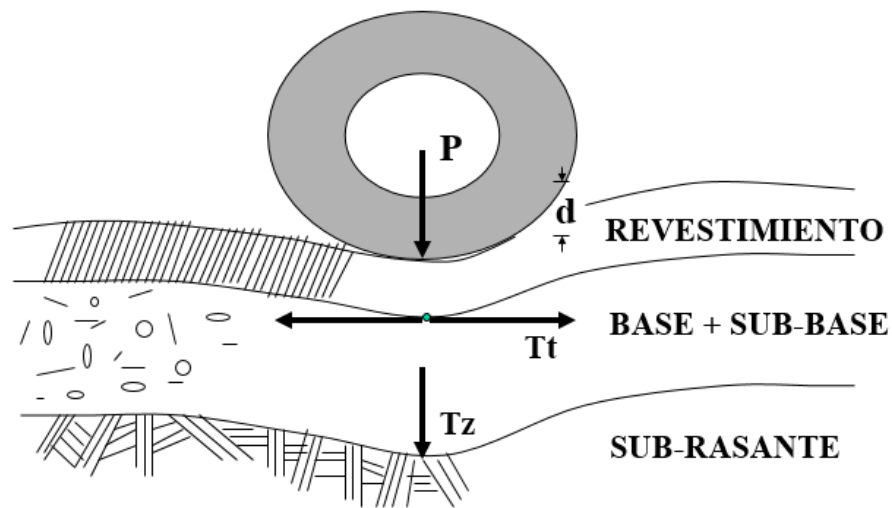
FIGURA 2. 4: SECCIÓN TÍPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE DE HORMIGÓN ASFÁLTICO (CARPETA).



Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes (Fig. 2.5). En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.

FIGURA 2. 5: EFECTOS – CARGAS EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE



Fuente: Ponencia “Pavimentos económicos para un país en desarrollo” – Ing. Jorge Luis Yamunaque Miranda.

3.3.1.1 ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Para el correcto y eficiente funcionamiento de un pavimento, cualquiera que sea su tipo, solamente se conseguirá si sus materiales constitutivos satisfacen en conjunto las siguientes condiciones:

- Proporcionar una superficie uniforme que permita un fácil rodamiento.
- Tener adherencia con las ruedas de los vehículos.
- Presentar resistencia para soportar las cargas de los vehículos y capacidad para transmitir las convenientemente a las terracerías.
- Tener resistencia al desgaste.
- Resistencia al intemperismo.
- Soportar los efectos del agua capilar y de inundación.

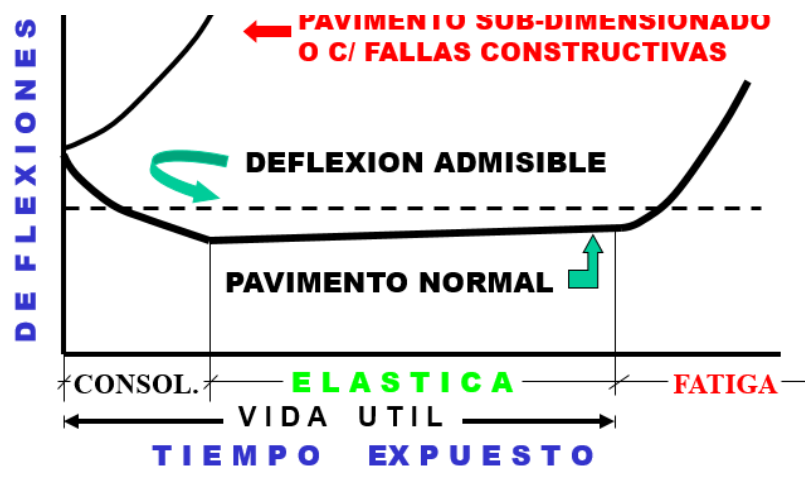
Las siguientes pueden considerarse las características fundamentales de un pavimento flexible.

- a) La resistencia estructural.
- b) La deformabilidad
- c) La durabilidad
- d) El costo
- e) Los requerimientos de conservación
- f) La comodidad.

3.3.1.2 ETAPAS DE LA VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

- FASE DE CONSOLIDACIÓN: Disminución desacelerada del valor de la deflexión, la cual se estabiliza al final de esta.
- FASE ELÁSTICA: La deflexión se mantiene aproximadamente constante. Esta define la vida útil del pavimento.
- FASE DE FATIGA: Crecimiento acelerado del nivel de deflexión del pavimento se exteriorizan los efectos de fatiga; fisuras, grietas y acumulación de deformaciones permanentes bajo repeticiones de cargas.

FIGURA 2. 6: ETAPAS DE LA VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

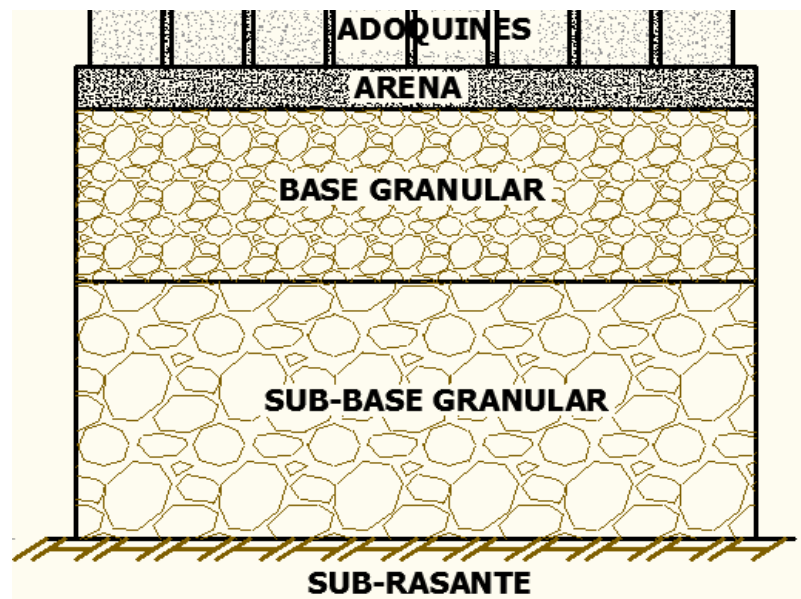


Fuente: Ponencia “Pavimentos económicos para un país en desarrollo” – Ing, Jorge Luis Yamunaque Miranda.

3.3.2 PAVIMENTO ARTICULADO

Construidos con adoquines (bloques de concreto o arcilla prefabricados), que se colocan sobre una capa de arena. Esta, se apoya sobre una capa granular o directamente sobre la sub rasante.

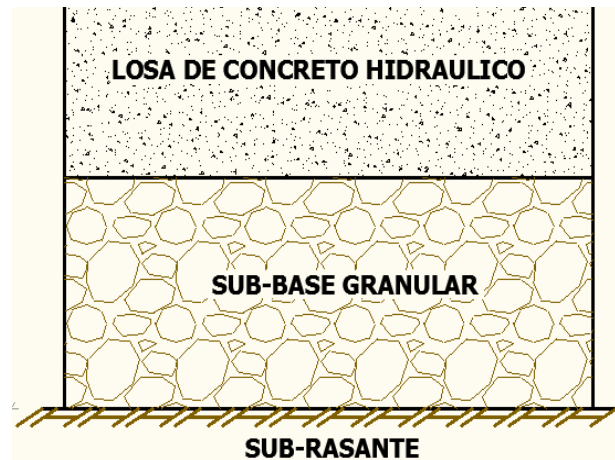
FIGURA 2. 7: ESTRUCTURACIÓN TÍPICA DE UN PAVIMENTO ARTICULADO



Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

3.3.3 PAVIMENTO RÍGIDO

FIGURA 2. 8: SECCIÓN TÍPICA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO.



Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

Son aquellos que están constituidos generalmente, por una losa de hormigón hidráulico, apoyada sobre el suelo de fundación (subrasante) o sobre una capa de material seleccionado denominada subbase. Cuando la subrasante o suelo de fundación tenga una calidad suficientemente buena, la losa de hormigón puede disponerse directamente sobre el mismo, prescindiéndose de la subbase. Se trata de que la losa de hormigón tenga un apoyo suficientemente uniforme, estable y resistente.

3.4 CAPAS QUE CONFORMAN EN GENERAL UN PAVIMENTO FLEXIBLE

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el

pavimento también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que éstas los resistan.

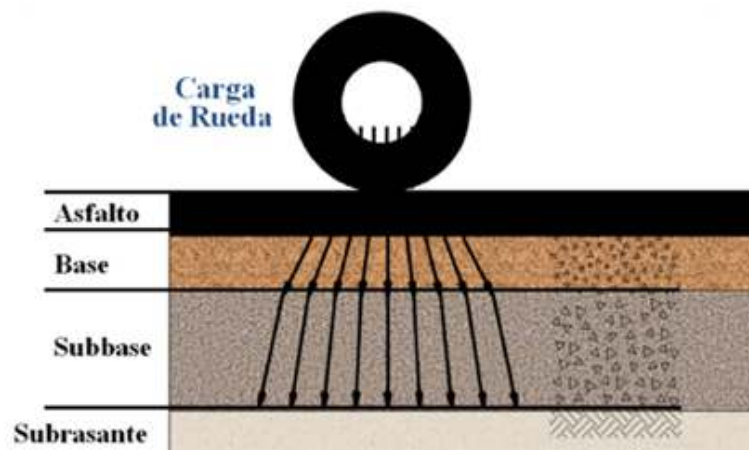
La calidad y los espesores de las capas del pavimento deben estar íntimamente relacionados con los materiales de las capas inferiores; es decir, tanto los esfuerzos debido al tránsito como la calidad de las terracerías influyen en la estructuración del pavimento, el ingeniero debe estructurar el pavimento; para hacer esto, usará los materiales regionales y con ellos resolverá los diferentes problemas que se le presenten, en la forma más económica posible.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas:

- a) Ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento con la rugosidad necesaria para garantizar una buena fricción con la llanta de los vehículos y, con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.
- b) Debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones.

Un pavimento flexible puede estar constituido por las siguientes capas (Fig. 2.9)

FIGURA 2. 9: CAPAS QUE CONFORMAN UN PAVIMENTO FLEXIBLE



Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

3.4.1 SUELO DE FUNDACIÓN O SUBRASANTE

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada a una densidad especificada, debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planes finales de diseño.

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción).

Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo puede ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyan sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo.

Como parámetros de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante de las cargas del tránsito, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Las características de los materiales de subrasante, definen la capacidad de soporte que determina la estructura del pavimento. A menores resistencias mayores son los paquetes estructurales de los pavimentos y por el contrario a mayor resistencia de los materiales de subrasante o suelo de cimentación, menores serán estos paquetes.

3.4.1.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL SUELO DE FUNDACIÓN O SUBRASANTE

Al igual que en la casi totalidad de aplicaciones de la Mecánica de Suelos, los materiales que se eligen para la fundación de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados. Los que se denominan materiales gruesos (arenas, gravas, fragmentos de roca, etc.) constituyen el primer grupo, el segundo grupo está formado por los suelos finos, cuyo tipo son los materiales arcillosos.

Es bien conocida la gran diferencia de comportamiento que tienen ambos grupos de suelos, respecto a sus características de resistencia y deformación, estas diferencias ocurren por la naturaleza y la estructura íntima que adoptan las partículas individuales o sus grumos, los suelos finos forman agrupaciones compactas y bien familiares, en cambio los suelos gruesos adoptan formas vaporosas con grandes volúmenes de vacíos y ligas poco familiares en el caso de los finos.

En los suelos gruesos tales como las arenas y las gravas, la deformación del conjunto por efecto de cargas externas, sólo puede tener lugar, por acomodo brusco de partículas menores en los huecos que dejan entre sí las mayores, o por ruptura y molienda de sus partículas. La expansión de suelos gruesos, es un fenómeno que para efectos prácticos no se considera en el diseño de carreteras. La estabilidad de los suelos gruesos ante la presencia del agua es grande, si se prescinde de la posibilidad de arrastres internos de partículas menores por efecto de la circulación de corrientes de agua interiores, efecto que relativamente es poco común en las carreteras. Por tanto, si el suelo grueso está constituido por partículas mineralógicamente sanas, su resistencia al esfuerzo cortante es grande, está basada en mecanismos de fricción interna de sus partículas, o en la resistencia que oponen esas partículas a deslizarse unas con respecto a otras, dependiendo por tanto de la fricción interna y de su dureza.

Para cualquier sollicitación se cumple que, a mayor presión ejercida sobre el conjunto de partículas por las cargas exteriores, la resistencia del conjunto crece, tal como establecen las leyes de fricción. Evidentemente, cualquier aumento en la compacidad

del conjunto trae consigo un aumento en su resistencia intrínseca y al reacomodo. En caso de producirse algún deslizamiento o reacomodo entre partículas, debido a elevados esfuerzos, la deformación ocasionada es de magnitud relativamente pequeña. Un material de esta naturaleza bien compactado, adquiere características de resistencia y difícil deformabilidad, permanentes en el tiempo y muy poco dependientes del contenido de agua que el material adquiera con el transcurso del tiempo. Estas características son favorables para el desempeño estructural de las carreteras.

El caso de los suelos finos arcillosos, su tendencia a adoptar estructuras internas abiertas, con alto volumen de vacíos, hace que estos suelos tengan una capacidad de deformación mucho más alta. Si se ejerce presión sobre suelos finos saturados se puede ocasionar un fenómeno de consolidación, que induce al agua acumulada entre sus partículas a salir del conjunto, produciendo una reducción del volumen que originará deformaciones del conjunto, las que afectarán la estabilidad del pavimento.

En los suelos finos parcialmente saturados, la presión externa produce deformaciones que disminuyen los vacíos, comunican presión al agua interior, que se desplazará hacia el exterior, ocasionando deformaciones volumétricas grandes. Las estructuras precomprimidas, al cesar la presión externa y absorber agua, tienden a disipar los estados de tensión superficial actuantes entre el agua que ocupaba parcialmente los vacíos y las partículas cristalinas del suelo, liberando energía que permite que la estructura sólida precomprimida se expanda, de manera que los suelos arcillosos son muy proclives a la compresión bajo cargas y a la expansión, cuando al cesar la acción de cualquier carga exterior, se produce la liberación de sus esfuerzos y comienza a actuar la succión interior del agua externa.

En cualquier caso la estabilidad volumétrica de los suelos finos está amenazada y pueden ocurrir en ellos deformaciones volumétricas muy importantes: De compresión, a expensas de su gran volumen de vacíos y de la salida del agua interior por efecto de las cargas exteriores, o de expansión, a causa de la succión interna que produce la expansión de la estructura sólida, que absorbe agua del exterior.

La magnitud de estos fenómenos (compresión de la estructura bajo carga externa o expansión de una estructura precomprimida por liberación de presión externa y absorción de agua), depende de la naturaleza del suelo arcilloso.

Estas consideraciones hacen ver la importancia del proceso de compactación de suelos finos. Si no se alcanzan en principio condiciones adecuadas, la carretera será inestable, pero si la compactación es mayor a un determinado límite, la carretera también llegará a ser inestable con el transcurso del tiempo, si es que los materiales están en contacto con el agua libre exterior.

Las consideraciones anteriores conducen a la conclusión de que los suelos arcillosos son indeseables en el cuerpo general de las carreteras y, desde luego, en cualquier capa de la sección estructural de su pavimento. Sin embargo, razones constructivas y económicas obligan a una cierta presencia de suelos finos, la cual debe ser mínima y cuidadosamente tratada.

En efecto, el material que se desea para construir carreteras está constituido por suelos gruesos, pero resultaría antieconómico e innecesario eliminar por completo a los finos, con el avance actual de las técnicas constructivas, habrá que coexistir con un cierto volumen de éstos, teniendo presente, que cuanto más abajo se ubiquen los suelos finos, el impacto proveniente de las cargas del tráfico será menor, de manera que su presencia será menos nociva. Por ello, la tecnología tradicional exige el uso de suelos gruesos casi puros en las capas bases y sub-bases del pavimento, y va aceptando contenidos crecientes de suelos finos en subrasantes y terracerías.

Por razones económicas, no es posible eliminar completamente la presencia de suelos finos de la sección estructural de una carretera, pero debe tenerse muy en cuenta que las investigaciones de la Mecánica de Suelos indican que contenidos relativamente muy pequeños de arcilla, formando parte de una matriz de suelo grueso, bastan para dar a esa matriz un comportamiento indeseable, haciéndola compresible y expansiva.

El límite en el contenido de finos depende de la actividad de la arcilla. Los análisis exigidos para determinar la actividad de los suelos arcillosos hace prácticamente

imposible el investigar la naturaleza de los finos dentro del proceso industrial de construcción de una carretera, por lo cual el contenido de finos suele controlarse limitando el porcentaje de partículas que pasan el tamiz No. 200.

Por lo anterior, el contenido de materiales finos que pasan el tamiz No. 200, en cualquier matriz de suelo grueso que se utilice en las capas superiores de una carretera (bases y sub-bases), no debe exceder de un 10%. Este valor debe reducirse a la mitad en las carpetas asfálticas. Además debe tenerse en cuenta que no menos de un 4% ó 5% de partículas finas van a ser aportadas por la propia fracción gruesa, como resultado de los procesos usuales de trituración, por este hecho se debe reducir, en la misma proporción, el contenido de materiales puramente arcillosos.

En las subrasantes de carreteras puede haber una mayor tolerancia, aceptándose contenidos de finos que pasan el tamiz No. 200 hasta un porcentaje del 15%, en las carreteras más ocupadas, y hasta un 25% en aquellas de menor ocupación.

El contenido de materiales finos y sus efectos en las secciones estructurales de las carreteras, también deben controlarse con la medición del índice de plasticidad de la fracción que pasa la malla No. 40. El valor del límite líquido no debe ser mayor a 25% y 30% en bases y sub-bases, y no mayor a 50% en subrasantes.

Evidentemente, el empleo prudente de los materiales térreos con límites adecuados en el contenido de materiales finos arcillosos, permite el empleo de estándares de compactación adecuados, para dar a las capas de la sección estructural de una carretera la consistencia necesaria, de manera que se garantice la permanencia de sus propiedades durante su vida de servicio.

3.4.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN O SUBRASANTE

Las especificaciones granulométricas para esta capa son las siguientes:

TABLA 2. 1: ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA CAPA SUBRASANTE

| CARACTERÍSTICAS | CALIDAD | | | TERRAPLÉN |
|--------------------|----------|-----------|-----------|---------------|
| | DESEABLE | ADECUADA | TOLERABLE | |
| Tamaño máximo (mm) | 76 | 76 | 76 | 80% min. < 76 |
| % de Finos | - | - | - | 30 máx. |
| Material 0,075 mm | 25 máx. | 35 máx. | 40 máx. | |
| Límite Líquido % | 30 máx. | 40 máx. | 50 máx. | 40 máx. |
| Índice Plástico % | 10 máx. | 20 máx. | 25 máx. | 15 máx. |
| Compactación % | 100 min | 100 + - 2 | 100 + - 2 | |
| AASTHO Est. (1) | - | - | - | |
| CBR % | 30 min | 20 Min | 15 Min | 10 min |

Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

3.4.1.3 FUNCIONES DEL SUELO DE FUNDACIÓN O SUBRASANTE

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
- Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- Evitar que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de roca, absorban el pavimento. En este caso la granulometría del

material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base y subbase).

- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracería a lo largo del camino.
- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

La parte superior de la capa subrasante coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico, la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las terracerías y por lo tanto su espesor, que la mayoría de las veces es mayor que el necesario en la estructura.

En el proyecto geométrico de la subrasante económica es preciso tomar en cuenta:

- a) Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- b) Que la subrasante tenga la altura suficiente, a fin que el agua capilar no afecte el pavimento.
- c) Que la subrasante provoque los acarrees más económicos posibles.

3.4.2 CAPA SUBBASE

La capa subbase es la porción de la estructura del pavimento flexible, entre el suelo de fundación preparado y la capa base, sirviendo como material de transición en los pavimentos flexibles. Comúnmente consiste en una capa compactada de material granular, tratado o sin tratar, o de una capa de suelo tratado con un aditivo apropiado.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de la subrasante la puede soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Además de su posición en el pavimento, se distingue del material de base por tener requerimientos menos estrictos de especificación en la resistencia, plasticidad y gradación. El material de subbase deberá ser significativamente de mayor calidad que el suelo de fundación, deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (C.B.R.) que el material de subrasante, permitiendo la reducción del espesor de la capa base.

El espesor de la capa subbase será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Por razones de economía, la subbase es frecuentemente omitida si los suelos de fundación son de alta calidad.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

3.4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA SUBBASE

Es una capa de materiales pétreos, de buena graduación, construida sobre la subrasante.

Esta capa al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia.

Las características de calidad que se buscan en los materiales de subbase son los siguientes:

TABLA 2. 2: ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA CAPA SUBBASE

| TAMIZ | % QUE PASA |
|--------|------------|
| 3" | 100 |
| 2" | - |
| 1 ½" | 59 - 89 |
| 1" | 46 - 78 |
| ½" | 34 - 70 |
| 3/8" | 24 - 56 |
| Nº 4 | 13 - 45 |
| Nº 8 | 6 - 36 |
| Nº 30 | 2 - 22 |
| Nº 40 | 2 - 18 |
| Nº 200 | 0 - 15 |

Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

TABLA 2. 3: CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA SUBBASE

| CARACTERISTICAS | CALIDAD | | |
|-------------------------|----------|----------|-----------------|
| | DESEABLE | ADECUADA | TOLERABLE |
| Tamaño máximo (mm) | 51 | 51 | 76 |
| % de Finos | 15 máx. | 25 máx. | 10 min |
| Material 0,075 mm | | | 20 máx. |
| Límite Líquido % | 25 máx. | 30 máx. | 40 máx. |
| Índice Plástico % | 6 máx. | 10 máx. | 15 máx. |
| Compactación % | 100 min | 100 min | 95 min |
| AASTHO Modificado | - | - | AASTHO estándar |
| Equivalente de Arena % | 45 min | 30 min | - |
| CBR % | 40 min | 30 Min | 30 Min |
| Desgaste de los Ángeles | 30 máx. | - | - |

Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

3.4.2.2 FUNCIÓN DE LA CAPA SUBBASE

La subbase es la capa de material que se construye sobre la terracería y su función es:

- Reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base.
- Proteger a la base aislándola de la terracería.
- Prevenir la intrusión de los suelos de fundación de gradación fina, dentro de la capa base.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proteger a la base impidiendo que el agua suba por capilaridad.
- Transmitir y distribuir las cargas a las terracerías.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para el equipo de construcción importante cuando el suelo de fundación no puede proporcionar el soporte adecuado.

3.4.3 CAPA BASE

La capa base es la porción de la estructura del pavimento inmediatamente después de la capa de superficie. Se construye sobre la subbase o, si no se usa una subbase, directamente sobre la subrasante. Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de esta a la subrasante, es decir el soporte estructural. Es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

La capa base, está formada por material conformado por agregados pétreos o fragmentos rocosos que por sus características naturales son sometidos a procesos físicos como la trituración, lo que produce efectos favorables en la resistencia y en la deformabilidad, pues da lugar a partículas de aristas vivas entre las que es importante el efecto de acomodo estructural. Puede usarse tratada o sin tratar con aditivos estabilizantes apropiados, tales como cemento portland, asfalto, cal, cemento de

cenizas volantes y cal de cenizas volantes, por ejemplo, en las bases puzolánicas estabilizadas.

Las bases pueden construirse de diferentes materiales como:

- a) Piedra triturada o grava de depósito de aluvión (base hidráulica).
- b) Materiales estabilizados con cemento, asfalto o cal.
- c) Macadán (pavimento de piedra machacada aglomerada por un rodillo compresor).

3.4.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA BASE

El material que conforma la capa base debe cumplir los siguientes requisitos:

- Los agregados gruesos deberán tener un porcentaje de desgaste de Los Ángeles inferior al 50%.
- La fracción que pase por el tamiz N° 40 debe tener un límite líquido de no más del 25% y un índice de plasticidad no mayor de 6%.
- El valor soporte de California C.B.R. no deberá ser inferior a 80%.
- La fracción que pase por el tamiz N° 200, no deberá ser mayor que dos tercios de la que pase por el tamiz N° 40.
- El equivalente de arena debe ser 40% como mínimo.

La granulometría debe estar comprendida entre los límites presentados en la siguiente tabla:

TABLA 2. 4: ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA CAPA BASE

| TAMIZ | % QUE PASA |
|--------------|-------------------|
| 2" | 100 |
| 1 ½" | 72 - 100 |
| 1" | 57 - 89 |
| ¾" | 48 - 80 |
| 3/8" | 32 - 63 |
| N° 4 | 18 - 50 |
| N° 8 | 10 - 40 |
| N° 30 | 4 - 24 |
| N° 40 | 3 - 21 |
| N° 200 | 0 - 15 |

Fuente: Texto guía universidad – Materia Carreteras III

3.4.3.2 FUNCIONES DE LA CAPA BASE

La base está constituida por materiales de mejor calidad que los de la subbase. La función de la base es:

- Tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos.
- Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la subbase.
- Aunque exista humedad la base no debe de presentar cambios volumétricos perjudiciales.
- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas subbase y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.

- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

3.4.4 CAPA DE RODADURA

La capa de rodadura es una capa o un conjunto de capas que se colocan sobre la base y está constituida por el material pétreo mezclado con algún producto asfáltico (cemento asfáltico, asfalto líquido, emulsión asfáltica).

La naturaleza de esta capa debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo.

La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta está formada por material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior, es decir un material que posea cohesión.

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

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

3.4.4.1 FUNCIONES DE LA CAPA DE RODADURA

La función principal de la carpeta, consiste en proporcionar al tránsito una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de drenaje, los impactos, este debe tener una textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo.

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene además las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.
- Resistir la fuerza abrasiva del tráfico.
- La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por la carga de tránsito.

3.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato en proporciones exactas, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico.

Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su

estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores, se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por esta.

3.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por general requieren cribado y triturado para realizarse.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Ya que la superficie por revestir resulta más afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay un cambio en las partículas gruesas. Al estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, se mencionarán las granulometrías necesarias y las tolerancias correspondientes.

3.5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

b) Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la temperatura ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.

- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

3.5.3 TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.5.3.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

3.5.3.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido,

el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

3.5.3.3 MEZCLA POROSA O DRENANTE

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón.

Utilizadas como mezclas en caliente para tráfico de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm., se consigue que el agua de lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

3.5.3.4 MICROAGLOMERADOS

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm., lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los microaglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones.

Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas, porque se evitan problemas con las alturas libres de los gálibos y la altura de los bordillos debido a que se extienden capas de pequeño espesor.

Hay microaglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

3.5.3.5 MASILLAS

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que, si hay agregado grueso, se haya dispersado en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos, son de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

3.5.3.6 MEZCLAS DE ALTO MÓDULO

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. a 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de grava cemento es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o

como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorrar espesor.

3.5.4 PROPIEDADES GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CAPAS DE RODADURA

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero. Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente.

En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

3.5.5 PROPIEDADES MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CAPAS INFERIORES

Las capas de espesor apreciable de un firme tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte de las sollicitaciones del tráfico, de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores, explanada o cimiento de la carretera.

Existen tendencias y países que llegan a utilizar paquetes asfálticos de gran espesor que forman la losa estructural fundamental del firme. En otros casos la función resistente radica en la colaboración con otras capas de materiales granulares o hidráulicos.

La tendencia española tradicional para el diseño de las mezclas de las capas gruesas de base ha sido la de elegir granulometrías inspiradas en el Instituto del Asfalto, con muchos huecos. Las mezclas anteriores son netamente abiertas con un esqueleto mineral, en cuyo rozamiento interno radica la función resistente. Estas mezclas se podían considerar inspiradas en las antiguas bases de piedra partida o Macadam tratadas por penetración con ligantes hidrocarbonados.

3.5.6 CONDICIONES DE LAS CARPETAS DE RODAMIENTO

- a) Ser suficientes para soportar las cargas producidas por el tránsito.
- b) Tener cualidades para proteger contra el agua.
- c) Que no exista pérdida del material con el tráfico de los vehículos.
- d) Con textura superficial adecuada.
- e) Flexibilidad para adaptarse a las fallas de la subbase.
- f) Suficiente resistencia contra el interperismo, lluvias, sol, viento, heladas, calor, frío, etc.

Las mezclas asfálticas satisfacen ampliamente estas cualidades llevando enormes ventajas sobre los pavimentos de macadam y más aún sobre los pavimentos de concreto lo cual ha sido demostrado por la experiencia.

3.6 SOLICITACIONES PRINCIPALES DE UN PAVIMENTO

Las solicitudes principales de un pavimento son el producto del tránsito y el clima. El tránsito visto como las cargas a las que está expuesto el pavimento y el clima como el agente natural del medio ambiente.

3.6.1 TRÁNSITO

Se puede apreciar que el volumen de vehículos ha crecido en los últimos años, pero ese aumento ha sido aún mayor si se ve en términos de la carga que se transporta, esta situación tiene una influencia significativa en el comportamiento de los pavimentos, a la hora de determinar o predecir el daño que sufrirá un pavimento en el tiempo.

El tránsito está compuesto por diferentes vehículos, de diferentes pesos y número de ejes. Evaluar esta diversidad es un trabajo complejo, por tal razón, actualmente algunas metodologías definen la conversión del tránsito existente, proyectado o inducido en un número de ejes equivalentes identificado el cual consiste en el número de repeticiones de carga equivalentes a 8.2 ton o 18 kips, durante la vida útil del pavimento.

3.6.2 CLIMA

Las condiciones del medio ambiente tienen efectos sobre el comportamiento de los pavimentos rígidos y flexibles. Factores externos tales como la precipitación, temperatura y la profundidad del nivel freático juegan un papel clave para definir las limitaciones que los impactos del medio ambiente pueden tener en el comportamiento

del pavimento. Factores internos tales como la susceptibilidad de los materiales de pavimentos para la humedad, drenabilidad en las capas de pavimento, infiltración potencial del pavimento, etc.

En la estructura de pavimento, la humedad y la temperatura son dos de las variables que pueden significativamente afectar la capa de pavimento y las propiedades de la subrasante, y por lo tanto, su capacidad de soportar cargas.

3.6.2.1 EFECTOS DE LA TEMPERATURA

Los cambios en la temperatura del medio ambiente originan variaciones en la temperatura de las estructuras de los pavimentos.

En pavimentos rígidos, como resultado del cambio de temperatura, se obtiene una desigual dilatación o contracción de las fibras paralelas a la superficie con la profundidad, lo que provoca el alabeo de la losa. Este movimiento está parcialmente impedido por el peso propio y reacciones en los dispositivos de transmisión de cargas entre losas, lo cual provoca tensiones; el alabeo altera el régimen de contacto de la losa con la sub-base, aumentando las tensiones producidas por el tránsito.

En pavimentos flexibles la temperatura producirá envejecimiento superficial de la capa de rodadura; además de ablandamiento y reducción de la viscosidad del asfalto y en presencia de bajas temperaturas se producirá pérdida de flexibilidad y grietas de contracción en el asfalto.

3.6.2.2 EFECTOS DE LLUVIA

El contenido de humedad, provoca una considerable influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen la estructura de pavimentos y sobre su comportamiento. Si la base, subbase y subrasante no están bien protegidas de la acción del agua se ocasionan daños, algunos de ellos son:

- Pérdida de partículas de suelo, creando erosión.
- Saturación y exceso de supresión o de fuerzas de filtración
- Pérdida de resistencia de la subrasante cuando esta se satura y permanece saturada durante un periodo largo de tiempo. Degradación de la calidad del material del pavimento por acción de la humedad.

3.7 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de una nación, considerando su vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios.

En este orden de ideas, la estructura de pavimento como parte de la infraestructura vial juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico.

El pavimento es una de las pocas estructuras civiles que tiene un período de diseño finito, por lo que su falla está prevista al término de ésta. Esto significa que, durante el período de vida de una estructura de pavimento, la misma iniciará un proceso de deterioro tal que al final de su vida útil manifestará un conjunto de fallas que reducirán su calidad de rodaje y en definitiva incrementarán los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento por parte del ente responsable.

Independientemente del proceso de deterioro “natural” en toda estructura de pavimento, se deben iniciar labores de mantenimiento y rehabilitación de las mismas, prácticamente desde el inicio de su período de diseño, con el objeto de reducir el impacto que las diferentes fallas pueden afectar a la estructura y de esta manera optimizar los recursos disponibles para una eventual rehabilitación, sin necesidad de ejecutar trabajos de reconstrucción de la estructura.

Cabe destacar, que, en el proceso de deterioro de una estructura de pavimento, en especial del pavimento flexible, el tránsito o solicitaciones de carga representa una de las principales variables que inducen la fatiga de la estructura, es por ello que se debe identificar las diferentes fallas que afectan al pavimento flexible, destacando sus orígenes, magnitud y severidad, para luego presentar y discutir uno de los indicadores para la evaluación de fallas presentes en el pavimento.

El momento en el cual se puede optimizar la inversión económica en trabajos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, incrementando considerablemente su vida útil, es el objetivo primordial de la evaluación de todo pavimento en servicio.

Para ello existen principalmente dos tipos de evaluación de pavimentos. La primera de éstas corresponde a la evaluación funcional, la cual no es más que la ejecución de ensayos que permitan determinar las características superficiales del mismo, traducidas en parámetros como: textura, rugosidad, fricción, etc, que tienden a evaluar la calidad de rodaje del pavimento, la cual a pesar de estar asociada con su capacidad estructural no necesariamente es un indicativo de ésta, en vista que pueden existir sectores con buena calidad de rodaje y sin embargo poseer una estructura débil, que con el paso de la carga se fatigará y presentará un agrietamiento severo.

El segundo tipo de evaluación es la estructural, la cual permitirá medir distintos parámetros, tales como: fallas presentes en el pavimento, deflexión superficial, radio de curvatura del cuenco de deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura de pavimento, espesores de cada una, su condición, etc.

La evaluación de la estructura existente permite establecer el estado situacional del pavimento, ya sea del punto de vista superficial como estructural. Con la información recopilada y procesada se realiza el análisis para obtener los parámetros o insumos de diseño, de tal manera de aumentar el tiempo de vida útil del pavimento.

3.7.1 EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS

Las características superficiales o funcionales de los pavimentos afectan directamente a los usuarios de la vía, ya que durante el rodaje condicionan su:

- Seguridad.
- Comodidad.
- Economía.

Adicionalmente, el rodaje genera un impacto ambiental por el ruido del contacto neumático pavimento, el cual afecta a usuarios y vecinos. En consecuencia, las principales características superficiales de un pavimento están dirigidas a controlar los siguientes aspectos:

- Resistencia al deslizamiento (Seguridad).
- Regularidad superficial (Comodidad).
- Costo usuario (Economía).
- Impacto ambiental.

Existen otros aspectos que afectan la calidad del rodaje de los vehículos, como por ejemplo las propiedades reflexivas de la pintura empleada para la demarcación vial, la calidad del drenaje superficial y la limpieza.

3.7.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función de demanda de tráfico.

La evaluación del pavimento existente tiene como objetivo el análisis y estimación del valor estructural remanente, adicionalmente esta evaluación debe proporcionar la

información necesaria para la investigación de las causas que originaron la falla del pavimento a rehabilitar, es decir, debe aportar los elementos de juicio necesarios para el diagnóstico de las fallas observadas con la finalidad de definir las acciones de mantenimiento y/o rehabilitación a ejecutar según las deficiencias encontradas.

La evaluación estructural de un pavimento existente abarca necesariamente los siguientes trabajos:

- Evaluación superficial de la condición del pavimento.
- Evaluación del sistema de drenaje.
- Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento.
- Medición de deflexiones superficiales del pavimento.

En lo que se refiere a la evaluación superficial, la misma debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición.

Esta información se debe complementar, en especial con la medición de deflexiones, con la finalidad de establecer posibles correlaciones entre la condición superficial del pavimento y su deflexión superficial.

En el caso particular del estudio de suelos y capas del pavimento existente, el mismo permitirá poseer información objetiva sobre la condición, espesor y tipos de materiales que conforman la estructura del pavimento, de tal manera de reconstruir su historia y modelar el comportamiento desde su apertura al tráfico. Este aspecto es vital en todo análisis estructural de pavimento con la finalidad de valorar su estructura e incorporarla dentro la rehabilitación del mismo.

En general la evaluación estructural está comprendida por la auscultación estructural y el retrocálculo, entendiendo por auscultación estructural las técnicas de recolección de información del pavimento (deflexiones) y la segunda la aplicación de la metodología a utilizar para definir los resultados finales de la evaluación estructural.

La auscultación estructural de los pavimentos ha ido variando con el tiempo en función de los avances tecnológicos, requiriendo cada vez un mejor rendimiento de trabajo, una recolección sistemática de los parámetros del pavimento y menor daño físico y operacional al pavimento en estudio. Dentro de las mediciones realizadas en la auscultación estructural habrá que considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir errores al interpretar los resultados:

- a) Temperatura. - Será necesario realizar ajustes en las deflexiones en base a la temperatura bajo las que se realizaron los ensayos y se observará cual es el comportamiento térmico del pavimento.
- b) Humedad. - Esta afecta a las bases, subbases y subrasantes, ya que algunos de los materiales componentes de las mismas tienen una gran susceptibilidad a dicha humedad.
- c) Tiempo de carga. - Esta condición tiene una gran influencia en los valores obtenidos de deflexión, por ejemplo:
 - Materiales ligados con cemento asfáltico: Están fuertemente influenciados por el tiempo de carga debido a la naturaleza viscoelástica del asfalto. Este efecto se reduce a bajas temperaturas.
 - Materiales ligados con cemento hidráulico: El módulo dinámico para materiales cementados puede ser de aproximadamente el doble del módulo estático, si el tiempo de aplicación de carga es muy alta, este efecto se reduce a medida que el módulo aumenta.
 - Suelos finos: Manifiestan mayor rigidez en respuestas a cargas dinámicas.

Con el análisis estructural se encuentran los estudios de vida remanente, capacidad estructural y rehabilitaciones. Para realizar todos estos estudios se utilizan diversos métodos, los cuales han sido orientados para predecir y solucionar fallas estructurales que ocurren en los pavimentos.

Los métodos se dividen en empírico y mecanicista empírico. Es importante que se escoja el método de evaluación estructural en base al método de diseño utilizado para entrelazar el estudio.

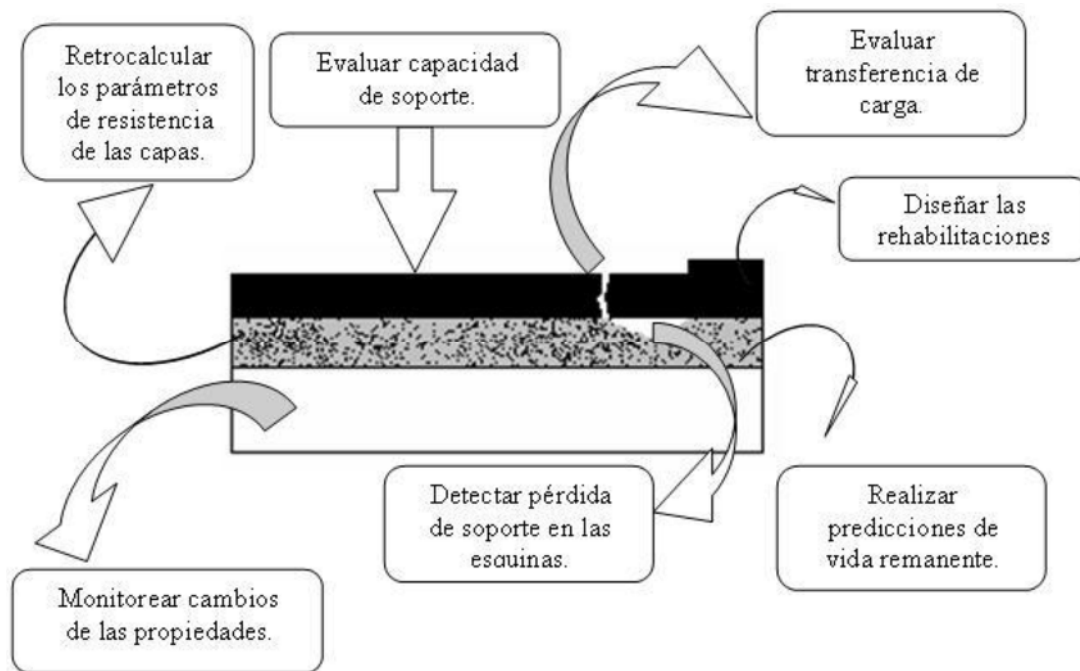
Muchos son los procedimientos empíricos que se basan en las condiciones tales como: tráfico, materiales, configuración de las capas y condiciones ambientales.

Actualmente la combinación de los métodos empíricos y mecanicistas han creado una nueva línea denominada métodos mecanicistas empíricos, en los que la parte mecanicista está dada por la respuesta estructural del pavimento en forma de tensiones, deformaciones y deflexiones, determinados a través del uso de modelos matemáticos y la parte empírica utilizada para relacionar estas respuestas con el comportamiento del pavimento in situ.

Al final, la evaluación estructural puede proveer resultados partiendo de las dos etapas importantes que lo componen como lo son la auscultación estructural y el retrocálculo (Fig. 2.10).

Para la evaluación estructural son tan importantes las condiciones actuales del pavimento como las condiciones bajo las que se concibió el mismo, entre las que se pueden mencionar: las solicitaciones principales del pavimento, modelos de comportamiento del pavimento, métodos de evaluación estructural, etc.

FIGURA 2. 10: RESULTADOS DE UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL



Fuente: Variabilidad del Módulo Resiliente de una Mezcla Asfáltica Mdc-2 dentro de la ventana de diseño propuesta por M. Witczak - David López Ramírez, Universidad Nacional de Colombia, Junio de 2008.

Finalmente, toda evaluación estructural debe incluir la medición de diferentes parámetros que permitan correlacionar la condición superficial del pavimento con alguna respuesta de la estructura ante la aplicación de una carga. Para ello existen distintos equipos de medición, tales como: la Viga Benkelman, la cual es un equipo de medición cuasi-estática.

3.7.2.1 DEFLEXIÓN EN PAVIMENTOS

La deflexión en los pavimentos no es más que la respuesta de los mismos ante un estímulo, en general cargas impuestas por el tráfico. La deflexión en los pavimentos es la deformación vertical bajo el punto de aplicación de la carga. En definitiva, la

deflexión es la integración matemática de las deformaciones verticales con la profundidad.

Dependiendo de la estructura de pavimento considerada, la sub-rasante contribuye entre un 70 a 95% de la deflexión medida en la superficie del pavimento. Por esta razón se puede afirmar que la mayor deflexión en los pavimentos es causada por la compresión elástica de la subrasante.

Este es un aspecto determinante en el desarrollo de distintas metodologías para caracterizar las propiedades elásticas de los suelos de la fundación del pavimento en base a la medición de deflexiones. Entre las principales propiedades elásticas de la sub-rasante se encuentra el Módulo Resiliente (M_R), el cual corresponde al principal parámetro a determinar por diferentes modelos de cálculo.

Por otra parte, se debe considerar que la magnitud de la deformación en un material considerado en cualquier punto de la estructura de pavimento está directamente relacionada con el estado triaxial de esfuerzos, por lo que para las mismas condiciones cuando decrecen los esfuerzos verticales en la sub-rasante, la deflexión también decrece. Esto significa que al incrementar los espesores de las capas o incrementar su rigidez, la deflexión decrece.

Considerando los aspectos discutidos, la medición de deflexiones superficiales del pavimento corresponde a uno de los principales parámetros a determinar en cualquier evaluación estructural de un pavimento.

3.8 ENSAYOS DE RESISTENCIA TRADICIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

3.8.1 EXAMEN DE LAS CONDICIONES QUE EXHIBE UN PAVIMENTO

Este aspecto es tan antiguo como la utilización misma de los caminos y constituyen en sí la primera forma de investigación que permitió la acumulación de la experiencia, a través de la observación del comportamiento del pavimento bajo diferentes situaciones. El examen y análisis de las condiciones que exhibe un pavimento proporciona la información necesaria para valorar el papel que desempeña cada elemento que lo constituye, en el comportamiento integral del pavimento, constituyendo una de las herramientas básicas en el conocimiento de la ingeniería de los pavimentos.

Los pavimentos fracasan a menudo debido a una combinación de varias razones, en ocasiones, difíciles de determinar, siendo por lo tanto necesario que las inspecciones del estado del pavimento se realicen por personal experimentado, para conocer la causa del fracaso. Al respecto es indispensable conocer los tipos y causas de fallas en los pavimentos.

Las inspecciones se realizan con mayor detalle que el requerido para la calificación de un tramo, e incluye un registro de la ubicación, magnitud y tipo de los deterioros observados, así como tipo y condiciones de los trabajos de mantenimiento.

3.8.2 PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Es necesario en ocasiones, observar directamente la estructura de un pavimento con el objeto de determinar dónde y por qué ocurrió una falla. En tales situaciones se requiere excavar una calicata o una trinchera en el pavimento, destruyendo su estructura.

Las técnicas empleadas dependen del tipo de información requerida, llegando a ser necesaria la obtención de muestras inalteradas de las diferentes capas.

Las observaciones de las paredes del corte pueden aclarar el mecanismo de falla y pruebas ejecutadas en las muestras obtenidas proporcionarán información sobre la capacidad estructural del pavimento.

Adicionalmente se requiere evaluar todas las variables que afectan el comportamiento del pavimento, antes de establecer una conclusión.

Actualmente se llevan a cabo estudios de evaluación total del tipo de comportamiento funcional, como mecanicista. Los métodos de investigación mediante sistemas destructivos se emplean en casos muy especiales. Algunos de los tópicos actualmente en investigación en este campo son los siguientes:

- a) Desarrollar métodos de evaluación más rápidos y confiables.
- b) Establecer técnicas de control de acabados superficiales durante la construcción.
- c) Mejorar el concepto de índice de servicio
- d) Aumentar el conocimiento acerca de las propiedades mecánicas de los pavimentos y de sus componentes por métodos destructivos.

Desde luego que la valuación de la capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen cada una de sus capas, incluyendo la subrasante y, en algún caso, el que forme la terracería.

3.8.3 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Es muy difícil efectuar una evaluación de la capacidad estructural de los elementos constituyentes de un pavimento, sin alterarlos, o destruirlos, de esta manera, las mediciones se realizan en la superficie del pavimento y los resultados se relacionan a las propiedades estructurales de los materiales de las capas interiores.

Generalmente se mide la respuesta de la estructura del pavimento a la aplicación de una fuerza o energía externa, y puesto que no se altera la estructura del pavimento, las pruebas pueden repetirse varias veces en el mismo sitio.

Se clasifican las pruebas de este tipo en tres categorías principales.

- a) Mediciones de respuesta bajo cargas estáticas o móviles, aplicadas a baja velocidad.
- b) Mediciones de respuesta a la aplicación de cargas repetidas.
- c) Mediciones de respuestas de una masa a una fuente de energía nuclear.

La respuesta a la aplicación de una carga sencilla en la superficie del pavimento es medida por un dispositivo denominado viga Benkelman, medidor portátil desarrollado en el tramo de prueba AASHTO, que determina deflexiones de milésimas de pulgada.

Los resultados de un estudio efectuado en California indican que cuando las deflexiones de la superficie de un pavimento flexible exceden de un cierto valor, ese pavimento generalmente muestra signos de deterioro.

La comparación de las deflexiones medidas con un valor de deflexión crítica proporciona un medio de programar el mantenimiento de los pavimentos flexibles.

Por otra parte, los estudios realizados en el tramo de prueba AASHTO indicaron que en el caso de pavimentos flexibles existe una relación entre las deflexiones producidas y su comportamiento, por lo que este método puede utilizarse como un medio de evaluar el comportamiento de un pavimento. Puede señalarse que la viga Benkelman es un instrumento sencillo de operar, pero existen variables como la temperatura del pavimento y el radio de curvatura de la deflexión producida, que requieren ser tomadas muy en cuenta en la interpretación de los resultados.

Instalando dispositivos especiales dentro de la estructura del pavimento ha sido posible medir las deflexiones producidas al paso de cargas repetidas en movimiento. Los citados dispositivos deben instalarse permanentemente en el pavimento, no

estando aun aclarada la influencia, en los resultados obtenidos de un dispositivo que es diferente al medio que lo rodea.

En el tramo de prueba AASHTO se realizaron mediciones de vibraciones producidas a pavimentos flexibles, al aplicar en la superficie una fuerza vertical alternante y midiendo posteriormente las deflexiones y la velocidad de proyección de las ondas.

Las primeras proporcionan un valor de la rigidez elástica de la estructura total del pavimento, en tanto que la segunda puede proporcionar idea de la rigidez de las varias capas que lo integran. El cuerpo de Ingenieros de E.U.A ha empleado un equipo vibratorio para determinar el módulo de elasticidad del suelo bajo un pavimento siguiendo el método desarrollado por la Compañía Soell de Holanda. A partir del valor del módulo obtenido y aplicando la teoría de la elasticidad puede determinarse la resistencia del pavimento.

El equipo empleado es de tipo móvil y el tiempo requerido para la ejecución de las pruebas es bastante corto, lo que constituyen factores favorables para su aplicación.

Este equipo conocido comercialmente como Dynaflect, que la SAPO está empleando para estudio de valuación del pavimento.

El Dynaflect es un sistema electromecánico que mide la deflexión dinámica de la superficie cuando se le aplica una carga oscilatoria (senoidal). El aparato medidor, cuyas complicaciones de detalle exceden el dominio de esta obra, viaja en un remolque arrastrado por un vehículo en el que se disponen los controles de la medición.

Una ventaja importante del aparato es no requerir ningún punto de referencia fijo en la superficie en que se realizan las mediciones y otra es la operación automática, libre de errores de operación y susceptibles de ser realizada a una velocidad relativamente alta.

La valuación final de la capacidad estructural deberá tener en consideración los resultados obtenidos con el uso de los dos criterios, deflexión y resistencia, lo cual es, particularmente importante si se toma en cuenta que las correlaciones existentes entre

las medidas de deflexión, espesor y calidad de los pavimentos, así como el tránsito que circula por ellos, han sido obtenidos por diversas agencias bajo sus propias condiciones locales y, por lo tanto fundamentar la valuación solo en dichas correlaciones podría resultar poco fiel a las condiciones particulares del problema que se estuviese tratando. El método de las deflexiones maneja el valor total de ellas en cada punto, pero no su distribución en profundidad, que es la característica realmente importante y en esto radica, su mayor limitación.

Por lo que se refiere al equipo a utilizar para la medición de las deflexiones, la selección ha de estar basada en su disponibilidad, costo y necesidades de avance; el costo de una viga Benkelman es considerablemente menor que el de un deflectógrafo dinámico tipo Dynaflect, pero la rapidez y eficiencia la determinación de las lecturas de deflexión que pueda lograrse con este último equipo es mucho mayor que cuando se utiliza una viga Benkelman.