



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

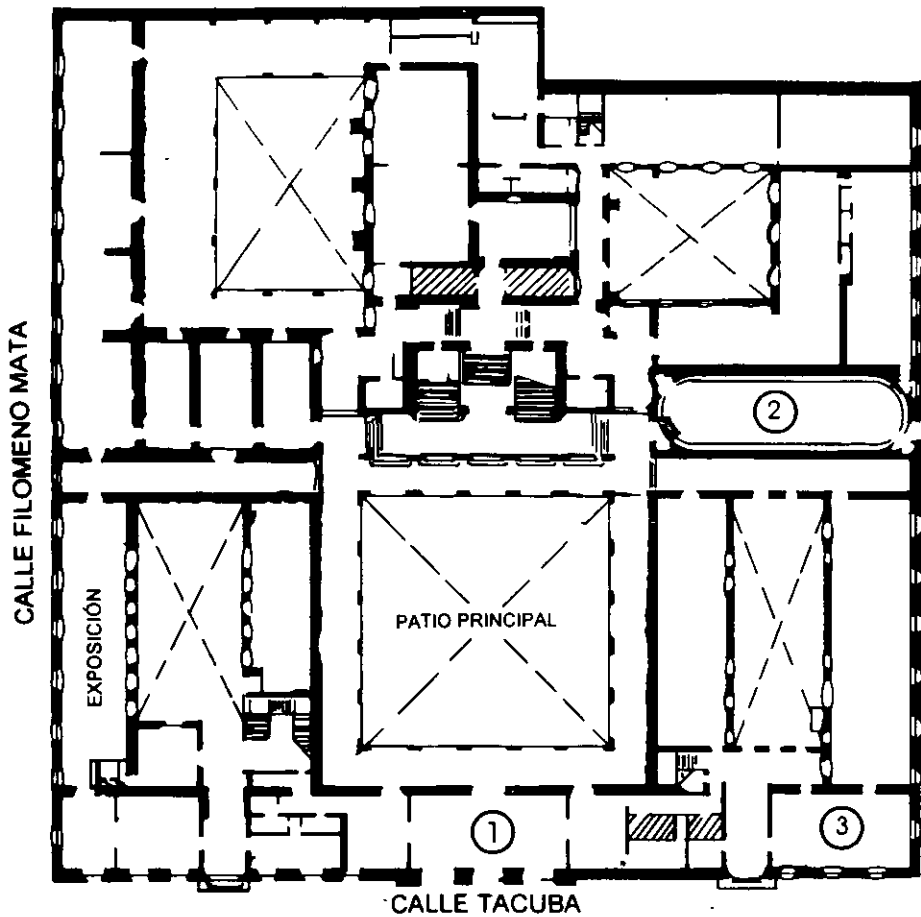
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

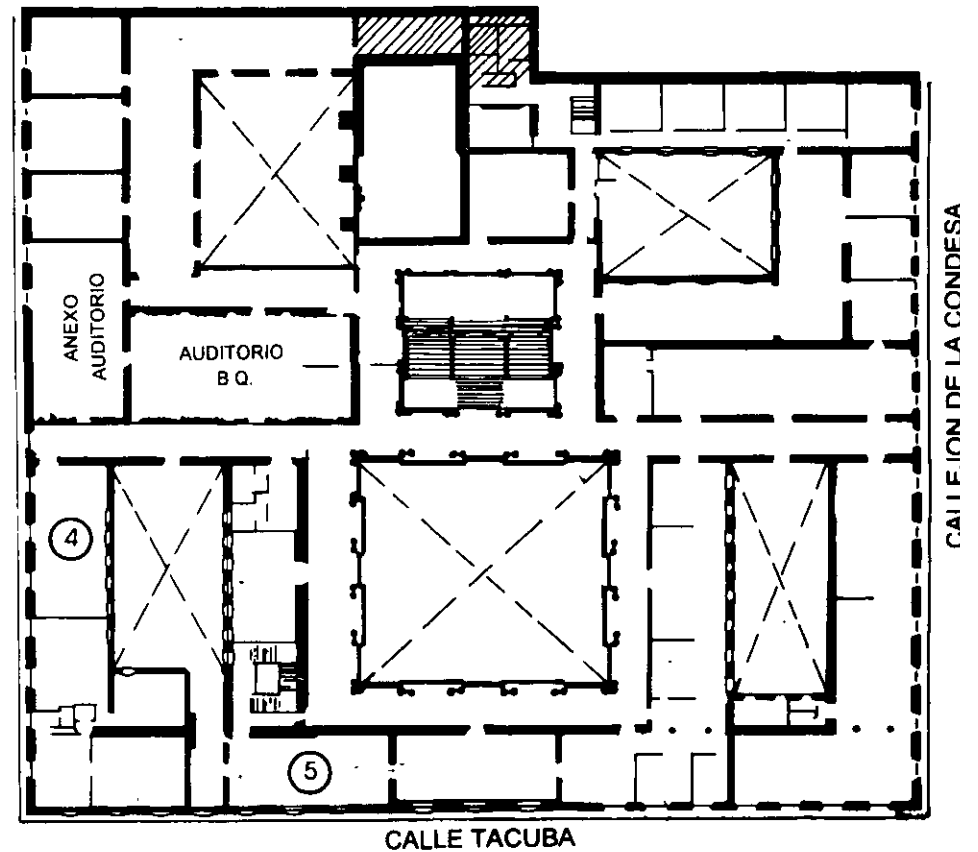
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

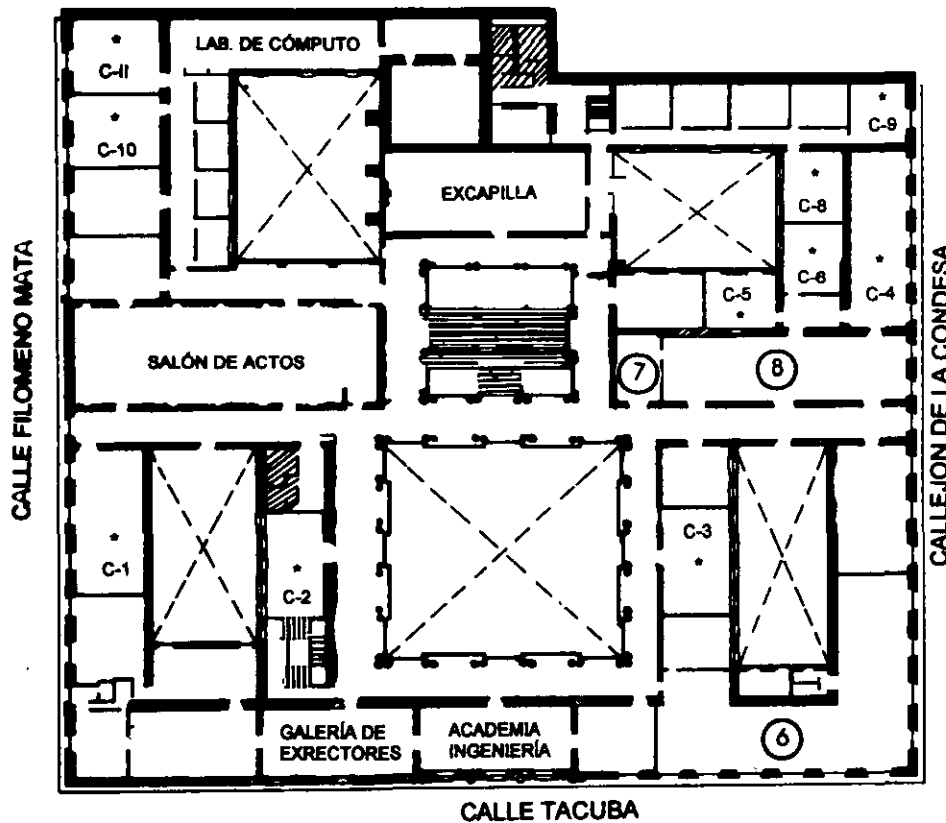


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE
INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS**

**PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

Del 2 al 3 de Junio del 2000.

APUNTES GENERALES

Ing. Manuel Zárate Aquino
Ing. Rafael Limón
Palacio de Minería
Junio/2000

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

M. ZARATE

Geosol, S. A. DE C. V.

1. ASPECTOS CONCEPTUALES.

De acuerdo con la concepción actual de los pavimentos, pueden definirse como un sistema que funciona obedeciendo determinadas leyes físicas, reaccionando en forma de respuestas cuando es activado por funciones de excitación. Las leyes físicas consideradas indicarán la forma en que se relacionen los esfuerzos, deformaciones unitarias, tiempo y temperatura.

El pavimento como sistema está caracterizado por las propiedades, espesores y disposición de los materiales, así como por la calidad de la construcción, en la cual tiene gran importancia las especificaciones, la supervisión de la obra y el control de calidad ejercido.

Al actuar sobre el sistema las funciones de excitación, como las cargas aplicadas por los vehículos, por ejemplo, el sistema genera respuestas mecánicas inmediatas, derivadas de las leyes físicas involucradas y que se identifican como estados de esfuerzos de deformaciones unitarias y de deflexiones (σ , ϵ , δ), a los cuales están asociados determinados efectos, conocidos como deterioros, que son funciones del tiempo y que se caracterizan por ser acumulativos, progresivos, permanentes e interactuantes, identificados como agrietamientos, deformaciones, desintegración y reducción de la resistencia al derrapamiento, además del fenómeno de bombeo y escalonamiento entre juntas, en el caso de pavimentos rígidos.

La presencia repetida de los estados de respuesta tiene un efecto progresivo en los deterioros, produciéndose la degradación gradual del pavimento, hasta alcanzar determinados valores críticos, límite o terminales, que constituyen un

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

M. ZARATE
Geosol, S.A. de C.V.

| | INDICE | PAG |
|-----|---|------------|
| 1. | ASPECTOS CONCEPTUALES | 1 |
| 2. | DESCRIPCION Y FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS | 2 |
| 3. | CARACTERISTICAS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS | 3 |
| 4. | FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO | 4 |
| 5. | PRINCIPALES MATERIALES BASICOS EMPLEADOS EN LOS PAVIMENTOS | 7 |
| 6. | TIPOS DE PAVIMENTO | 8 |
| 7. | ASPECTOS TEORICOS Y FUNDAMENTOS DE DISEÑO | 10 |
| 7.1 | Generalidades | 10 |
| 7.2 | Métodos de diseño | 12 |
| 7.3 | Método AASHTO para pavimentos flexibles | 13 |
| 7.4 | Método AASHTO para pavimentos rígidos | 26 |
| 8. | ALCANCE DEL PROYECTO | 45 |
| 9. | EVALUACION | 47 |
| 10. | ESTADO ACTUAL Y FUTURO | 48 |

estado de falla del pavimento, momento en el cual se considera que el pavimento ya no es capaz de cumplir con su función y ha llegado al final de su vida útil.

Con relación a la función que deben desempeñar los pavimentos, debe mencionarse que ésta consiste fundamentalmente en hacer posible el tránsito de los vehículos con seguridad, comodidad, eficiencia y economía, en el plazo establecido en el proyecto, para lo cual, los pavimentos deben satisfacer los siguientes atributos:

- regularidad superficial longitudinal y transversal
- resistencia adecuada al derrapamiento en todo tiempo
- rápida eliminación del agua superficial
- capacidad para soportar las cargas
- bajo nivel de ruido
- bajo nivel de desgaste de las llantas
- adecuadas propiedades de reflexión luminosa
- apariencia agradable.

Es importante tomar en cuenta que los atributos antes citados deben ser considerados en el proyecto, debiendo establecerse en los planos, especificaciones y lineamientos constructivos, las recomendaciones y acciones que deban ejercerse para satisfacer dichos atributos. Por otra parte, durante la construcción de los pavimentos, la supervisión y el grupo de control de calidad deberán vigilar el cumplimiento de las acciones y recomendaciones prescritas antes citadas.

De esta manera, el proyecto, las especificaciones, la supervisión y el control de calidad, deben actuar conjuntamente y en la misma dirección para alcanzar un objetivo común, que es el cumplimiento de los atributos antes mencionados.

2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS.

Como se mencionó anteriormente, los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la capa subrasante, constituida por el terreno natural o por material seleccionado y han de soportar las cargas del tránsito durante un período de varios años, sin deterioros que afecten a la seguridad o a la comodidad de los usuarios o a la propia integridad del pavimento. Por consiguiente, el pavimento tiene las funciones siguientes:

- 2.1 Proporcionar una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo de un período de tiempo, denominado vida de diseño o ciclo de vida, durante el cual sólo deben ser necesarias algunas actuaciones esporádicas de conservación, locales o de poca magnitud en importancia y costo.
- 2.2 Resistir las sollicitaciones del tránsito previsto durante la vida de diseño y distribuir las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la capa subrasante solo llegue una pequeña fracción de aquellas, compatible con su capacidad de soporte. Las deformaciones recuperables que se produzcan tanto en la capa subrasante como en las diferentes capas del pavimento deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.
- 2.3 Constituir una estructura resistente a los factores climatológicos, en especial de la temperatura y del agua, por sus efectos adversos en el comportamiento de los materiales del pavimento y de los suelos de cimentación.

3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS.

Los pavimentos deben poseer unas determinadas características funcionales, que corresponden prácticamente a las condiciones superficiales del pavimento y que afectan especialmente a los usuarios. Por otra parte, han de tener también unas características estructurales que interesan más específicamente a los técnicos encargados de la conservación y operación de los pavimentos.

Entre las características superficiales o funcionales pueden citarse:

- la resistencia al derrapamiento obtenida a través de una adecuada textura superficial, adaptada a las velocidades previstas de circulación y cuya influencia en la seguridad vial es decisiva.
- la regularidad superficial del pavimento, tanto transversal como longitudinal, que afecta a la comodidad de los usuarios en mayor o menor medida en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación. Esta característica está ligada igualmente a la facilidad para eliminar el agua superficial, que también afecta a la seguridad del usuario.
- el ruido generado al circular tanto en el interior de los vehículos (usuarios) como en el exterior (entorno).
- las propiedades de reflexión luminosa, tan importantes para la conducción nocturna y para el diseño adecuado de las instalaciones

- de iluminación. Es igualmente importante el color para efectos de contraste con el señalamiento de piso.
- el desagüe superficial rápido para limitar el espesor de la película de agua, salpicaduras, etc, mediante pendientes adecuadas que conduzcan el agua hacia los dispositivos de drenaje.

Por su parte, las características estructurales están relacionadas con las de los materiales empleados en las diferentes capas del pavimento, en particular las mecánicas, y con los espesores de estas capas. Un análisis mecánico da una idea de los efectos de las cargas del tránsito, en cuanto a estados de esfuerzo, deformaciones unitarias y deflexiones. Si se conocen las leyes de fatiga de los materiales por otra parte, es posible estimar el número de aplicaciones de cargas que pueden soportar las distintas capas o su durabilidad y, por tanto, la del pavimento en su conjunto.

4. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO.

El proyecto del pavimento debe perseguir una optimización desde el punto de vista de la resistencia y funcionalidad de la estructura, con un costo global mínimo, que incluye los costos de construcción, conservación, rehabilitación y operación en un período de 30 a 40 años, generalmente.

Además de las características funcionales y estructurales, el proyecto de los pavimentos requiere la consideración de aspectos constructivos. El análisis de los costos debe completarse con una previsión del comportamiento del pavimento durante el período de diseño, la conservación necesaria y su costo actualizado y, finalmente una estimación de futuros refuerzos estructurales, renovaciones superficiales o reconstrucciones. Además de los costos actualizados, deben tenerse en cuenta los costos del usuario, relacionados con su seguridad, comodidad y con las demoras que se originan en vialidades relativamente congestionadas por los trabajos de conservación y repavimentación. Es importante además que cada tipo de pavimento se asocie a los requerimientos de conservación necesarios, con el objeto de poder evaluar económicamente cada una de las opciones consideradas.

Para el diseño o dimensionamiento de los pavimentos existen varios métodos desarrollados por diferentes Organismos, cuya aplicación se basa principalmente en los siguientes factores.

4.1 Tránsito.

Interesan las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o triple) esperadas en el carril de proyecto (que generalmente es el más solicitado y que determinará la estructura del pavimento de la vialidad) durante el período de proyecto adoptado. Sin embargo, en los casos de vialidades con carriles múltiples podrá realizarse un diseño con estructuras y espesores diferenciados. La repetición de cargas y la acumulación de sus efectos sobre el pavimento, como la fatiga son fundamentales para el cálculo. Además se tendrán en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de aplicación (en particular, las lentas en rampas y zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del tránsito, etc. El tránsito generalmente se establece como número de ejes acumulados de 8.2 ton (18000 lb), en el período de diseño.

4.2 Capa subrasante.

Como parámetro fundamental se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Debe tenerse en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a su resistencia como a las eventuales variaciones de volumen, (expansión-contracción). Generalmente el parámetro de resistencia utilizado para caracterizar la resistencia de los materiales, es el Valor Relativo Soporte (CBR), si bien actualmente algunos métodos emplean el Módulo de Resiliencia, siendo común además manejar correlaciones entre CBR y M_R .

4.3 Clima

Debe tenerse en cuenta en la selección de los materiales y en determinados elementos colaterales, como el drenaje. En el diseño de la propia estructura del pavimento interesa su comportamiento bajo efectos de temperatura y humedad. Son objeto de consideración las temperaturas extremas diarias y estacionales, así como el régimen e intensidad de las precipitaciones, aspectos que deben tomarse muy en cuenta en los aspectos constructivos.

4.4 Los materiales disponibles.

Son determinantes para la selección de la estructura del pavimento en la forma más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se

considerarán los agregados disponibles en los bancos de materiales de la zona. Además de la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, deben verificarse las cantidades disponibles, el suministro y su precio, condicionado en gran medida por la distancia de transporte. Por otro lado, se considerarán los materiales básicos de mayor costo, como cementantes, estabilizadores y modificadores, así como la experiencia y habilidad en su manejo y uso.

4.5 Drenaje y subdrenaje.

El agua es uno de los factores que más contribuyen en el deterioro de los pavimentos, debido a lo cual deberá concederse importancia al rápido desalojo del agua, evitando su concentración tanto en la superficie como en alguna de las capas que constituyen el pavimento, incluyendo la capa subrasante.

Para obtener un mejor comportamiento del pavimento, el proyectista debe reconocer que existen varias formas en que el agua puede entrar a la estructura del pavimento y a la capa subrasante, como grietas, baches y juntas, jardineras y camellones, fugas en los sistemas de drenaje y agua potable, ascensión capilar, posición del nivel freático, etc.

El agua afecta a los materiales del pavimento en varias formas, modificando o alterando algunas de sus propiedades:

- cohesión
- expansión – contracción
- erosión
- grado de compactación
- corrosión
- envejecimiento de los asfaltos
- adherencia entre agregados y asfalto

Se debe por lo tanto tomar las medidas pertinentes para proponer sistemas de drenaje y subdrenaje que actúen con efectividad.

Con relación al drenaje superficial, se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La pendiente transversal del pavimento deberá ser por lo menos del 1%
- No se deberán admitir depresiones en la superficie que pudieran provocar estancamientos de agua.

- El texturizado debe facilitar la expulsión rápida del agua transversalmente.
- No deberán existir obstáculos que faciliten el encharcamiento del agua en las bocas de tormenta o rejillas.
- Las juntas en el pavimento deberán tratarse adecuadamente. De igual manera no deberán permitirse agrietamientos en el pavimento que facilitaran la filtración de agua a las capas inferiores.

Así mismo deberá tenerse en cuenta que la textura superficial determina la rapidez con que el agua puede escapar de entre la llanta y el pavimento y también la rapidez con que escurre por la superficie durante la lluvia. El agua en el pavimento puede ocasionar una pérdida de contacto entre la llanta y su superficie, dando origen a la pérdida del control de la dirección del vehículo y a su deslizamiento, fenómeno que se le conoce como hidropneumático o acuapneumático y generalmente ocurre cuando se conduce un vehículo bajo la lluvia a gran velocidad y se forma una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento que alcanza un nivel crítico en función de la velocidad del vehículo.

Con el fin de minimizar o evitar la ocurrencia de este fenómeno, a los pavimentos debe proporcionarse una textura superficial, que debe ser compatible con el medio ambiente, velocidad de circulación, intensidad de tránsito, topografía y características geométricas de vialidad.

4.6 Otros factores.

Existen otros factores que en ocasiones afectan de manera muy importante el proyecto de un pavimento, como el entorno urbano, las dimensiones de la obra, la experiencia y equipos de las empresas constructoras, algunas medidas de política general o local, etc.

5. PRINCIPALES MATERIALES BÁSICOS EMPLEADOS EN LOS PAVIMENTOS.

Como materiales básicos utilizados en la construcción de las diversas capas del pavimento, se encuentran los siguientes:

- Suelos granulares seleccionados
- Agregados naturales, cribados y/o triturados parcialmente
- Agregados producto de trituración total y cribados
- Agregados procedentes de procesos de reciclado.

- Productos asfálticos, como cementos y emulsiones, con o sin agentes modificadores
- Productos cementantes y estabilizadores, como cemento Portland, cal, etc.
- Agua
- Productos geosintéticos, como geotextiles, geomallas, geodrenes, etc.
- Materiales varios, como varillas de acero, aditivos para concreto, productos especiales para sellado de juntas y grietas, fibras, etc.

Los suelos y agregados, incluyendo la utilización de productos cementantes, estabilizadores y modificadores, se utilizan para construir los siguientes elementos:

- Capas de agregados granulares como subbase, bases, capa subrasante.
- Materiales granulares estabilizados o tratados, como suelos estabilizados con cemento, cal o productos asfálticos, mezclados en el sitio o en planta, gravacemento, gravaemulsión, etc.
- Tratamientos superficiales y riegos asfálticos, que comprenden los riegos de impregnación, liga y sellado, las lechadas asfálticas, morteros, asfálticos, carpetas delgadas de granulometría abierta, etc.
- Mezclas asfálticas, como mezclas en caliente o en frío, mezclas cerradas o abiertas, etc.
- Concretos hidráulicos vibrados para pavimentos rígidos, concretos pobres para bases, concreto compactados con rodillo, etc.

6. TIPOS DE PAVIMENTOS

La tecnología actual cuenta con una gran variedad de pavimentos que, siguiendo criterios tradicionales, suele clasificarse en dos grandes grupos: flexibles y rígidos.

Los llamados pavimentos flexibles están formados por una serie de capas constituidas por materiales con una resistencia a la deformación que inicialmente era decreciente con la profundidad, de modo análogo a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie y cuentan con una capa de rodamiento constituida por mezcla asfáltica, por lo que también se les denomina pavimentos asfálticos.

El aumento de las intensidades y número de aplicaciones de cargas llevó en su día a los denominados pavimentos rígidos, con capas tratadas o estabilizadas con cemento o con un espesor muy importante de mezclas asfálticas como las denominadas "full depth", con espesores del orden de 30 cm. Estos pavimentos suelen incluirse también formalmente en el grupo de los flexibles, debido a que tienen un pavimento asfáltico análogo, pero su comportamiento estructural es muy diferente, con capas inferiores de igual o mayor rigidez que las superiores, como en el caso de los pavimentos de sección invertida.

Los pavimentos rígidos constan de una losa de concreto hidráulico. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losas y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables.

Los pavimentos mixtos o compuestos, están constituidos por una capa de concreto hidráulico, cubierta por una carpeta asfáltica. Se emplean en calles y su justificación se basa entre otras razones en la presencia de redes y servicios bajo la vialidad, que han de protegerse de la acción del tránsito o que su posición impide efectuar excavaciones de mayor profundidad para alojar una estructura de pavimento flexible convencional. Así mismo, pueden tener una mayor capacidad estructural y por tanto, un mejor desempeño.

Pavimentos flexibles y semirrígidos

Están constituidos por varias capas denominadas de arriba hacia abajo como carpeta, base y subbase, respectivamente.

La carpeta es la parte que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales, como ya se ha indicado. Estructuralmente, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. En condiciones de alta intensidad de tránsito puede llegar a alcanzar espesores importantes. Se construyen con mezclas asfálticas en frío o en caliente, denominándose en este último caso concretos asfálticos, que pueden tener algún agente modificador para mejorar alguna de sus características. Cuando el espesor total de la carpeta es superior a 8 cm se construye por capas. Para mejorar sus características superficiales o con fines de conservación, se pueden aplicar a la carpeta tratamientos superficiales, como capas delgadas de mortero y lechadas asfálticas, carpetas drenantes de granulometría abierta, etc.

La base es la capa situada debajo de la carpeta. Su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante, normalmente bases de mezcla asfáltica o bases de gravacemento.

La subbase es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante. Esta capa puede no ser necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.

7. ASPECTOS TEÓRICOS Y FUNDAMENTOS DE DISEÑO.

7.1 Generalidades.

Los métodos de diseño de pavimentos, tanto rígidos como flexibles, han sufrido importantes transformaciones a lo largo del tiempo. Desde aquellos primeros métodos de diseño de tipo empírico de principios del presente siglo, basados en un sistema de clasificación de suelos, o apoyados en pruebas de resistencia igualmente empíricas, hasta la época actual, los métodos de diseño se han visto fuertemente enriquecidos por las aportaciones de importantes investigaciones, como las realizadas en tramos experimentales, entre los que destaca el llevado a cabo bajo la dirección de la AASHO, en los Estados Unidos de Norteamérica y cuyos primeros resultados se incorporaron en 1962 a la tecnología de los pavimentos. A partir de ese momento y con la introducción de las computadoras, la utilización de sofisticados instrumentos y equipos de ensaye y medición y procedimientos de análisis como el método del elemento finito, se han desarrollado métodos de diseño más avanzados, como los denominados mecanístico-empíricos, los cuales tienen una componente teórica, basada en un modelo estructural y una componente empírica, basada en resultados de laboratorio y observaciones de comportamiento en el campo, con los cuales se configura un modelo de comportamiento. Más recientemente las investigaciones llevadas a cabo dentro del programa SHRP, han revolucionado la tecnología

principalmente de los asfaltos con el objetivo de mejorar el estado del conocimiento en cuanto al comportamiento de los pavimentos.

Los modelos estructurales de la parte mecanicista están más avanzados que los modelos de comportamiento de la parte empírica. Los primeros están basados generalmente en una teoría mecánica, como la de la Elasticidad, por ejemplo, mientras que los segundos son producto de ecuaciones de regresión, que pueden dar lugar a dispersiones importantes, por lo que requieren de cuidadosas calibraciones y revisiones para asegurar una concordancia satisfactoria entre la predicción y la realidad, aspecto que es muy importante para el desarrollo confiable del método. Los modelos así desarrollados permiten evaluar la influencia de la variación de los espesores de las capas, de las cargas aplicadas, de la introducción de nuevos materiales, la influencia del medio ambiente, la aplicación de medidas de rehabilitación, la predicción del comportamiento del pavimento a través del tiempo, así como su vida remanente, permitiendo obtener un mayor nivel de confianza en el diseño, etc. Estos métodos parecen ser los procedimientos de análisis más promisorios hoy en día para el diseño y evaluación de pavimentos.

El estado tecnológico actual permite calcular los estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, aplicando las leyes físicas disponibles, de acuerdo con alguna forma de respuesta mecánica: elástica, viscoelástica, etc. Por lo que respecta a los modos de falla, los métodos de diseño generalmente están calibrados para considerar la ocurrencia de algunos de ellos, aunque no todos, ya que por ejemplo las fallas por desintegración o por reducción de resistencia al derrapamiento son generalmente cubiertas mediante los diseños de las mezclas y especificaciones de materiales y de construcción. Por otra parte, los valores críticos, límite o terminales que definen una condición de falla, son establecidos en el diseño, teniendo en cuenta aspectos tanto estructurales como funcionales; un ejemplo es el correspondiente a la serviciabilidad, la cual está estrechamente ligada con la rugosidad de la superficie del pavimento. La curva de degradación correspondiente a este parámetro indica la forma en que disminuye la calidad de rodamiento a través del tiempo, hasta alcanzar los valores límite seleccionados, para indicar que el pavimento se encuentra en condiciones inadecuadas de servicio, los cuales dependen de la categoría del pavimento o de la carretera.

Debe mencionarse finalmente que en la actualidad, los organismos encargados de la operación y administración de los pavimentos están preocupados por las implicaciones de éstos, principalmente en lo concerniente a su comportamiento, en las economías de los Países, principalmente de los que se encuentran en proceso de desarrollo.

Debido a esto, se ha implementado un sistema de análisis que comprende la evaluación económica de las diferentes alternativas de estructuras de pavimentos propuestas para cada caso, con sus correspondientes estrategias de conservación, dentro de un determinado período de análisis, desarrollándose de esta manera el concepto de Análisis del Costo de Ciclo de Vida, utilizado como factor fundamental para la toma de decisiones. En este concepto intervienen el comportamiento de cada una de las alternativas planteadas en el ciclo de vida analizado y teniendo en cuenta los efectos de su conservación, las características del tránsito en el mismo ciclo y finalmente los costos generados en dicho lapso, como costo inicial de construcción, costos de conservación y de rehabilitación, así como los inherentes al usuario, siendo estos últimos determinantes en muchos casos para seleccionar la mejor alternativa, que a fin de cuentas será aquella en la cual la combinación de materiales y fondos respectiva, genere la situación económica más ventajosa. Este análisis conduce a los denominados Sistemas de Administración de Pavimentos, en los cuales es fundamental contar con tres adecuados modelos: estructural, de predicción de comportamiento y económico.

7.2 Métodos de diseño.

Los métodos actuales de diseño de pavimentos se inclinan hacia el concepto mecanístico-empírico, que involucra la aplicación de modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos, así como el desarrollo de modelos de deterioro para predecir el comportamiento del pavimento a partir de las respuestas estructurales. Los esquemas de predicción de comportamiento son posteriormente calibrados a partir de evaluaciones y observaciones del comportamiento de pavimentos en servicio. En la concepción de los modelos estructurales se hacen intervenir los aspectos teóricos que involucran esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, así como la influencia de la temperatura y el tiempo con apoyo de herramientas modernas como el Método del Elemento Finito y los programas de computación, lo cual ha simplificado notablemente el procedimiento de análisis teóricos. Por lo que respecta a los modelos de deterioro y de predicción de comportamiento, principalmente en lo que se refiere a la fatiga y a las deformaciones permanentes, estos se derivan de análisis de regresión, que frecuentemente presentan importantes dispersiones, siendo sin embargo muy necesarios para la permanente calibración del método de diseño.

Los métodos de diseño han simplificado notablemente los procedimientos de aplicación, presentando al usuario tablas, nomogramas y elementos de cálculo relativamente sencillos, además de programas de computadora, mediante los cuales se pueden efectuar rápidamente estudios de alternativas y análisis de sensibilidad, incluyendo sus costos, lo cual permite obtener un panorama

completo del problema con la información necesaria para la toma correcta de decisiones.

Adicionalmente debe mencionarse que existen algunos conceptos que deben ser tomados en cuenta por el proyectista, pues corresponden a las necesidades que se manifiestan actualmente con respecto a los requerimientos de los pavimentos.

- a) mayores niveles de seguridad y comodidad para el usuario
- b) materiales y superficies de rodamiento más durables y resistentes
- c) requerimientos de mínima conservación
- d) menor nivel de ruido dentro de la carretera y en el entorno
- e) mejor apariencia

7.3 Método AASHTO para pavimentos flexibles

A partir de los resultados de la investigación efectuada en el Tramo de Prueba AASHO, a finales de la década de los 50, se desarrolló la "AASHO Interim Guide for the Design of Rigid Pavement Structures", que fue publicada en 1962, en forma semejante a la "AASHO Interim Guide for the Design of Flexible Pavement Structures", publicada en 1961. A principio de la década de los años 70, el Organismo modificó su denominación a AASHTO y para el año de 1972 ambas publicaciones fueron actualizadas y presentadas en un solo documento, "AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures", que fue publicada posteriormente con algunas modificaciones en 1981, apareciendo en 1986 después de ser nuevamente revisada, con el título de "AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures", versión que incluyó muchos cambios así como nuevos conceptos, tales como los de nivel de confianza, análisis de costos en el ciclo de vida y administración de pavimentos. Finalmente la versión editada en 1993 corrige y aclara algunos conceptos relativos al proyecto de capas de refuerzo de los pavimentos, y es la versión que se utiliza en este Capítulo para describir el método de diseño propuesto por la AASHTO.

Este método se clasifica dentro de los procedimientos de diseño basados en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de los resultados de tramos de prueba. Sin embargo, en la actualidad está adquiriendo un carácter mecanístico, al introducirse en el procedimiento conceptos como los módulos de resiliencia y elásticos de los materiales.

La ecuación original de regresión obtenida a partir de los resultados de la prueba AASHTO ha sido modificada, principalmente en los valores de las constantes de regresión, con base en la teoría y la experiencia. La ecuación para pavimentos flexibles presentada en 1993 es la siguiente:

NOMOGRAPH SOLVES:

$$\log_{10} \frac{W}{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

En donde:

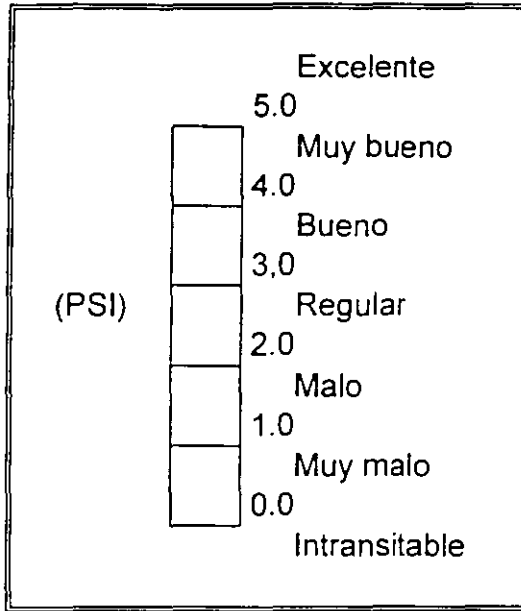
- W-18 número admisible de ejes equivalentes de 18000 lbs
- Z_R desviación normal estándar
- S_o desviación estándar integral
- SN número estructural del pavimento
SN = a₁ D₁ + a₂ D₂ m₂ + a₃ D₃ m₃
- ΔPSI diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal (p_o-p_t)
- p_o índice de servicio inicial
- p_t índice de servicio terminal
- M_R módulo de resiliencia
- m₂, m₃ coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase
- a₁, a₂, a₃ coeficientes de capas representativos de la carpeta, base y subbase
- D₁, D₂, D₃ espesores de las capas de carpeta, base y subbase en pulg.

Para facilitar la utilización de la fórmula se ha preparado un nomograma, adaptado a unidades en el sistema Ingles.

A continuación se realizará una breve discusión de los factores que intervienen en la ecuación, necesaria para su adecuada utilización en el proceso de diseño del espesor del pavimento.

a) Serviciabilidad.

De acuerdo con la AASHTO, la serviciabilidad de un pavimento es "su habilidad para proporcionar un servicio adecuado al tipo de tránsito (automóviles y camiones) que lo usan". En el tramo de prueba se desarrolló una escala con valores de 0 a 5 para representar diferentes niveles de calidad de servicio, en función del grado de deterioro superficial del pavimento, manifestado principalmente por la rugosidad de su superficie, definiendo el concepto de Índice de Servicio Actual (PSI, Present Serviciability Index), con los niveles indicados en la figura siguiente. Debe señalarse que los niveles 0 y 5 raramente son alcanzados.



Escala del Índice de Servicio Actual (PSI)

El índice de servicio inicial, p_o , representa la condición del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. Con las técnicas modernas de construcción, control y supervisión, en los pavimentos de concreto de alta calidad se han alcanzado valores iniciales de 4.7 a 4.8, recomendándose tomar un valor de 4.5 para efectos de diseño, cuando no se tenga mejor información.

El índice de servicio terminal, p_t , corresponde al nivel de servicio en el cual el pavimento requiere de algún tipo de rehabilitación para iniciar un nuevo ciclo de vida. El valor del índice de servicio terminal está relacionado con la importancia de la carretera o elemento, mostrándose en la tabla 1, los valores típicos recomendados para diferentes tipos de utilización, si bien el proyectista podrá adoptar el que considere conveniente para un caso en particular.

Tabla 1. Valores terminales típicos para el índice de servicio terminal

| Pt | Clasificación |
|------|--|
| 3.00 | Autopistas |
| 2.50 | Carreteras principales, arterias urbanas |
| 2.25 | Carreteras secundaria importantes, calles comerciales e industriales |
| 2.00 | Carretera secundaria, calles residenciales y estacionamientos |

De acuerdo con lo anterior, el parámetro que indica la diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

Por lo tanto es recomendable que el índice p_o alcance el mayor valor posible con el objeto de incrementar el ciclo de vida del pavimento, lo cual depende de la aplicación de correctas técnicas de construcción, control y supervisión.

Por otra parte, se reconoce que el tránsito no es el único factor que reduce con el tiempo el índice de servicio. Existen algunos otros factores de tipo ambiental que reducen también el valor de dicho índice, como el tipo de suelo del terreno natural, condiciones de drenaje, etc, cuyo efecto debe tomarse en cuenta para determinar el espesor de pavimento necesario para soportar el efecto combinado del tránsito y factores ambientales. A falta de mejor información y elementos para definir el valor de la reducción producida por factores ambientales, ΔPSI_{SW-FH} , puede esperarse que tal valor se encuentre entre 0.0 y 0.7, empleándose la siguiente expresión para valorar la pérdida de índice de servicio total:

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{TR} + \Delta PSI_{SW-FH}$$

en donde:

| | |
|----------------------|---|
| ΔPSI_{TR} | pérdida del índice de servicio debida al efecto del tránsito |
| ΔPSI | pérdida de índice de servicio total en el ciclo de vida considerado ($p_o - p_t$) |
| ΔPSI_{SW-FH} | pérdida del índice de servicio debida a factores ambientales |

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta en el diseño del pavimento, es el de tratar de reducir al máximo o nulificar la pérdida de índice de servicio debida a factores ambientales, lo cual debe ser motivo de medidas que tome el proyectista para reducir el posible efecto adverso de los factores ambientales.

b) Tránsito, W-18

La aplicación del método AASTHO requiere la transformación a ejes sencillos de 18000 lb (8.2 ton) de los ejes de diferentes pesos y configuraciones (sencillos, tandem y tridem) que circularán sobre el pavimento a lo largo del ciclo de proyecto. Para ello, en la Guía se han incluido una serie de tablas con los factores de conversión, los que dependen de diferentes factores, como tipo de pavimento (flexible o rígido), tipo de eje (sencillo, tandem, tridem), magnitud de la

carga en el eje, índice de servicio final y, en el caso de pavimentos rígidos, espesor de la losa del pavimento. Para este caso se presentan nueve tablas, combinando cada uno de los tres tipos de ejes, con tres valores de índice de servicio final; 2.0, 2.5 y 3.0.

Para determinar el número de ejes acumulados equivalentes de 18000 lb (E-18, ESAL), el proyectista debe conocer las características del tránsito que circulará sobre el pavimento en el ciclo de proyecto, esto es, número y tipos de vehículos clasificados de acuerdo a una tipología determinada, las cargas correspondientes a cada tipo de eje, tasa de crecimiento prevista, período o ciclo de proyecto y número de carriles.

Por otro lado debe tomarse en cuenta la distribución del tránsito transversalmente, considerando el número de carriles de la vialidad, de acuerdo con lo indicado en la tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de tránsito (W_{18}), en el carril de diseño

| Número de carriles en cada dirección | Porcentaje del número de ejes equivalente en el carril de diseño. |
|--------------------------------------|---|
| 1 | 100 |
| 2 | 80-100 |
| 3 | 60-80 |
| 4 | 50-75 |

c) Tipología de vehículos.

En la tabla 3 se indican los diferentes tipos de vehículos autorizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para circular por las vialidades nacionales.

d) Período o ciclo de proyecto.

Es importante definir la magnitud del ciclo de proyecto, ya que el número de ejes equivalente deberá acumularse en dicho ciclo. Generalmente se consideran períodos de diseño de 10 a 20 años, lapso en el cual se espera que el pavimento alcance el índice de servicio terminal elegido. Dicho período puede ser asignado por el Organismo que requiere el proyecto o bien puede ser propuesto por el proyectista, en función de su experiencia, tipo de carretera, etc, pudiendo utilizar como guía los períodos presentados en la tabla 4.

TABLA 3. TIPOLOGÍA DE VEHICULOS AUTORIZADOS POR LA SCT PARA CIRCULAR POR LAS VIALIDADES NACIONALES

| Vehículo | Designación | Peso por eje, ton | | | | |
|--|-------------|-------------------|--------|--------|--------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Automóvil | A2 | 1.0 | 1.0 | | | |
| Camión ligero con capacidad de carga hasta de 3 ton. | A'2 | 1.7 | 3.8 | | | |
| Autobús de dos ejes | B2 | 5.5 | 10.0 | | | |
| Autobús de tres ejes | B3 | 5.5 | 14.0 D | | | |
| Autobús de cuatro ejes | B4 | 7.0 D | 14.0-D | | | |
| Camión de dos ejes | C2 | 5.5 | 10.0 | | | |
| Camión de tres ejes | C3 | 5.5 | 18.0-D | | | |
| Camión de cuatro ejes | C4 | 5.5 | 22.5-T | | | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje | T2-S1 | 5.5 | 10.0 | 10.0 | | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes | T2-S2 | 5.5 | 10.0 | 18.0-D | | |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes | T3-S2 | 5.5 | 18.0-D | 18.0-D | | |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de tres ejes | T3-S3 | 5.5 | 18.0-D | 22.5-T | | |
| Camión de dos ejes con remolque de dos ejes | C2-R2 | 5.5 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | |
| Camión de tres ejes con remolque de dos ejes | C3-R2 | 5.5 | 18.0-D | 10.0 | 10.0 | |
| Camión de tres ejes con remolque de tres ejes | C3-R3 | 5.5 | 18.0-D | 10.0 | 18.0-D | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes | T2-S1-R2 | 5.5 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes | T2-S2-R2 | 5.5 | 10.0 | 18.0-D | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes | T3-S1-R2 | 5.5 | 18.0-D | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes | T3-S2-R2 | 5.5 | 18.0-D | 18.0-D | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de tres ejes | T3-S2-R3 | 5.5 | 18.0 | 18.0 | 10.0 | 18.0 |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes | T3-S2-R4 | 5.5 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 |

D = eje doble o tandem

T = eje triple o tridem

TABLA 4. PERIODOS O CICLOS DE PROYECTO DE ACUERDO CON EL TIPO DE VIALIDAD.

| Tipo de vialidad | Periodo de proyecto, años |
|--|---------------------------|
| Urbana, con elevado nivel de tránsito | 30-50 |
| Principal, con elevado nivel de tránsito | 20-50 |
| Secundaria, con bajo nivel de tránsito | 15-25 |

e) Volumen de Tránsito y Tasa de Crecimiento.

Generalmente el número inicial de vehículos que operará en el pavimento es proporcionado por el Organismo que requiere el proyecto, así como la respectiva tasa de crecimiento, que deberá considerarse aplicada en el período de análisis. El proyectista puede en caso dado recurrir a la información obtenida de estudio de tránsito para vialidades semejantes a la objeto del estudio y a información estadística.

Con relación a la forma de tomar en cuenta el aspecto del incremento en el volumen de tránsito, en el Apéndice D de la Guía AASHTO de referencia, se presentan lineamientos útiles para tal objeto, recurriendo a factores de incremento de tránsito para diferentes tasas de incremento desde cero a 10 y períodos de análisis de 1 a 35 años. Los factores propuestos multiplicados por el volumen de tránsito inicial, proporcionará el volumen total de tránsito esperado en el período de análisis.

f) Coeficiente de drenaje (C_d).

Se reconoce ampliamente que la presencia de agua es uno de los factores que principalmente contribuye al deterioro de los pavimentos, bien sea por la saturación y reducción de la resistencia de los materiales de las capas subramente y de subbase, o por favorecer el fenómeno de bombeo con e expulsión de las partículas finas de las bases granulares a través de grietas y juntas, lo que conduce a una degradación de la capacidad de soporte estructural, oxidación y envelhecimento de las carpetas asfálticas, e inestabilidad y aprietamientos por cambios volumétricos debidos a cambios de humedad. En climas fríos ocurre el fenómeno de congelamiento-deshielo.

La versión del año de 1986 de la Guía, intentó reconocer la importancia del agua, haciendo intervenir un coeficiente (m), que pretende tomar en cuenta los efectos de lluvias o malas condiciones del drenaje en el diseño del pavimento.

Para proporcionar el valor del coeficiente m , se deben considerar las condiciones de saturación a que están expuestas las capas de subbase y capa subramente, debiendo consultarse la tabla 5, para determinar el valor del coeficiente en cada caso particular.

Para mejorar las condiciones de drenaje, se sugiere el empleo de subdrenes y capas de subbase permeable, para prevenir además el bombeo prematuro y los deterioros asociados en el pavimento.

TABLA 5. VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE (m_1), PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

| Condición del drenaje | Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación | | | |
|-----------------------|--|-----------|-----------|-------|
| | < 1% | 1 - 5% | 5 - 25% | > 25% |
| Excelente | 1.40-1.35 | 1.35-1.30 | 1.30-1.20 | 1.20 |
| Buena | 1.35-1.25 | 1.25-1.15 | 1.15-1.00 | 1.00 |
| Regular | 1.25-1.15 | 1.15-1.05 | 1.00-0.80 | 0.80 |
| Mala | 1.15-1.05 | 1.05-0.80 | 0.80-0.60 | 0.60 |
| Muy mala | 1.05-0.95 | 0.95-0.75 | 0.75-0.40 | 0.40 |

| Condición del drenaje | Lapso transcurrido para que el suelo sea drenado hasta alcanzar el 50% de saturación |
|-----------------------|--|
| Excelente | 2 horas |
| Buena | 1 día |
| Regular | 7 días |
| Mala | 1 mes |
| Muy mala | infinito |

En el caso de que $m_1 = 1$, se estima que las condiciones del drenaje no causan ningún impacto en el espesor del pavimento; si es menor que la unidad, el espesor se incrementa y para valores superiores a la unidad, el espesor decrecerá.

g) Confiabilidad (R , Z_R , S_o)

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad estadística de que el pavimento cumpla con la vida de diseño. Generalmente, el comportamiento de un pavimento a lo largo del tiempo se representa por medio de una curva, que manifiesta la forma en que el pavimento progresivamente pierde alguna de sus cualidades, por ejemplo su serviciabilidad. La ecuación de diseño propuesta por

la AASHTO propiamente define la forma de la curva de comportamiento del pavimento atendiendo al concepto de serviciabilidad, con un nivel de confianza (R) de 50%. El nivel de confianza para un proyecto en especial, debe seleccionarse de acuerdo con el tipo e importancia de la carretera o vialidad, teniendo en cuenta lo recomendado en la tabla 6. Debe notarse que los valores mayores se recomiendan para vialidades sujetas a un uso intenso y con mayores exigencias de un mantenimiento mínimo.

TABLA 6 NIVELES DE CONFIANZA SUGERIDOS PARA DIFERENTES TIPOS DE VIALIDADES Y CARRETERAS.

| Tipo de vialidad | Nivel de confianza | |
|--|--------------------|------------|
| | vialidades urbanas | Carreteras |
| Autopistas y carreteras de primer orden | 85-99.9 | 80-99.9 |
| Carreteras y vialidades principales | 80-99 | 75-95 |
| Carreteras y vialidades secundarias | 80-95 | 75-95 |
| Vialidades de acceso y calles en general | 50-80 | 50-80 |

Los niveles de confianza propuestos indican propiamente el porcentaje del área comprendida en la curva de distribución normal de serviciabilidad, a la derecha del nivel de confianza elegido. La distancia entre el valor medio, equivalente a un nivel de confianza $R= 50\%$ y el correspondiente al nivel de confianza elegido para un caso en particular, es igual al producto $Z_R * S_o$.

en donde:

S_o Desviación estándar total, que considera el monto del error estadístico incluido en la ecuación, como resultado de la variabilidad inherente a los materiales y a la construcción.

Z_R desviación normal estándar para la distribución normal, para un nivel de confianza determinado.

Determinar el valor de S_o es difícil, pues requiere conocer la desviación estándar para cada parámetro involucrado, teniendo en cuenta las condiciones locales, razón por la cual se ha considerado a S_o dentro de un rango entre 0.3 y 0.4,

recomendándose un valor de 0.45, para tomar en cuenta además el error relativo a la predicción del tránsito.

Por lo que respecta al parámetro Z_R , su valor depende del nivel de confianza elegido, pudiendo determinarse en tablas de tipo estadístico. Para efectos de su aplicación práctica, la tabla 7 presenta los valores de Z_R para los niveles de confianza recomendados en la tabla 6.

TABLA 7 RELACION ENTRE EL NIVEL DE CONFIANZA Y LA DESVIACION NORMAL ESTANDAR, Z_R

| Nivel de confianza, R | Desviación normal estándar Z_R | $Z_R S_o$ |
|-----------------------|----------------------------------|-----------|
| 50 | 0.00 | 0.0 |
| 75 | -0.674 | -0.236 |
| 80 | -0.841 | -0.294 |
| 85 | -1.037 | -0.363 |
| 90 | -1.282 | -0.449 |
| 95 | -1.645 | -0.576 |
| 99.9 | -3.090 | -1.082 |

h) Módulo de resiliencia (M_r)

La característica básica que se requiere para el diseño de pavimento es el Módulo de Resiliencia (M_r), que ha sustituido al valor de CBR y valor de "R" o módulo de reacción del estabilómetro de Hveem, aunque se establecen correlaciones al respecto y se obtiene de acuerdo con la especificación AASHTO T-274 como una medida de las propiedades elásticas del suelo.

Las razones principales por las que se adopta esta característica, son las siguientes:

1. Indica la propiedad básica del material que puede utilizarse en el análisis mecanístico del sistema multicapa para predecir la rugosidad, agrietamiento, roderas, deterioros, etc.
2. Es una características reconocida internacionalmente, como dato para la evaluación y diseño de pavimentos.
3. Se emplea una técnica de pruebas no destructivas que permite estimar el M_r de varios materiales directamente en el lugar.

Sin embargo, se han establecido correlaciones razonables con el CBR o valor relativo de soporte y el valor de "R" y que están dadas por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{Mr (psi)} &= 1500 \times \text{CBR} \\ \text{Mr (psi)} &= 1000 + 555 \times R \end{aligned}$$

Estas expresiones son válidas, básicamente para suelos finos o granulares, que cubren una amplia gama de materiales de terreno natural o terracerías, de soporte para pavimentos.

En aquellos casos especiales de suelos finos arcillosos y expansivos de muy bajo CBR, habrá que tomar las precauciones del caso, y hacer un análisis más detallado para determinar el Mr, con las debidas reservas en la aplicación de las expresiones anteriores.

Por otra parte, el diseñador deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Asegurar que la compactación o densidad relativa del suelo de soporte se cumpla, ya que de ello depende el Mr. En caso de no lograrse la compactación deseada, ajustar el valor de Mr.
2. Suelos muy expansivos o resilientes deberán recibir especial atención, manteniendo el contenido de humedad bajo límites razonables que no afecten sustancialmente su comportamiento. Para ello, se analizarán cuestiones de drenaje y subdrenaje; o bien, procedimientos de estabilización con algún aditivo (cemento o cal); asimismo el uso geotextiles puede ayuda en la solución de un buen diseño.
3. Problemas de suelos de alto contenido de materia orgánica, extremadamente compresibles, requieren de soluciones especiales como sustitución por materiales adecuados, técnicas de preconsolidación, geotextiles, etc.
4. Atención a suelos de características variables, con tratamientos de escarificación, recompactación, mezclado, como es el caso de zonas de cortes y rellenos y tratar adecuadamente las zonas de transición.
5. A pesar de que en el diseño de pavimento se involucran consideraciones de drenaje, debe ponerse especial atención en aquellas zonas de alta precipitación pluvial donde los escurrimientos (superficiales y subterráneos) son considerables en época de lluvias. Al respecto, el diseñador debe considerar

soluciones especiales de obras complementarias de sub-drenaje, capas drenantes, filtros, tuberías de drenaje adicionales, canales, etc., sobre todo donde existan suelos susceptibles a los cambios de humedad que afecten su capacidad de soporte.

6. En suelos donde se dificulte la construcción, como son los suelos cohesivos que retienen mucho tiempo la humedad y no se puedan compactar adecuadamente, habría que adoptar soluciones especiales, como mezclado con materiales granulares, con arena o material seco, que aceleren el secado, o bien colocar una capa subrasante sobre dicho suelo con material adecuado para trabajar sobre ella y que sirva de desplante al pavimento.

Se hace énfasis en el criterio de elegir el módulo resiliente adecuado, pues son muchos los factores asociados a él; no se debe limitar a contar con pocos valores de M_r , debiendo siempre obtener los suficientes para obtener un factor adecuado de confiabilidad.

Por lo que respecta a los materiales de subbase y base el método reconoce la dificultad actual de determinar el M_r de estos materiales en el laboratorio y recomienda el uso de correlaciones con pruebas más accesibles, como el CBR, presentando gráficas en que se correlacionan dichos parámetros para materiales granulares y estabilizados, incluyendo además correlaciones con otros parámetros.

i) Coeficiente de capa (a)

El método proporciona gráficas en las que pueden obtenerse los coeficientes de capa aplicables a los diferentes materiales de las capas consideradas de la estructura del pavimento, en función del M_r correspondiente.

Procedimiento de diseño.

1. Se utiliza el nomograma propuesto por el método asignando valores convenientes al nivel de confianza, R , y a la desviación estándar, S_o .

El nivel de confianza se elige de acuerdo con el tipo de vialidad considerado (tabla 6), y el valor de S_o debe determinarse experimentalmente en función de la variabilidad observada en los materiales y en la calidad de la construcción, lo cual requiere de un seguimiento constante por lo cual, en caso de no contar con la experiencia local, puede tomarse un valor de 0.45.

2. A continuación se deberá aplicar el tránsito equivalente acumulado, determinado para el carril de diseño. Es conveniente señalar que la capacidad de la escala es de 50 millones de ejes acumulados equivalentes, siendo necesario en caso de rebasar este valor, reconsiderar la distribución del tránsito, por ejemplo aumentando el número de carriles, etc. Para elegir los factores de equivalencia, deberá considerarse el valor terminal del índice de servicio considerado, P_t y partir de un número estructural adecuado, en función del espesor esperado de pavimento, o considerando un valor de 5 si no se puede estimar y repetir el proceso si el número estructural obtenido implica una diferencia en espesor de 2.5 cm con relación al valor estimado.
3. Enseguida se utilizará el módulo de resiliencia de la capa de apoyo del pavimento, para determinar el valor de SN, considerando además el decremento en la serviciabilidad teniendo en cuenta el valor terminal de diseño y un valor inicial, que dependerá de la calidad de la construcción y que es conveniente que sea el mayor posible, para cumplir satisfactoriamente con la vida de diseño.
4. Finalmente se procederá a determinar los espesores de las capas restantes considerando los coeficientes de cada capa y los números estructurales a diferentes niveles.

Deberán tenerse en cuenta además los valores mínimos de espesor recomendados en la tabla 8.

Tabla 8. Espesor mínimo, cm.

| Tránsito acumulado equivalente | Concreto asfáltico | Base granular |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| < 50000 | 2.5 (1) | 10 |
| 50 001 – 150 000 | 5.0 | 10 |
| 150 001 – 500 000 | 6.5 | 10 |
| 500 001 – 2 000 000 | 7.5 | 15 |
| 2000 001 – 7000 000 | 9.0 | 15 |
| > 7 000 000 | 10.0 | 15 |

(1) o tratamiento superficial

Debe hacerse notar que los módulos de resiliencia M_r , y los respectivos coeficientes estructurales a_1 , que intervienen como factores de diseño, corresponden a los diferentes materiales disponibles, los cuales deberán satisfacer adicionalmente las especificaciones de calidad establecidas por el Organismo (DDF, SCT, IMT AASHTO, etc.). Por otra parte, es conveniente plantear y analizar varias alternativas y definir sus correspondientes curvas de degradación y por consiguiente sus ciclos de vida, teniendo en cuenta además los trabajos de conservación y rehabilitación de cada una de las alternativas, para efectuar un análisis beneficio-costos, mediante el cual pueda determinarse la alternativa más económica o que corresponda a la utilización más conveniente de los recursos dentro de un presupuesto definido.

Es conveniente señalar que en este método se consideran y aplican los conceptos derivados del experimento llevado a cabo por la AASHO, tales como la diferenciación entre falla estructural y funcional, índice de espesor y carga equivalente, conceptos que por otro lado, son también utilizados por la moderna tecnología de pavimentos.

Rugosidad.

Es el parámetro fundamental para calificar la calidad de rodamiento de un pavimento, tanto inicial como a lo largo del tiempo definiendo el comportamiento del pavimento, concepto muy importante sobre todo cuando se involucra en un sistema de administración de pavimentos. Se asocia tanto a los aspectos de comodidad como de seguridad para el usuario. Se considera que se alcanzará la rugosidad o regularidad superficial deseada si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Las irregularidades del pavimento, controladas con una regla móvil con una longitud de 3 metros para carreteras, provistas de registrador gráfico, no deben ser superiores a 3 mm en la dirección longitudinal y de 6 mm en la dirección transversal.
- b) La uniformidad superficial de un lote, medida por el índice de perfil, determinado con un perfilógrafo tipo California, no debe ser superior al límite indicado en la tabla 14 de acuerdo con el tipo de vialidad.

TABLA 14. VALORES RECOMENDADOS PARA EL INDICE DE PERFIL

| Tipo de vialidad | Índice de perfil aceptable para una velocidad de operación | |
|--|--|----------|
| | ≤ 75 kph | > 75 kph |
| Autopistas y carreteras de primer orden en tangentes y curvas de radio mayor que 675 m | -- | 10 |
| Autopistas y carreteras de primer orden en curvas con radio mayor que 385 m pero menor que 675 m | -- | 12 |
| Rampas y lazos | 30 | 30 |
| Carreteras secundarias | 30 | 12 |

Cuando las irregularidades se excedan de 3 mm, pero sean menores que 13 mm, la superficie del pavimento puede corregirse por rebajado o fresado, cuidando solamente que no se produzca una superficie lisa. Si se excede este último valor, podrá corregirse la superficie con el procedimiento anterior si se encuentra dentro de las tolerancias relativas al espesor de la losa, o bien deberá ser demolido y reemplazado el tramo considerado.

Por lo que respecta al parámetro Índice de Perfil, en diversas investigaciones se ha comprobado que existe una correlación con el Índice de Servicio Actual (ISA), que se presenta en la tabla 15.

TABLA 15. CORRELACION ENTRE EL INDICE DE PERFIL Y EL INDICE DE SERVICIO ACTUAL.

| Indice de Perfil, pulg/milla | Indice de Servicio Actual (ISA) |
|------------------------------|---------------------------------|
| 3 | 4.8 |
| 7 | 4.5 |
| 12 | 4.3 |

Se ha encontrado por otra parte que es muy importante alcanzar el mayor valor de Indice de Perfil inicial, no solamente desde el punto de vista de la comodidad del usuario, sino porque con ello se incrementa la vida útil del pavimento. Por ejemplo la diferencia entre 4.8 y 4.3 de Indice de Perfil inicial, puede significar aproximadamente un 20% más de ejes acumulados de 8.2 ton.

Es conveniente señalar que los factores que concurren para obtener la calidad de rodamiento deseada en el proyecto, son los siguientes:

- Subrasante adecuada, bien construida y con características drenantes.
- Superficies firmes e indeformables para el movimiento de la máquina pavimentadora.
- Extremo cuidado en la instalación de las marcas de referencia
- Concreto uniforme y trabajable
- Proceso constructivo uniforme, sin interrupciones
- Control de la superficie terminada con perfilógrafo
- Aplicación de incentivos al Contratista para promover la obtención de calidad a nivel de excelencia.
- Equipo humano bien entrenado y consciente de su labor como grupo
- Proyecto adecuado

Resistencia al derrapamiento

Es un importante concepto relacionado con la seguridad del usuario y que depende de la textura alcanzada en el concreto fresco.

Se determinará la resistencia al derrapamiento con un dispositivo de medición continua y en condiciones de superficie mojada, del tipo Mu-meter o similar, debiendo cumplir con los valores indicados en la tabla 16.

TABLA 16. VALORES RECOMENDADOS DE RESISTENCIA AL
DERRAPAMIENTO
EN CONDICIONES DE SUPERFICIE MOJADA

| Tipo de vialidad | Velocidad de prueba, kph | Resistencia mínima al derrapamiento |
|---|--------------------------|-------------------------------------|
| Autopistas y carreteras de primer orden | 95 | 0.60 |
| | 65 | 0.70 |

La resistencia al derrapamiento depende del estado del equipo, de la experiencia del personal, de la buena ejecución de los trabajos de acabado y texturizado, así como de la calidad de los agregados y dosificación de la mezcla. En caso de no cumplir con los valores antes recomendados, deberá procederse a aplicar una técnica de rebajado o fresado en el tramo considerado.

8. ALCANCES DEL PROYECTO.

Además del diseño de la estructura del pavimento, el proyecto deberá contener además otros aspectos, que lo individualicen. Los aspectos antes citados son los siguientes, a manera enunciativa, pero no limitativa.

8.1 Especificaciones de calidad, características y tipo de los materiales y productos utilizados. Las especificaciones deberán tener en cuenta los conceptos fundamentales y permitan cumplir con los atributos propios de los pavimentos. deberán tener un carácter dinámico, pudiendo adecuarse a los cambios tecnológicos y a las necesidades prácticas detectadas mediante la evaluación periódica de los pavimentos y el seguimiento de su comportamiento.

8.2 Bancos de materiales, estableciéndose el tratamiento adecuado para la utilización de los materiales, incluyendo el caso de materiales reciclados. Deberá vigilarse que los Bancos propuestos dispongan de materiales con la calidad y volumen necesarios.

8.3 Principales lineamientos constructivos, estableciendo los aspectos que como mínimo deban cumplirse, sin que ello limite al Contratista de usar o proponer procedimientos que igualen o mejoren el nivel de calidad que se desea obtener, y sin liberarlo de su participación en la obra como el principal responsable de la calidad. Se indicará el tratamiento, manejo y utilización de los materiales de terracerías y de la superficie de apoyo del pavimento, espesores de las capas y grado de compactación, acabados, tolerancias,

aspectos relevantes del control de calidad durante la ejecución de la obra, condiciones para la apertura al tránsito, sanciones y bonificaciones al Contratista, etc. En casos especiales se indicará la conveniencia o necesidad de efectuar tramos de prueba.

8.4 El proyecto contendrá además los planos y gráficas necesarias para su mejor comprensión mostrando los detalles que presenten las relaciones de los pavimentos con los diferentes elementos urbanísticos.

8.5 Un aspecto importante que debe formar parte del proyecto, es el relativo a las características superficiales que debe presentar el pavimento al usuario, puesto que de ellas dependen factores tales como:

- resistencia al derrapamiento
- drenaje superficial (independiente de la pendiente transversal de la sección del pavimento).
- rugosidad
- desgaste de las llantas
- nivel del ruido
- cualidades ópticas
- apariencia.

Las características superficiales se clasifican según las longitudes de onda y amplitudes de las irregularidades, como se indica en la tabla 17, señalándose además la forma en que afectan la interacción del vehículo y el pavimento.

TABLA 17. IRREGULARIDADES SUPERFICIALES Y SU INTERACCION VEHICULO – PAVIMENTO.

| Concepto | Longitud de onda, mm | Aspecto en que influye |
|-----------------------|------------------------------------|--|
| Microtextura | $10^{-3} - 5 \times 10^{-1}$ | Adherencia y resistencia al deslizamiento, desgaste de llantas |
| Macrotextura | $5 \times 10^{-1} - 5 \times 10^1$ | Drenaje, resistencia al deslizamiento, propiedades ópticas, proyecciones de agua, ruido |
| Megatextura | $5 \times 10^1 - 5 \times 10^2$ | Resistencia al rodamiento, comodidad, ruido, desgaste del vehículo. |
| Defecto de planicidad | $> 5 \times 10^2$ | Resistencia al rodamiento, comodidad, estabilidad, cargas dinámicas, desgaste del vehículo |

Conviene mencionar que este aspecto debe ser considerado en el proyecto, ya que en buena medida, define el nivel de calidad del producto terminado que se ofrecerá al usuario.

8.6 Debe incluir también el proyecto las recomendaciones para el control de calidad durante la construcción, las limitaciones para la ejecución de los trabajos y finalmente la estrategia de mantenimiento para que el pavimento cumpla con sus funciones en el ciclo de vida previsto.

9. EVALUACION

Se describe como el conjunto de actividades que se realizan para determinar las condiciones estructurales y funcionales en que se encuentra un pavimento. Constituye un aspecto que ha adquirido una gran importancia en la tecnología de los pavimentos, que empieza desde la misma ejecución de obra, su puesta en operación y durante su ciclo de vida mediante mediciones periódicas del comportamiento del pavimento, investigando la evolución, en el tiempo y en el espacio, de los deterioros, capacidad estructural, calidad de rodamiento, seguridad y costos asociados a la conservación y operación del pavimento, por lo que tiene un importante papel dentro de la aplicación de los Sistemas de Administración de Pavimentos.

La información adquirida en el proceso de evaluación tiene aplicaciones en la verificación de la eficiencia con que el pavimento cumple con sus funciones desde el inicio del ciclo de vida, efectuar la planeación y programación racional de las obras de mantenimiento y rehabilitación a futuro, así como la introducción de mejoras tecnológicas en los aspectos de diseño, construcción, control de calidad, mantenimiento y operación, con énfasis en los aspectos económicos y de relaciones con el usuario, generando así mismo los aspectos relevantes que constituyan temas específicos de investigación

En el campo de la evaluación se ha desarrollado una importante tecnología para la auscultación de los pavimentos, mediante la aplicación de dispositivos clasificados dentro de la ejecución de pruebas no destructivas (NDT), como los presentados en la tabla 18, en la cual aparecen dispositivos de categoría convencional así como los que utilizan los más recientes conceptos tecnológicos, electrónica, rayos laser, radar, etc., gracias a lo cual es posible obtener información con alta densidad de medidas, registro continuo y en algunos de ellos captada a las velocidades de operación del pavimento. La selección de los dispositivos por emplear depende de la política establecida por el Organismo, tomando en cuenta su propia organización, manejo de datos, costo de los equipos y de su operación, etc.

Las características que se evalúan generalmente son las deformaciones en coincidencia con las rodadas (roderas), agrietamientos, rugosidad, resistencia al derrapamiento, así como las características físicas y mecánicas de los materiales, incluyendo su respuesta bajo la acción de cargas.

Tabla 18. ALGUNOS DISPOSITIVOS PARA EVALUACION DE PAVIMENTOS MEDIANTE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (NDT)

| Aspecto por investigar | Dispositivo |
|---|---|
| Control de compactación, contenido de agua o asfalto | Densímetro nuclear |
| Resistencia de las capas subrasante, subbase y base, respuesta a la aplicación de cargas estáticas | CBR in situ Prueba de placa Viga Benkelman |
| Módulos elásticos obtenidos mediante las deformaciones producidas por cargas dinámicas | Dynalect (FWD) deflectómetro de impacto |
| Espesor de las capas de la estructura del pavimento | Radar de penetración terrestre (RPT) |
| Estado superficial, determinación de deterioros | Gerpho |
| Características superficiales: Microtextura Macrotextura Resistencia al derrapamiento Rugosidad Perfil transversal | Péndulo de fricción Prueba de la mancha de arena Mumeter Perfilógrafo de California Mays Ride Meter Road surface Tester (RST) Perfilógrafo LCPC Perfilógrafo Laser |

10. ESTADO ACTUAL Y FUTURO.

El estado actual y futuro de la tecnología de pavimentos se enfrenta a grandes retos debido a que se están presentando nuevas condiciones y necesidades, derivadas de las características impuestas por los escenarios sociales, económicos y tecnológicos en que se desarrolla la vida moderna.

Un aspecto muy interesante es el originado por los importantes incrementos en el número y en el peso de los vehículos de mayor carga, así como en los avances de la industria automotriz. Esto ha generado la necesidad de introducir nuevos materiales, más resistentes y durables, así como nuevas

estructuras o tipos de pavimentos, lo que además necesita de mejores modelos matemáticos para poder considerar la presencia de tales materiales en el diseño de los pavimentos. Entre estos nuevos materiales pueden considerarse los modificadores asfálticos, geotextiles, agentes estabilizadores, etc., y en las nuevas tecnologías los conceptos reológicos de los materiales, módulos elásticos, etc., así como la utilización de programas de computación más avanzados y los sistemas expertos.

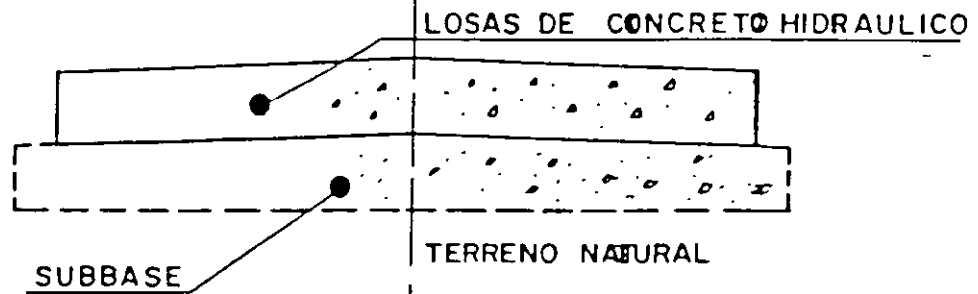
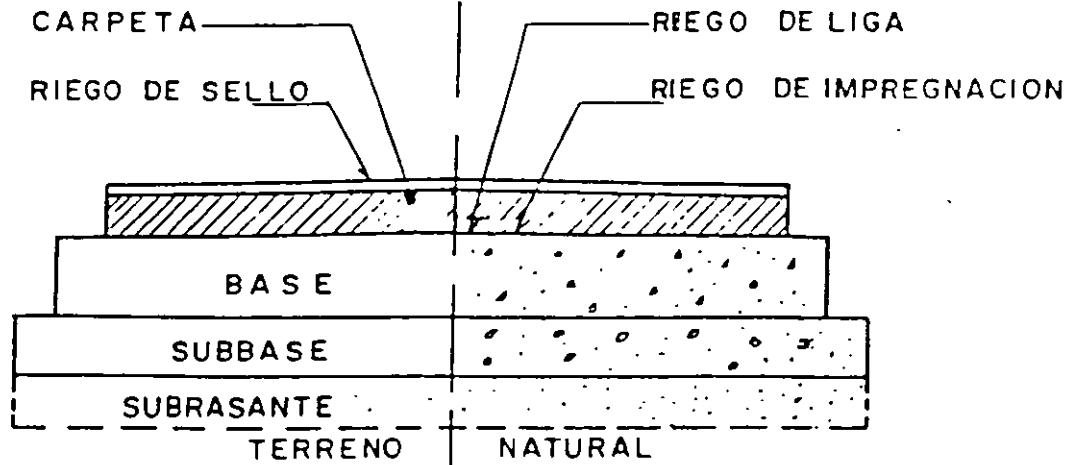
Con respecto a la interacción del pavimento con el usuario, debe mencionarse que éste se vuelve más exigente, deseando umbrales de aceptación más altos, lo cual modificará los estándares de calidad actuales, de manera que lo que ahora parecen con niveles de excelencia, en poco tiempo serán considerados como de nivel medio. Se deberá dar más importancia a las características superficiales del pavimento que controlan la comodidad, la resistencia al derrapamiento, al desgaste de las llantas y del vehículo, así como al ruido tanto en el interior como en el exterior del vehículo. En este último aspecto, se deberán controlar los niveles de ruido y contaminación ambiental en el entorno, con disposiciones y medidas de mayor cobertura.

En cuanto a los materiales, deberán también quedar sujetos a mejores controles y estándares de calidad, requiriéndose de la aplicación de los conceptos de calidad total y aseguramiento de la calidad. Un aspecto que preocupa actualmente es el consumo de energía para la producción de los materiales y de su puesta en obra, efectuándose análisis tanto de su costo, como de la energía gastada en obtenerlos. De igual manera se investigan las condiciones de comportamiento de los materiales a largo plazo, lo que da lugar a la elaboración de especificaciones que toman en cuenta esta propiedad. Ante la carencia de buenos materiales, se investiga también sobre la utilización de materiales fuera de especificaciones, materiales alternativos y técnicas de reciclado. Este aspecto se encuentra muy ligado al problema de refuerzo de los pavimentos antiguos, ante el incremento de las cargas y sus repeticiones, debiendo desarrollar las técnicas de evaluación, análisis y diagnóstico, así como las técnicas de diseño del refuerzo necesario para adicionales ciclos de vida.

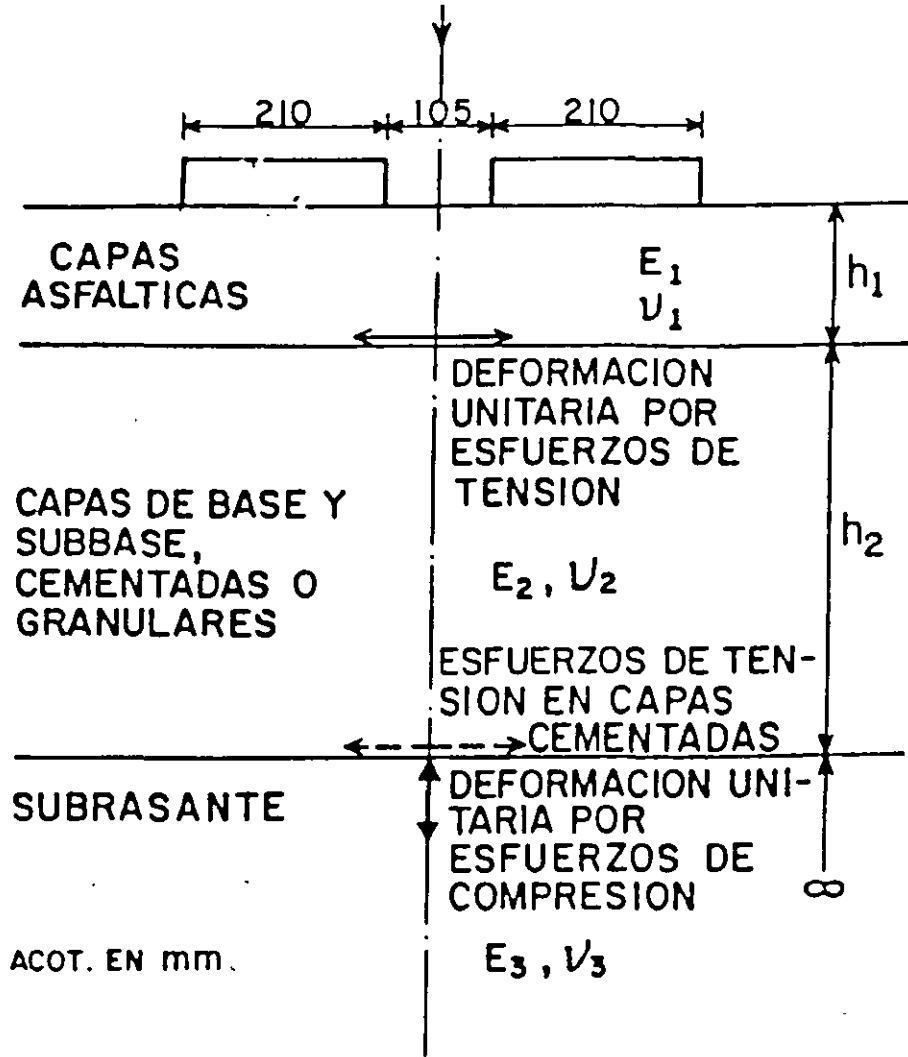
En el campo de la construcción también ha habido y habrá cambios importantes. Los equipos y maquinaria son más potentes y versátiles, se ha desarrollado el concepto de máquinas inteligentes, con cada vez mayor participación de la electrónica y la robotización, así como de dispositivos más sensibles que permiten obtener mejores condiciones de acabado superficial, como sensores eléctricos, rayos laser, radar, etc. Es importante también en el aspecto constructivo, definir adecuadamente la logística de la obra, con el objetivo de evitar interrupciones en la secuencia de construcción, por su efecto sobre las condiciones superficiales del pavimento y en su calidad general.

Finalmente debe hacerse mención a la utilización de los sistemas de administración de pavimentos, capacitados para considerar la presencia de nuevos materiales y estructuras del pavimento, los costos principalmente los de operación, así como diferentes ciclos de vida. Están capacitados para efectuar análisis de sensibilidad para diferentes escenarios de economía, de políticas de mantenimiento y de variabilidad en los materiales, en el tránsito y en la construcción, permitiendo así presentar la mejor información posible que permita tomar las soluciones adecuadas con la máxima eficiencia de los recursos disponibles.

ESTRUCTURAS
PAVIMENTO ASFALTICO
(FLEXIBLE)



PAVIMENTO DE CONCRETO
(RIGIDO)



CARGA DE RUEDA DOBLE DE UN EJE ESTANDAR DE 8.2 TON(80KN)

PAVIMENTO: SUPERESTRUCTURA DE UNA OBRA VIAL QUE HACE POSIBLE EL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS CON LA COMODIDAD, SEGURIDAD, EFICIENCIA, ECONOMÍA Y EN EL PLAZO PREVISTOS EN EL PROYECTO

- ATRIBUTOS:**
- a) CAPACIDAD PARA SOPORTAR LAS CARGAS
 - b) RESISTENCIA ADECUADA AL DERRAPAMIENTO
 - c) REGULARIDAD SUPERFICIAL LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL
 - d) RÁPIDA ELIMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL
 - e) BAJO NIVEL DE RUIDO
 - f) BAJO NIVEL DE DESGASTE DE LAS LLANTAS
 - g) ADECUADAS PROPIEDADES DE REFLEXIÓN LUMINOSA
 - h) APARIENCIA AGRADABLE

IMPORTANTE: RELACIÓN PROYECTO - CONSTRUCCIÓN-SUPERVISIÓN

CONCEPTOS ESTABLECIDOS A PARTIR DE LA PRUEBA AASHO

- DIFERENCIACION ENTRE FALLA ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL
- INDICE DE SERVICIO Y CALIFICACION ACTUAL
- NIVEL DE RECHAZO
- COMPORTAMIENTO
- INDICE DE ESPESOR
- CARGA EQUIVALENTE

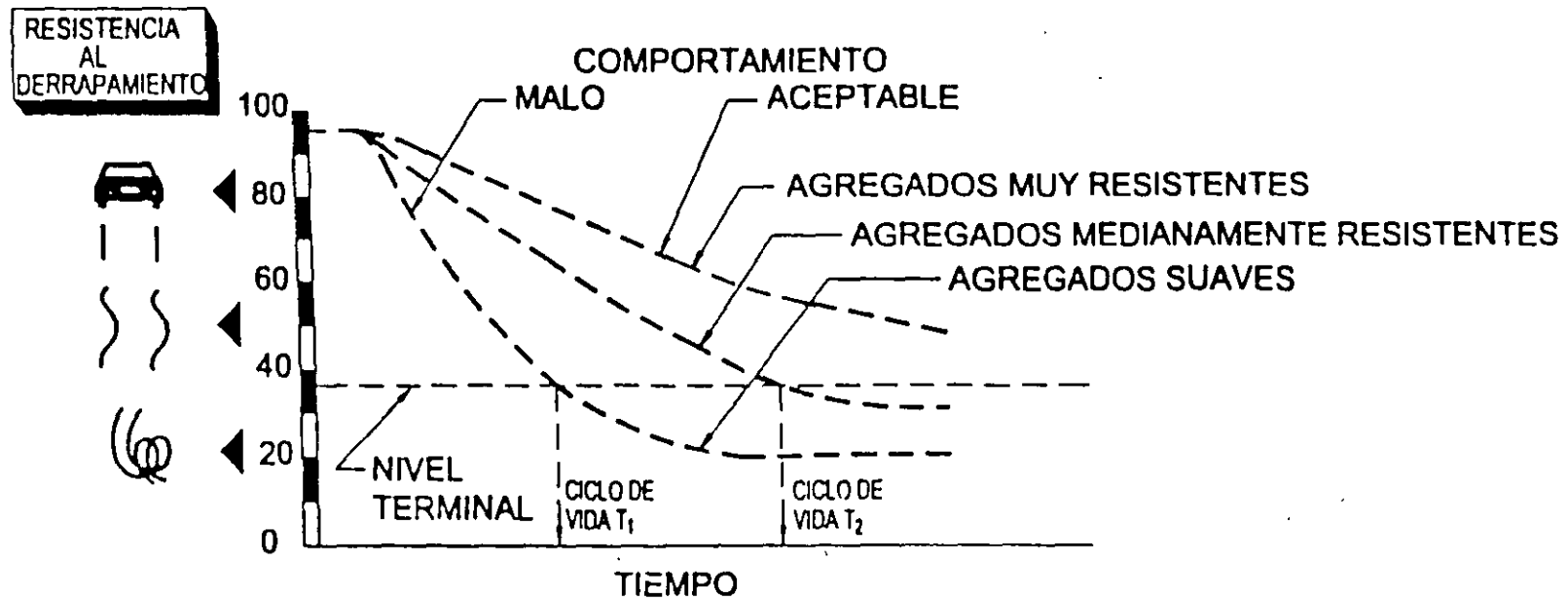
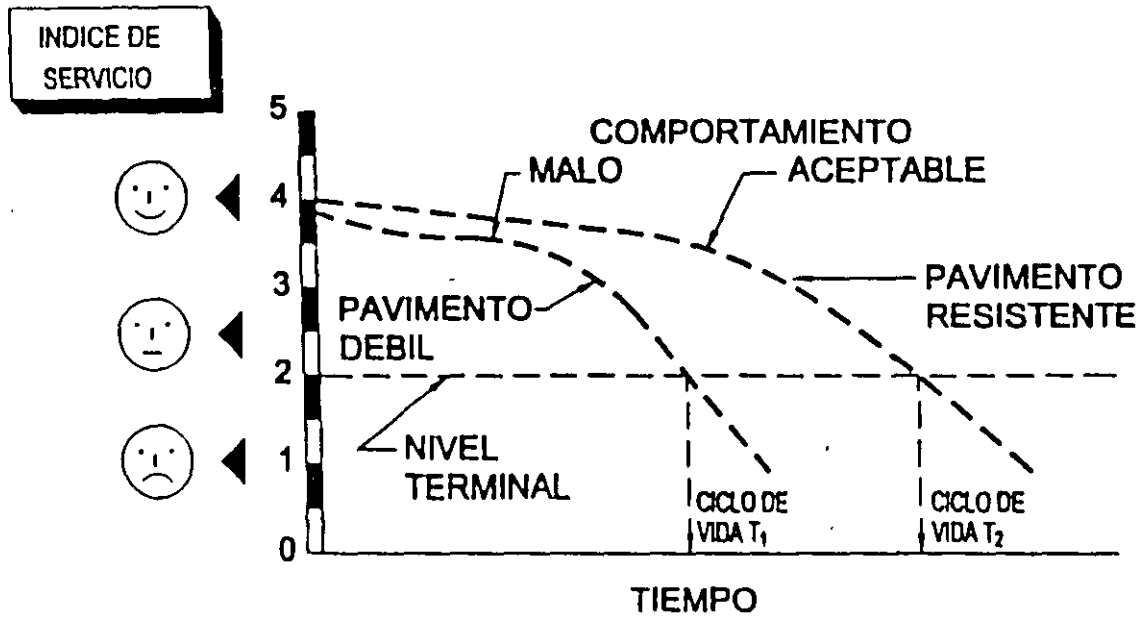


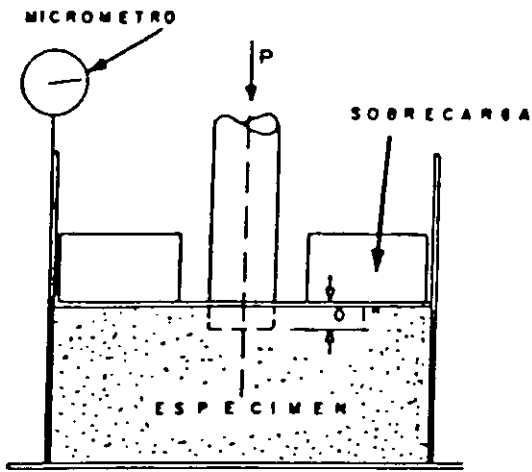
FIG. 1.- CURVAS DE DEGRADACION DEL PAVIMENTO EN COMODIDAD Y SEGURIDAD

ATRIBUTOS DE LOS PAVIMENTOS

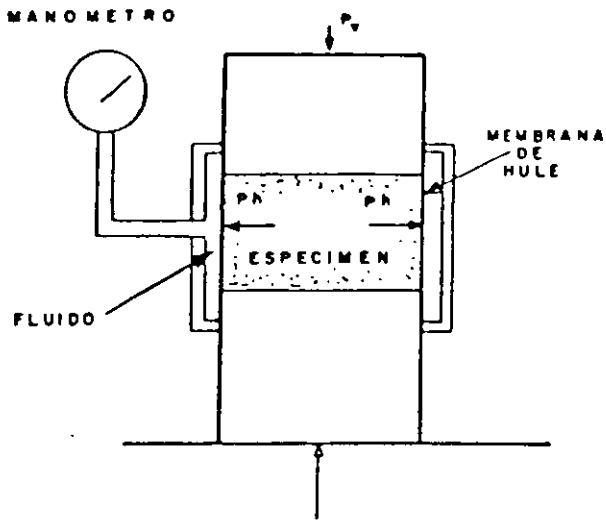
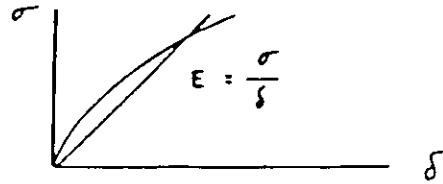
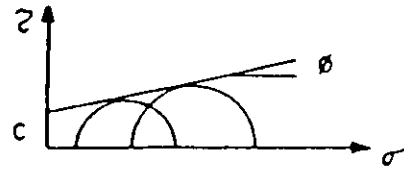
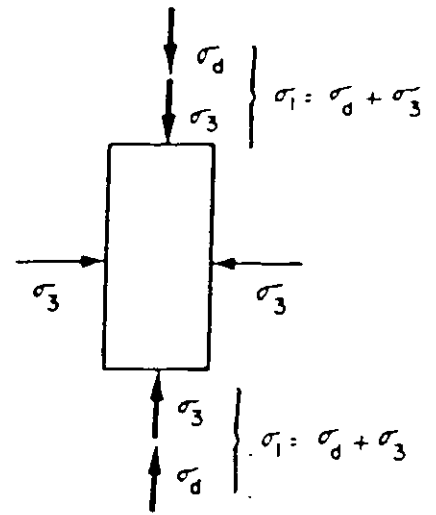
- SEGURIDAD
- COMODIDAD
- EFICIENCIA
- ECONOMIA

FACTORES QUE AFECTAN A LA VIDA UTIL DE UN PAVIMENTO

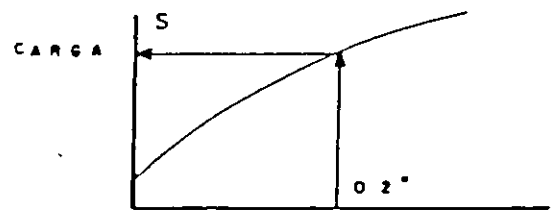
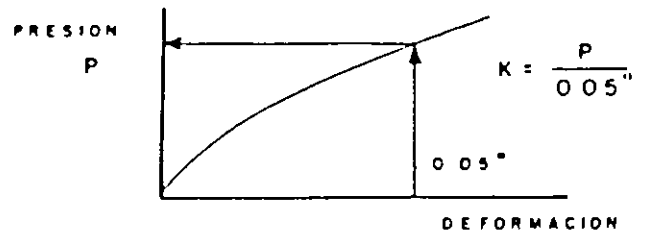
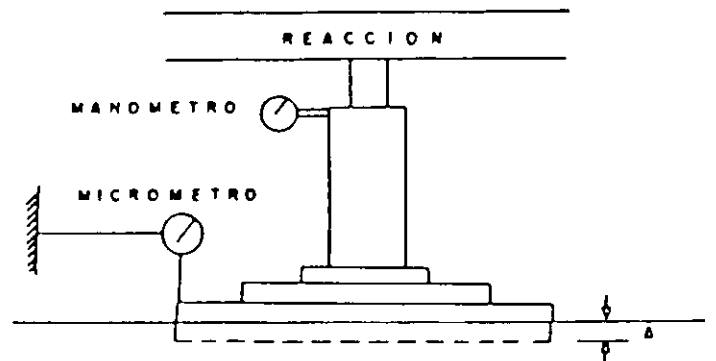
- TRANSITO
- MEDIO AMBIENTE
- CALIDAD DE LOS MATERIALES
- RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE
- CONDICIONES DE DRENAJE
- CALIDAD DE LA CONSTRUCCION
- NIVEL DE MANTENIMIENTO



$$CBR = \frac{P_{0.1}}{1360 \text{ Kg.}} \times 100$$



$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v} \right) 100$$



DEFORMACION PROMEDIO PARA 10 REPETICIONES

$$M_r = \sigma_d / \epsilon_r$$

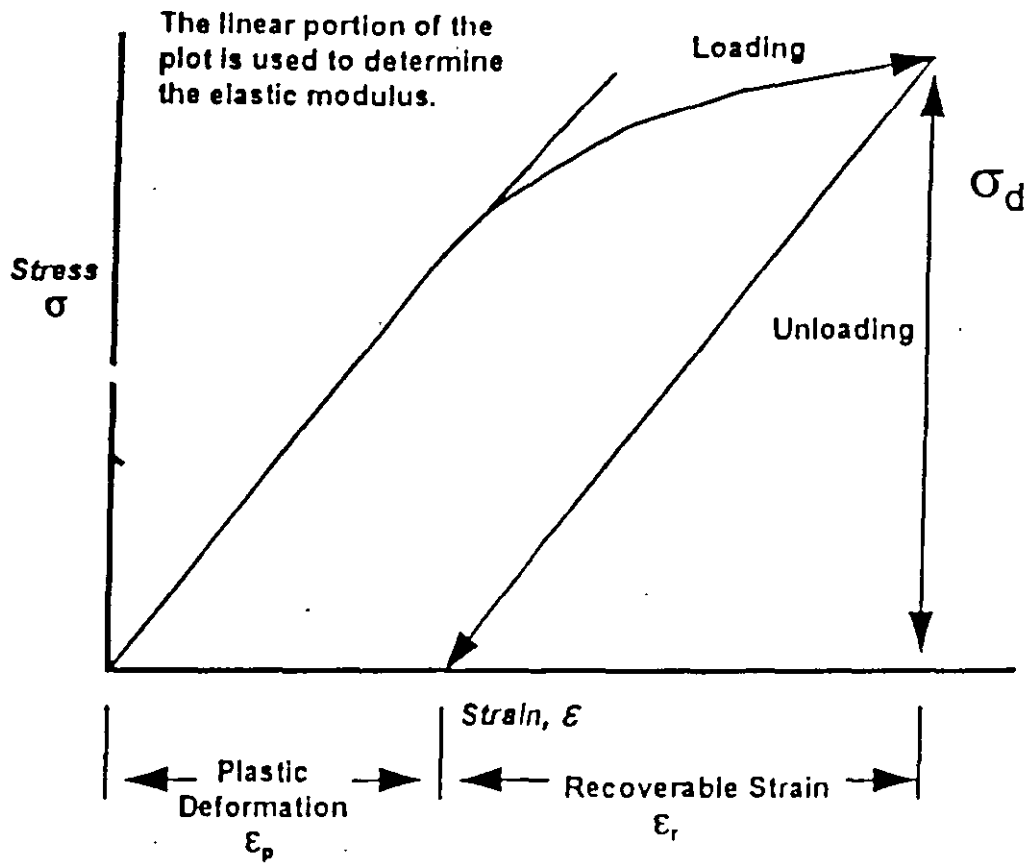


Figure 2.4 - Resilient Modulus (M_r) for a Plastic Material

Typical values of modulus of elasticity for various materials include

| Material | E | |
|------------|---------------------|--------------|
| | (psi) | (MPa) |
| o Rubber | 1,000 | 7 |
| o Wood | 1,000,000-2,000,000 | 7,000-14,000 |
| o Aluminum | 10,000,000 | 70,000 |
| o Steel | 30,000,000 | 200,000 |
| o Diamond | 170,000,000 | 1,200,000 |

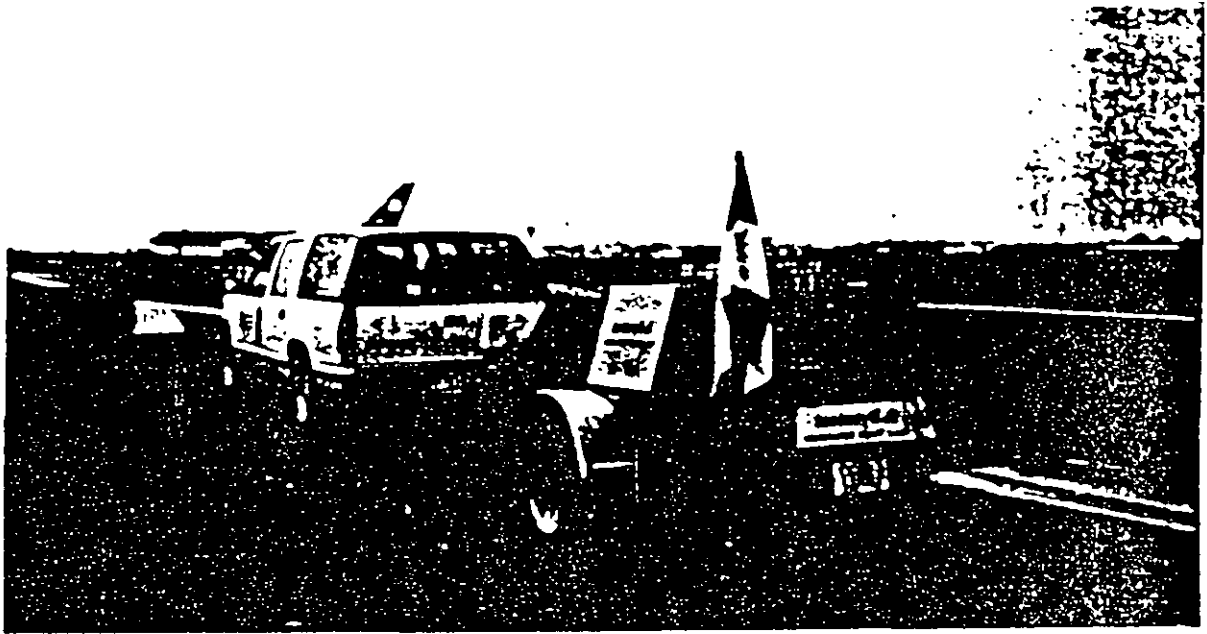
Typical pavement materials

| Material | E | |
|-----------------------------------|---------------------|---------------|
| | (psi) | (MPa) |
| o Asphalt Concrete (32°F (0°C)) | 3,000,000 | 21,000 |
| o Asphalt Concrete (70°F (21°C)) | 500,000 | 3,500 |
| o Asphalt Concrete (120°F (49°C)) | 20,000 | 150 |
| o Crushed Stone | 20,000-100,000 | 150-750 |
| o Sandy Soils | 5,000-30,000 | 35-210 |
| o Silty Soils | 5,000-20,000 | 35-150 |
| o Clayey Soils | 5,000-15,000 | 35-100 |
| o Stabilized Soils | 5,000-3,000,000 | 35-21,000 |
| o Portland Cement Concrete | 3,000,000-8,000,000 | 20,000-56,000 |

Typical values of Poisson's ratio (μ) include:

| Material | Poisson's Ratio |
|------------------------|-----------------|
| o Steel | 0.25 - 0.30 |
| o Aluminum | 0.33 |
| o PCC | 0.15 - 0.20* |
| o Flexible Pavement | |
| o Asphalt Concrete | 0.35 (\pm) |
| o Crushed Stone | 0.40 (\pm) |
| o Soils (fine-grained) | 0.45 (\pm) |

*Dynamic determination of μ could approach 0.25 for PCC [Neville (1.4)]



NÚMERO ESTRUCTURAL SN=3
NIVEL DE RECHAZO, PI = 2.5

FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE

EJES SENCILLOS

EJES TANDEM

EJES TRIPLES

CARGA POR EJE, TONELADAS

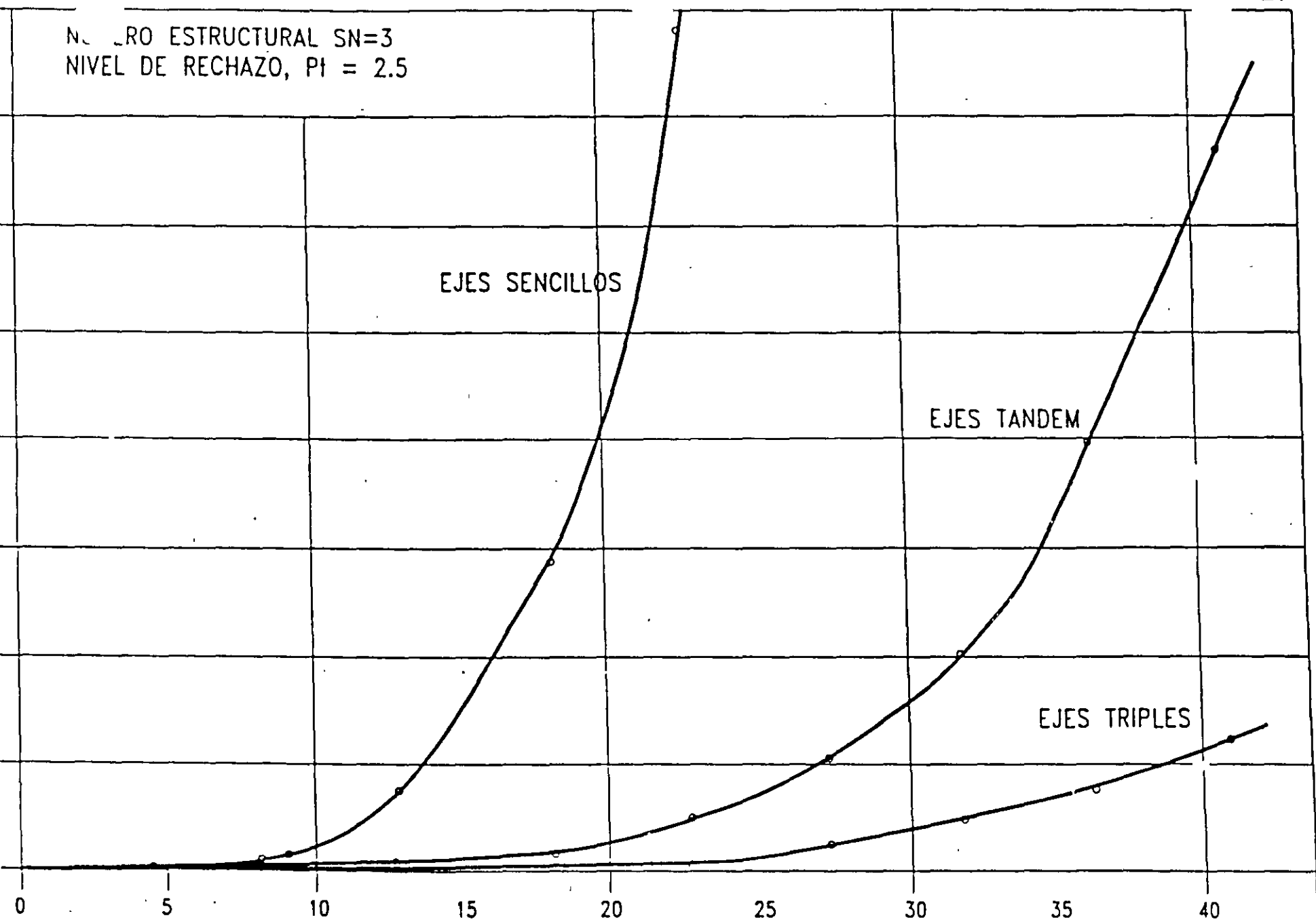
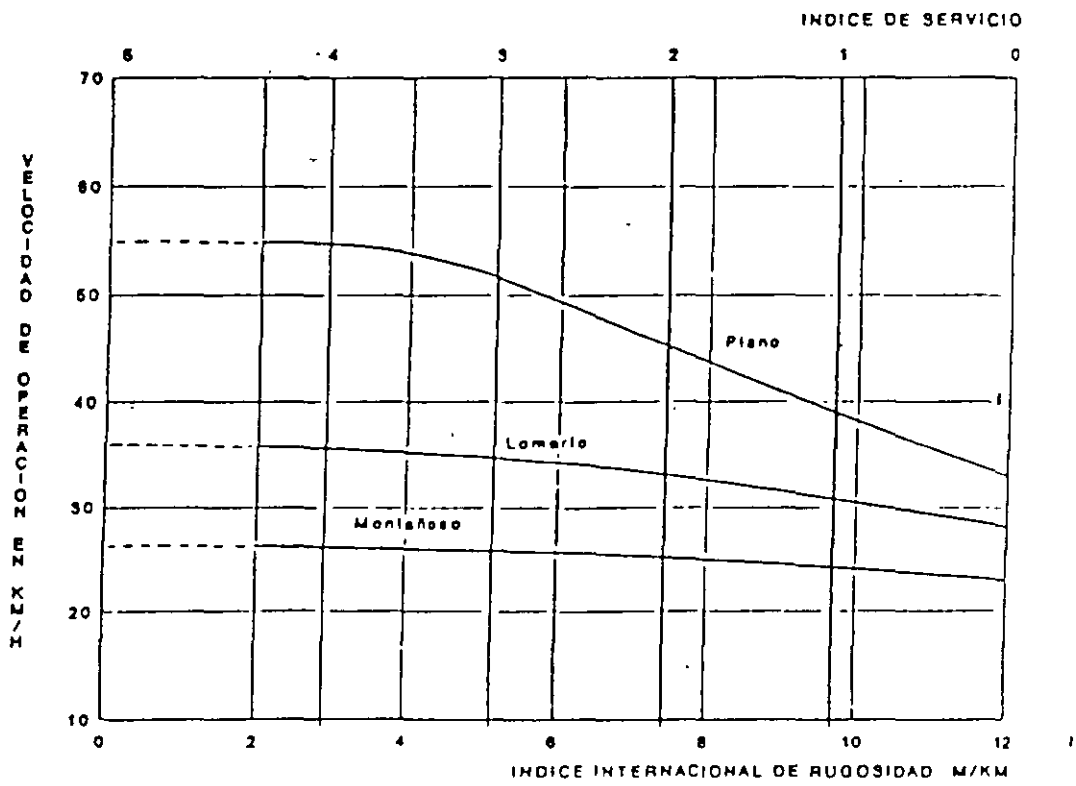
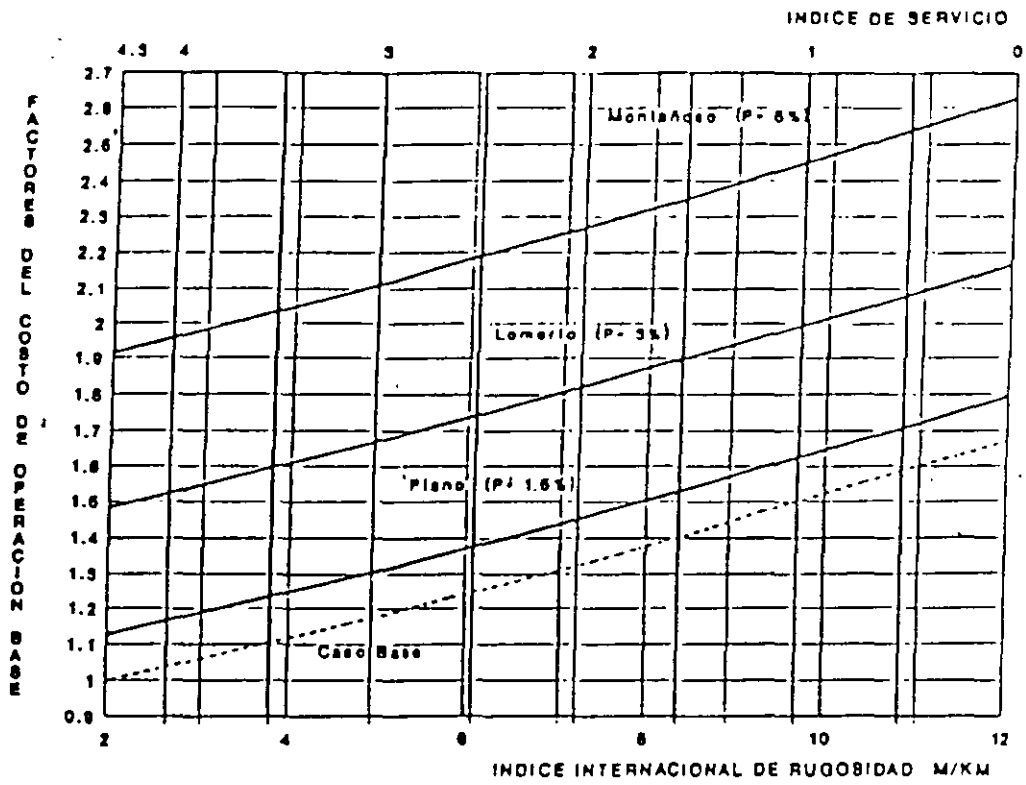


TABLA 2. TIPOLOGÍA DE VEHICULOS AUTORIZADOS POR LA SCT PARA CIRCULAR POR LAS CARRETERAS NACIONALES

| Vehículo | Designación | Peso por eje, ton | | | | |
|--|-------------|-------------------|--------|--------|--------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Automóvil | A2 | 1.0 | 1.0 | | | |
| Camión ligero con capacidad de carga hasta de 3 ton. | A'2 | 1.7 | 3.8 | | | |
| Autobús de dos ejes | B2 | 5.5 | 10.0 | | | |
| Autobús de tres ejes | B3 | 5.5 | 14.0 D | | | |
| Autobús de cuatro ejes | B4 | 7.0 D | 14.0-D | | | |
| Camión de dos ejes | C2 | 5.5 | 10.0 | | | |
| Camión de tres ejes | C3 | 5.5 | 18.0-D | | | |
| Camión de cuatro ejes | C4 | 5.5 | 22.5-T | | | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje | T2-S1 | 5.5 | 10.0 | 10.0 | | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes | T2-S2 | 5.5 | 10.0 | 18.0-D | | |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes | T3-S2 | 5.5 | 18.0-D | 18.0-D | | |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de tres ejes | T3-S3 | 5.5 | 18.0-D | 22.5-T | | |
| Camión de dos ejes con remolque de dos ejes | C2-R2 | 5.5 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | |
| Camión de tres ejes con remolque de dos ejes | C3-R2 | 5.5 | 18.0-D | 10.0 | 10.0 | |
| Camión de tres ejes con remolque de tres ejes | C3-R3 | 5.5 | 18.0-D | 10.0 | 18.0-D | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes | T2-S1-R2 | 5.5 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes | T2-S2-R2 | 5.5 | 10.0 | 18.0-D | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes | T3-S1-R2 | 5.5 | 18.0-D | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes | T3-S2-R2 | 5.5 | 18.0-D | 18.0-D | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de tres ejes | T3-S2-R3 | 5.5 | 18.0 | 18.0 | 10.0 | 10.0 |
| Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes | T3-S2-R4 | 5.5 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 |

CAMION ARTICULADO



TRAFFIC

Pavement & Traffic Factors
 E 18 Determination by Axle Da
 E 18 Determination by Vehicle

PAVEMENT & TRAFFIC FACTORS

Rigid Thickness: 12.00
 Flexible SN: 5.00
 Terminal Serviceability: 2.50
 Design Life: 15.00
 Annual Growth Rate: 4.00

UNITS
 Inches

09-18-1995

State: EJEMPLO DE CLASE
 Agency: CENTRO DE EDUCACION CONT
 Company: UNAM
 Contractor:
 Engineer: LANDEROS

Job Number: PROYECTO
 Location:

===== Traffic Conversion To E 18's =====
 E 18 CONVERSION FROM AXLE DATA

Estimated: Rigid Depth = 12.00 Structural Number = 5.00 Pt = 2.50
 Annual Growth Rate = 4.00
 Design Life = 15.00

| Input Number | Axle Type | Axle Weight | Annual Number | Rigid E 18's | Flexible E 18's |
|--------------|-----------|-------------|---------------|--------------|-----------------|
| 1 | 1 | 2.20 | 2,452,800 | 13,216 | 12,267 |
| 2 | 1 | 12.13 | 21,900 | 79,565 | 86,624 |
| 3 | 1 | 22.05 | 21,900 | 1,065,406 | 964,441 |
| 4 | 1 | 12.13 | 65,700 | 238,695 | 259,873 |
| 5 | 2 | 30.86 | 65,700 | 1,700,683 | 972,898 |
| 6 | 1 | 12.13 | 58,400 | 212,174 | 230,998 |
| 7 | 1 | 22.05 | 58,400 | 2,841,083 | 2,571,812 |
| 8 | 1 | 12.13 | 51,100 | 185,652 | 272,124 |
| 9 | 2 | 39.68 | 51,100 | 3,931,895 | 2,063,933 |
| 10 | 1 | 12.13 | 21,900 | 79,565 | 86,624 |
| 11 | 2 | 39.68 | 21,900 | 1,685,098 | 884,543 |
| 12 | 2 | 39.68 | 21,900 | 1,685,098 | 884,543 |
| 13 | 1 | 12.13 | 14,600 | 53,043 | 57,750 |
| 14 | 2 | 39.68 | 14,600 | 1,123,398 | 589,695 |
| 15 | 3 | 49.60 | 14,600 | 872,714 | 344,850 |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |

Sum = 15,767,285 10,213,005

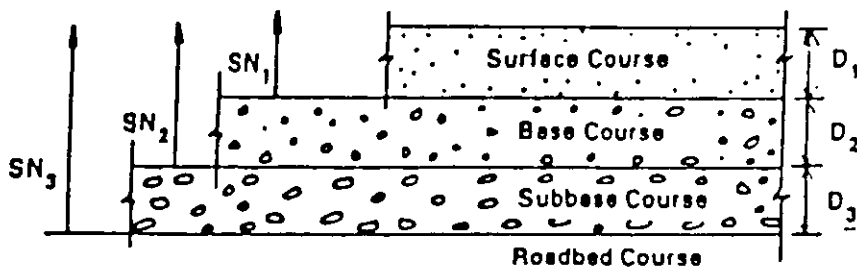
Key: 1-Single 2-Tandem 3-Tridem

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

where

- a_1, a_2, a_3 = layer coefficients representative of surface, base, and subbase courses, respectively (see Section 2.3.5),
 D_1, D_2, D_3 = actual thicknesses (in inches) of surface, base, and subbase courses, respectively, and
 m_2, m_3 = drainage coefficients for base and subbase layers, respectively (see Section 2.4.1).

| Traffic, ESAL's | Minimum Thickness (inches) | |
|------------------------|----------------------------|----------------|
| | Asphalt Concrete | Aggregate Base |
| Less than 50,000 | 1.0 (or surface treatment) | 4 |
| 50,001-150,000 | 2.0 | 4 |
| 150,001-500,000 | 2.5 | 4 |
| 500,001-2,000,000 | 3.0 | 6 |
| 2,000,001-7,000,000 | 3.5 | 6 |
| Greater than 7,000,000 | 4.0 | 6 |



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

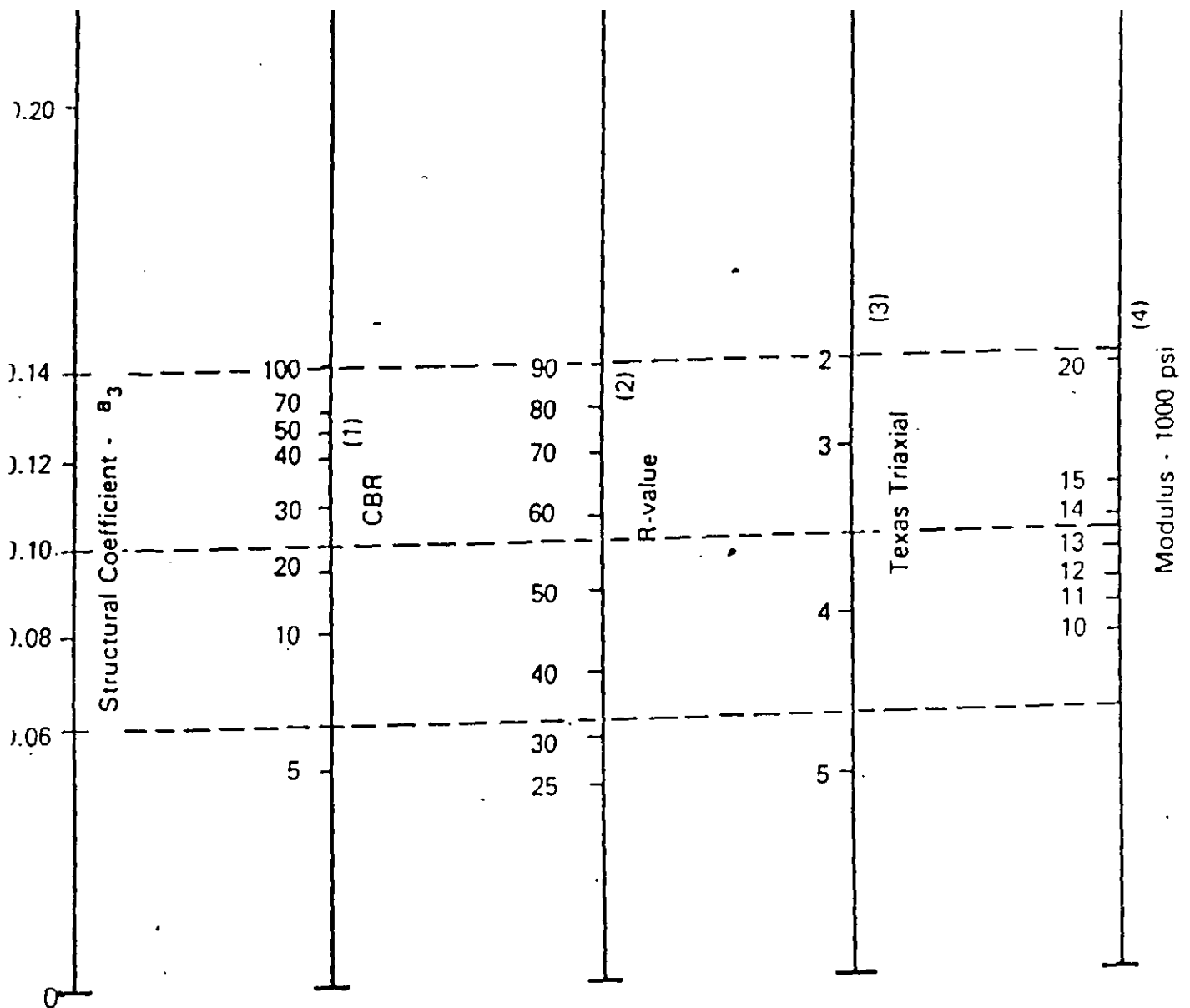
$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

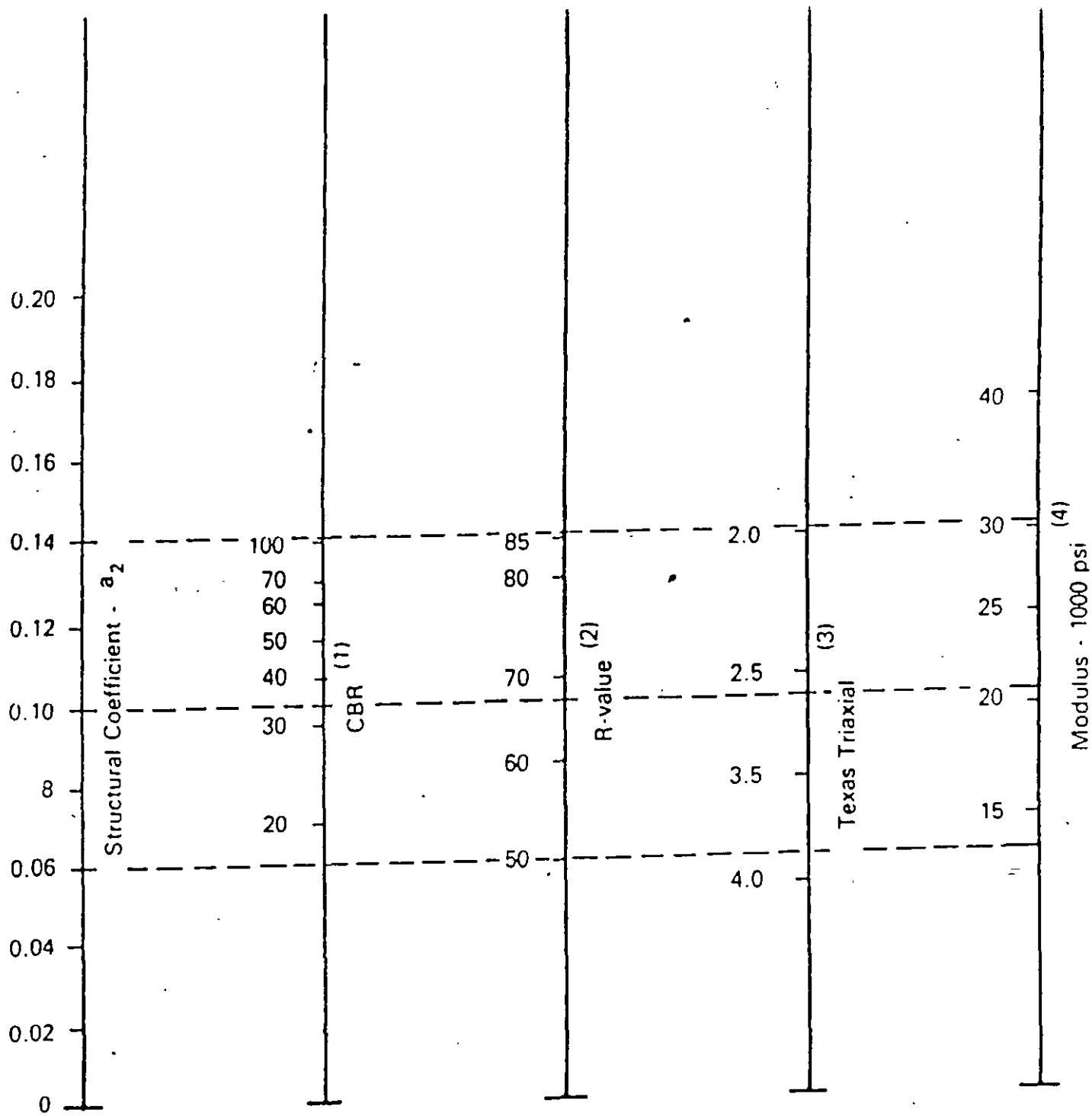
- 1) a, D, m and SN are as defined in the text and are minimum required values.
- 2) An asterisk with D or SN indicates that it represents the value actually used, which must be equal to or greater than the required value.

Figure 3.2. Procedure for Determining Thicknesses of Layers Using a Layered Analysis Approach



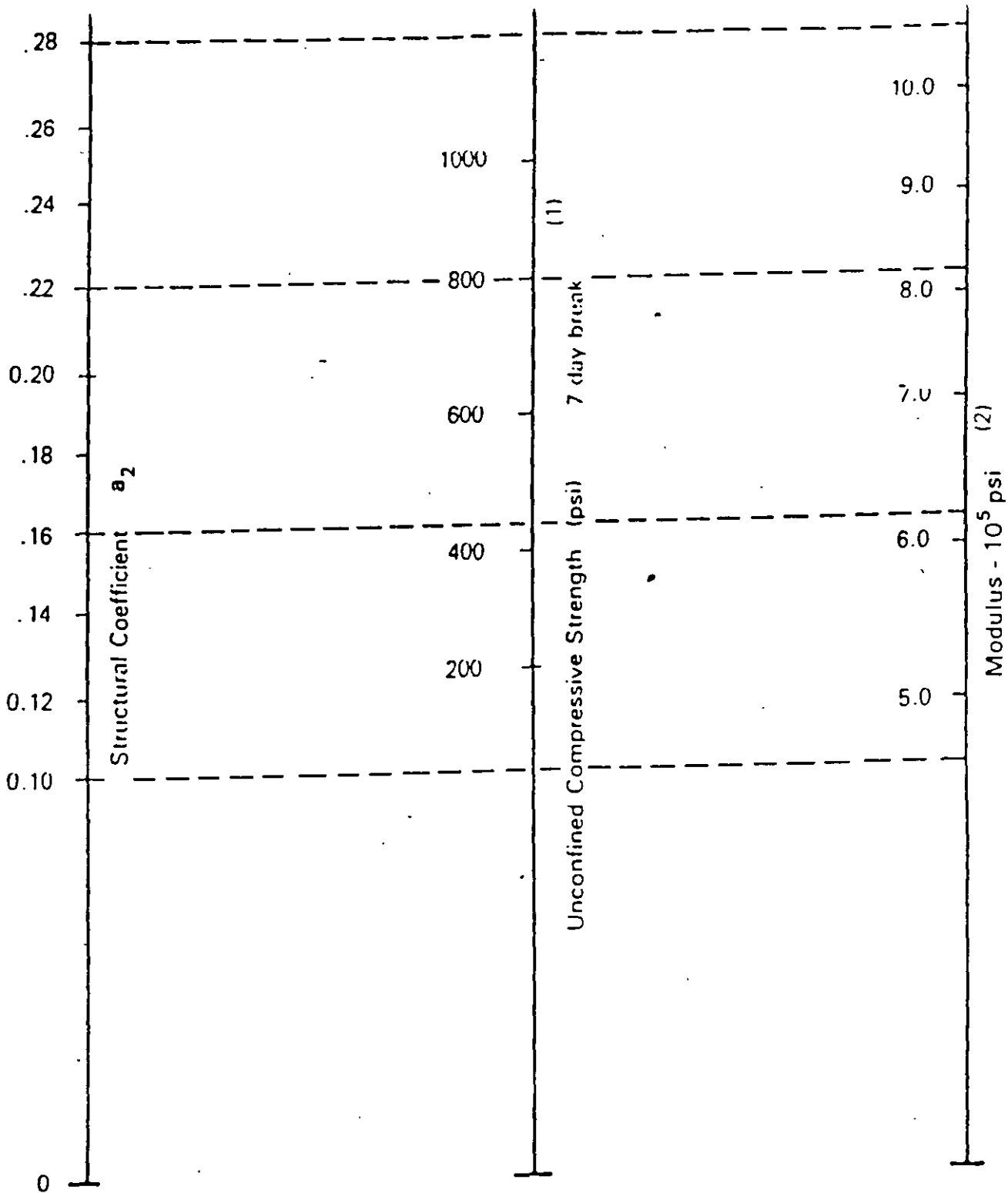
- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (3)



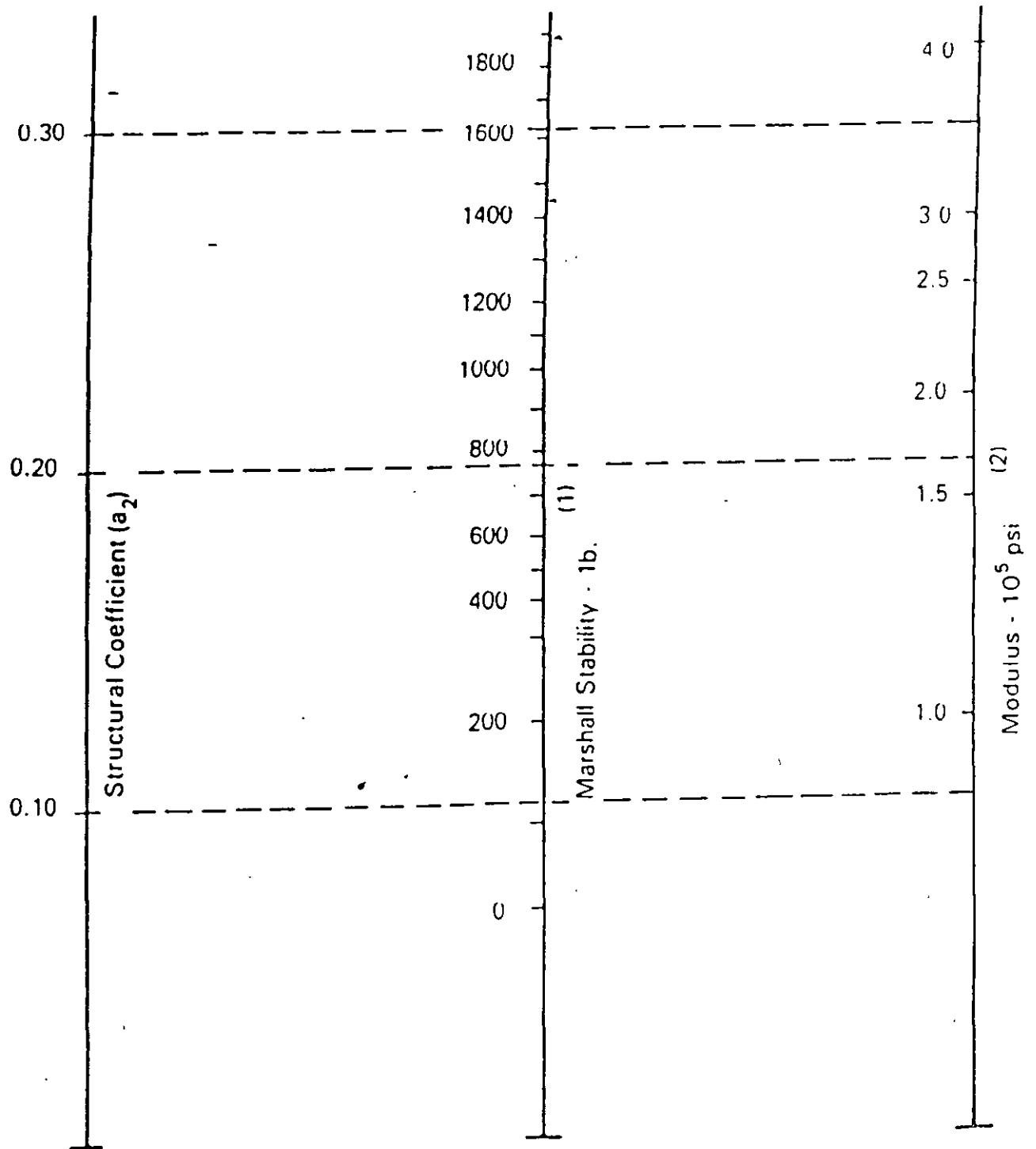
- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (3)



- (1) Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas.
- (2) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.8. Variation in a_2 for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)



(1) Scale derived by correlation obtained from Illinois.

(2) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.9. Variation in a_2 for Bituminous-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)

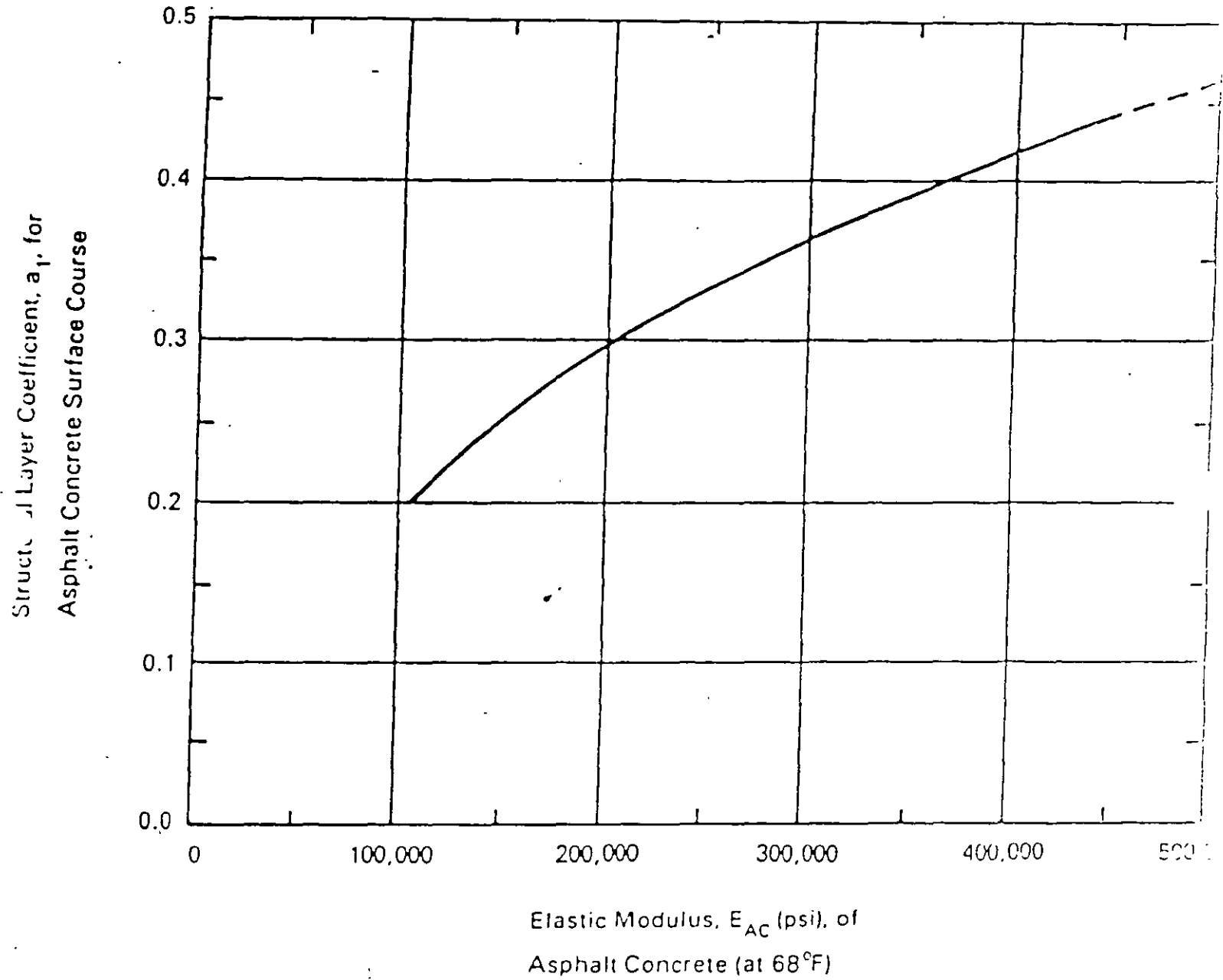


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

TABLA 4.- CATALOGO DE SECCIONES DE FIRME

| TRAFICO | T 0 | | | | | | | | | | | | | T 1 | | | | | | | | | | | | | T 2 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| | NO CONSIDERADAS | | | | | | | | | | | | | NO CONSIDERADAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SECCION N° | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | | | | |
| HORMIGON VIBRADO | | | | | | 28 | 28 | | | | | | | | | | 25 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEZCLAS BITUMINOSAS | 35 | 30 | 30 | 15 | 10 | | | 35 | 30 | 27 | 15 | 10 | | | | | | | | | 30 | 25 | 22 | 15 | 10 | | | | | | | | | | | | 30 | 25 | 18 | 12 | 8 |
| HORMIGON COMPACTADO | | | | | | 25 | | | | | | | | | | | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 20 | | | | | | |
| HORMIGON MAGRO | | | | | | 15 | | | | | | | | | | | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 15 | | | | | | |
| GRAVA CEMENTO | | | | | | 25 | | 15 | | | | 22 | 15 | | | | | 22 | | 15 | | 20 | | 15 | | | | | | | | 20 | | 15 | | | 20 | | 15 | | |
| SUELO CEMENTO | | | | | | 20 | 20 | 20 | | | | 20 | 20 | 20 | | | | | | | 20 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | 22 | 20 | 20 | | | 20 | 15 | 15 |
| ZAHORRA ARTIFICIAL | 20 | 25 | | | | | | | | | 25 | | | | | | | | | 25 | | | | | | | | | | | | 25 | 25 | | | | | 20 | 25 | | |
| ZAHORRA NATURAL | | 25 | | | | | | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25 | | | | | | | |
| EXPLANADA | E 1 | | | E 2 | | | | E 3 | | | | | | E 1 | | | E 2 | | | | E 3 | | | | | | E 1 | | | E 2 | | | | E 3 | | | | | | | |

| TRAFICO | T 3 | | | | | | | | | | | | | | | | T 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | NO CONSIDERADAS | | | | | | | | | | | | | | | | NO CONSIDERADAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SECCION N° | 311 | 312 | 313 | 314 | 315 | 316 | 321 | 322 | 323 | 324 | 328 | 326 | 331 | 332 | 333 | 334 | 338 | 336 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 416 | 421 | 422 | 423 | 424 | 425 | 426 | 431 | 432 | 433 | 434 | 435 | 436 | | |
| HORMIGON VIBRADO | | | | | | 21 | | | | | | | 21 | | | | | 21 | | | | | | | 20 | | | | | | | | | | | | | 20 |
| MEZCLAS BITUMINOSAS | 20 | 18 | 12 | 6 | * | | 18 | 15 | 12 | 6 | * | | 18 | 15 | 12 | 6 | * | 5 | TS | 8 | 6 | * | | 5 | TS | 8 | 6 | * | | 5 | TS | 8 | 6 | * | | | | |
| HORMIGON COMPACTADO | | | | | | 20 | | | | | | 20 | | | | | 20 | | | | | | | 20 | | | | | | | | | | | | 20 | | |
| GRAVA CEMENTO | | | | | 18 | | | | | 18 | | | | | | 20 | | | | | | | 18 | | | | | | | | | | | 18 | | | | |
| SUELO CEMENTO | | | 25 | 20 | 15 | | | | | 22 | 15 | 15 | | | | 22 | | | | | | | 25 | 15 | | | | | | | | | 22 | | | | 22 | |
| ZAHORRA ARTIFICIAL | 25 | 25 | | | | | 25 | 25 | | | | | 25 | | | | | 30 | 30 | | | | | | 20 | 20 | | | | | | | 30 | 30 | | | | |
| ZAHORRA NATURAL | 25 | 20 | | | | 20 | | | | 25 | | | | | | | | 20 | 25 | 20 | | | | 20 | 20 | 20 | 25 | | | | | | | | | | | |
| EXPLANADA | E 1 | | | | E 2 | | | | | | | | E 3 | | | | E 1 | | | | E 2 | | | | | | | | E 3 | | | | | | | | | |

TS = Tratamiento superficial mediante riegos con gravilla.
 * = TS ó 4 cm. de M.B.
 ** = Sólo con explanada con superficie estabilizada

(2)

ALCANCES DEL PROYECTO

1. SECCIONES ESTRUCTURALES Y DIMENSIONAMIENTO
2. TIPO Y UBICACIÓN DE JUNTAS
3. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO
4. NORMAS DE CALIDAD Y LINEAMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN
5. BANCOS DE MATERIALES
6. CARACTERÍSTICAS Y TRATAMIENTOS DE LA SUPERFICIE DE APOYO
7. ACABADO, TEXTURIZADO, CURADO, SERRADO Y SELLADO DE JUNTAS.
8. NORMATIVA DE CONTROL DE CALIDAD
9. TOLERANCIAS
10. APERTURA AL TRÁNSITO

- = CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE DE APOYO GEOMÉTRICA Y TOLERANCIAS
- = TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE APOYO. CAPAS SEPARADORAS, RIEGOS, ETC.
- = CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO
- = CARACTERÍSTICAS DE LAS LOSAS DE CONCRETO. FORMA Y GEOMETRÍA, TIPO DE JUNTAS ACABADO SUPERFICIAL Y TOLERANCIAS DE NIVEL, PENDIENTE, TEXTURA Y RUGOSIDAD.
- = PASAJUNTAS, INCLUYENDO DETALLES DE SUJECIÓN
- = CURADO
- = SERRADO Y RELLENO DE JUNTAS
- = TEXTURIZADO
- = APERTURA AL TRÁNSITO

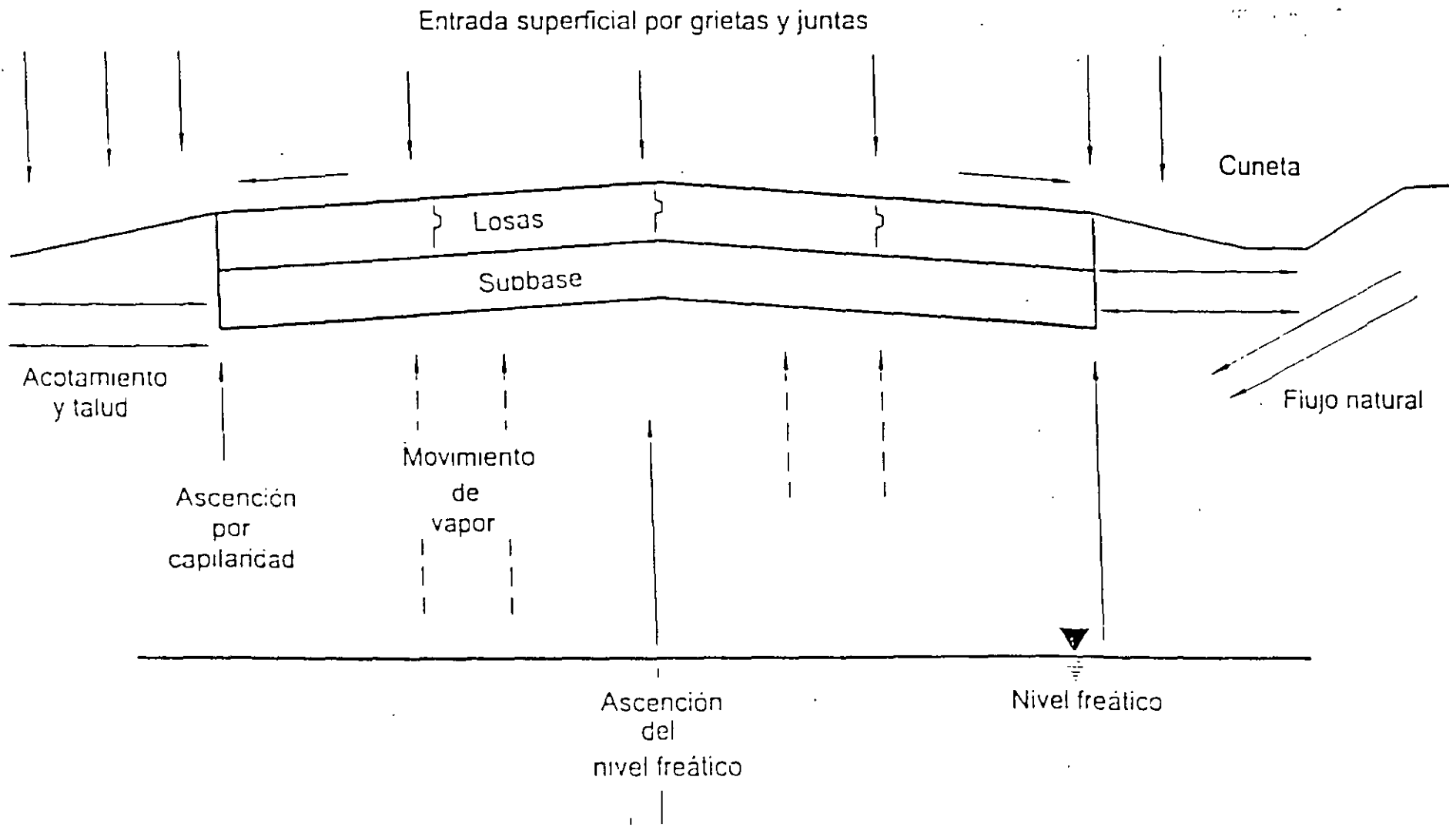
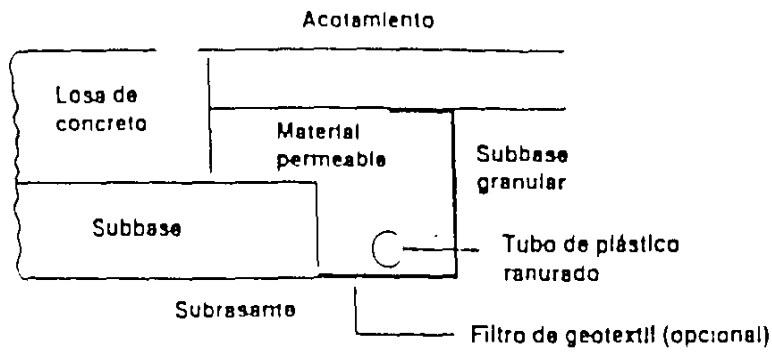
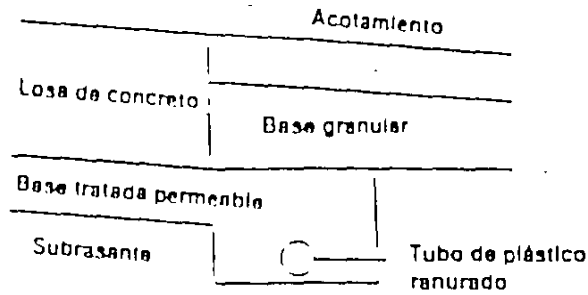


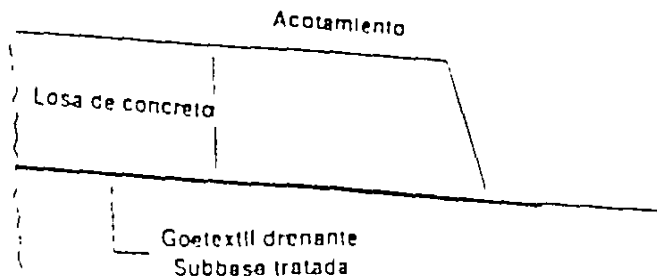
Fig 2.3 .- Formas de infiltración de agua en un pavimento



SISTEMA DE SÚBDRENAJE TIPO 1.- SUBDRENES LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS DEL PAVIMENTO



SISTEMA DE SÚBDRENAJE TIPO 2.- CAPA DRENANTE EN TCDO EL ANCHO, LIGADA A SUBDRENES LONGITUDINALES



SISTEMA DE SÚBDRENAJE TIPO 3.- CAPA DRENANTE EN TCDO EL ANCHO, FORMADA CON GEOTEXILES

Aplicaciones típicas de geotextiles en elementos de subdrenaje de pavimentos

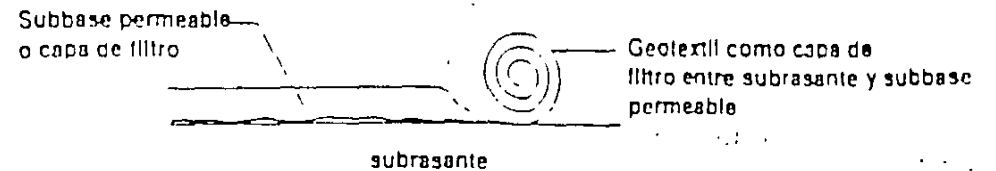
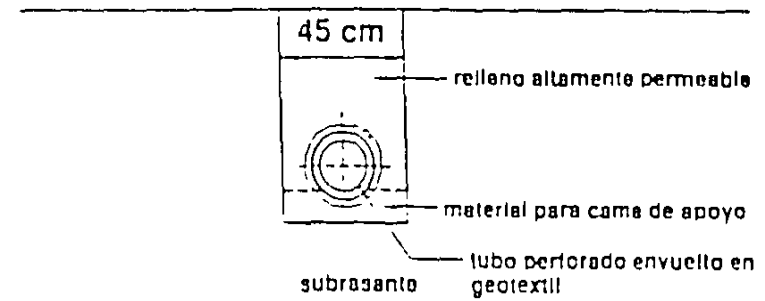
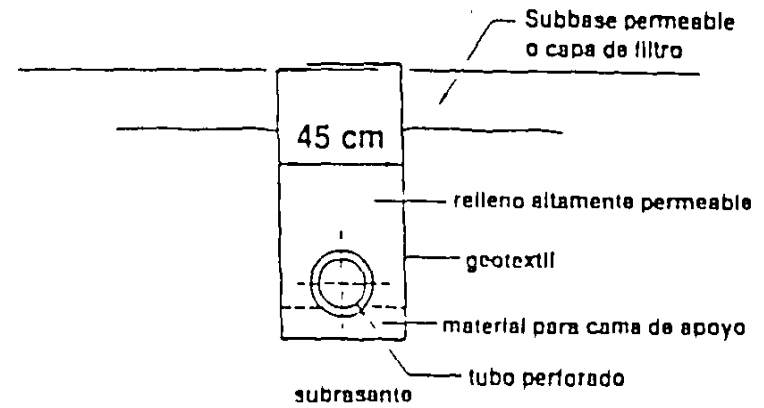
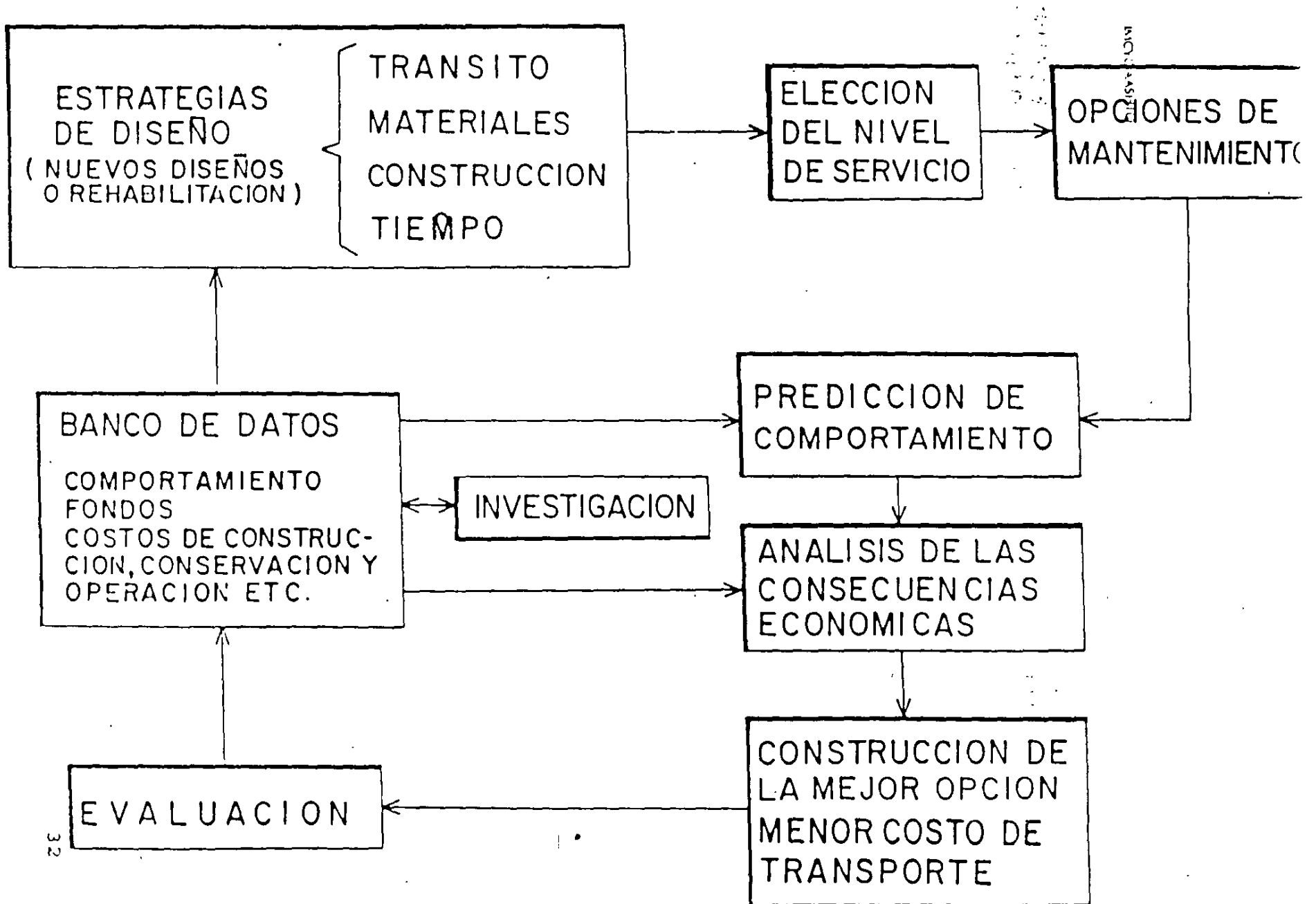


FIG 2.4.- Sistemas de subdrenaje



32

TEMAS DE INVESTIGACION

- 1.- CONTAMINACION DE AIRE
- 2.- PRUEBAS EN PAVIMENTOS Y MATERIALES PARA DETERMINAR SI LA MEZCLA ES APROPIADA__ PARA RECICLAJE
- 3.- COSTOS Y CONSUMOS DE ENERGIA
- 4.- CARACTERISTICAS DE MEZCLAS ANTES Y DES_ PUES DEL RECICLAJE, COMPARANDOLAS CON LAS CONVENCIONALES
- 5.- OPTIMIZACION DE EQUIPOS, ANALISIS DE RENDIMIENTOS
- 6.- DESARROLLO DE AGENTES REJUVENECEDORES
- 7.- DEFINICION DE PROCEDIMIENTOS APROPIADOS DE__ CONTROL DE CALIDAD
- 8.- PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO SOBRE TECNICAS DE RECICLAJE
- 9.- RELACION DE LOS METODOS DE DISEÑO Y CONS__ TRUCCION CON LAS TECNICAS DE REHABILITACION
- 10.- UTILIZACION DE MATERIALES RECICLADOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Materiales asfálticos.

Se incluyen todos los materiales aglomerantes, sólidos o líquidos relativamente viscosos a temperatura ambiente, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos. Los empleados en carreteras son fundamentalmente los cementos asfálticos y sus derivados, en particular las emulsiones asfálticas. Aún cuando todos ellos tienen propiedades análogas (son materiales termoplásticos y tienen buena adhesividad con los agregados pétreos), presentan también algunas diferencias significativas en cuanto a su susceptibilidad térmica y a su envejecimiento.

La termoplasticidad de los ligantes hidrocarbonados hace que al elevarse la temperatura se reduzca su consistencia y, una vez que ésta corresponde a la de un líquido, la viscosidad sea cada vez menor. Al disminuir la temperatura, el proceso es el inverso hasta alcanzarse una consistencia sólida con un módulo de rigidez cada vez mayor. La velocidad de variación del módulo (con consistencia sólida) o de la viscosidad (con consistencia líquida) con la temperatura se denomina susceptibilidad térmica y debe ser lo más reducida posible dentro de cada estado de consistencia a fin de hacer frente a diferentes condiciones de servicio sin que varíen sustancialmente las características mecánicas de ligante.

Por envejecimiento se entiende la alteración de las características iniciales del ligante con el paso del tiempo, como consecuencia de procesos de oxidación (por calentamiento o por la acción del aire), radiación solar, acción del agua y del tránsito, etc. El envejecimiento comienza cuando el ligante está almacenado, continúa durante la ejecución de la obra y se sigue desarrollando durante su vida en la carretera. Se trata de un proceso en el que se producen tanto la pérdida de algunos de los componentes más ligeros de los ligantes como alteraciones sustanciales en su estructura molecular.

Los materiales de naturaleza asfáltica son los más utilizados en carreteras.

Los cementos asfálticos se suelen obtener como subproductos de las refinerías de petróleo.

Los cementos asfálticos suelen denominarse también cementos de penetración. Es la penetración a 25°C de una aguja calibrada la que sirve para clasificarlos de manera primaria, cuanto menor es la penetración, más duro y consistente es el cemento.

Los cementos asfálticos son una mezcla de hidrocarburos nafténicos, parafínicos y aromáticos, aunque también contienen pequeñas proporciones de otros componentes. Desde el punto de vista de su naturaleza, son sistemas coloidales cuya fase continua está constituida por un medio fluido aceitoso y en el que la fase

discontinua o dispersa está formada por asfaltenos y resinas asfálticas (los conjuntos de aceites y resinas se denominan maltenos).

La composición de los cementos es extraordinariamente compleja y depende tanto de su origen como del proceso de obtención. Los mejores cementos para carreteras se obtienen a partir de crudos de base nafténica, constituidos principalmente por hidrocarburos no saturados, como los procedentes de Venezuela. Pero no todos los crudos de petróleo proporcionan cementos aptos para carreteras. Eso sucede con los crudos de base parafínica, constituidos fundamentalmente por hidrocarburos saturados que requieren un proceso complementario de oxidación parcial; son, por ejemplo los procedentes de Oriente Medio.

Los cementos de penetración son semisólidos o sólidos a temperatura ambiente. Su manipulación requiere de calentamiento a fin de reducir su consistencia a un valor admisible para la operación deseada: bombeo, riego, mezcla, etc. En depósitos medios y grandes, convenientemente protegidos y aislados, el calentamiento se realiza de forma indirecta con serpentines de aceite. En camiones cisterna y en tanques regadores se emplean quemadores con una bomba que en circuito cerrado hace circular el ligante para evitar sobrecalentamientos.

Con objeto de evitar el calentamiento del cemento y poder trabajar también en tiempo lluvioso y frío sin los inconvenientes de los cementos, se recurre a las emulsiones asfálticas, que son la base actualmente de la denominada tecnología en frío en la construcción de carreteras. Las emulsiones son dispersiones coloidales de cemento asfáltico puro y algo fluidificado (partículas de 3 a 8 μ m de diámetro, que constituyen la fase dispersa) en agua (fase continua). Por tanto, son productos líquidos a temperatura ambiente, con una viscosidad tan reducida que no suele ser necesario ningún calentamiento.

Para fabricarlas suele recurrirse a un molino coloidal por el que pasa el ligante calentado, el agua y un agente emulsionante o emulgente. La misión de éste es triple:

- Facilitar la dispersión de las partículas de asfalto
- Evitar la posterior aglomeración de las partículas, al cargarlas todas eléctricamente con una misma polaridad, haciendo así almacenable la emulsión.
- Facilitar la adhesividad con los áridos y aumentar la resistencia al desplazamiento por el agua tras la puesta en obra.

Las emulsiones empleadas en carreteras pueden ser básicas o aniónicas y ácidas o catiónicas, según la polaridad que el emulgente proporcione a las partículas de cemento, existiendo notables diferencias de comportamiento entre ambos tipos. En

términos generales, las emulsiones aniónicas tienen buena adhesividad con los agregados calizos (básicos en general) y las catiónicas con los silíceos (ácidos en general), aunque también con la mayoría de los calizos.

Las emulsiones se conservan y manejan en estado acuoso. Al ponerlas en obra en contacto con la superficie de los agregados por reacción química o por evaporación del agua las partículas del cemento se vuelven a juntar formando la película continua deseada. Este proceso se llama rotura de la emulsión y no debe confundirse con el curado.

El empleo de emulsiones fabricadas a partir de asfaltos fluidificados presenta ventajas para determinadas aplicaciones: capacidad de impregnación, mejor mezcla con agregados o suelos con gran cantidad de finos, almacenabilidad de las mezclas, etc.

La velocidad de rotura de una emulsión es un factor decisivo para su aplicación en obra. Se establece prácticamente según los resultados de ensayos normalizados en los que la emulsión se mezcla con agua y con un polvo mineral tipo.

Asfaltos modificados.

Con cementos y emulsiones asfálticas se pueden resolver la mayor parte de las necesidades que pueden surgir en pavimentación. Existen, sin embargo, situaciones en las que el material asfáltico debe ofrecer unas mejores características que los convencionales: baja susceptibilidad térmica, alta resistencia a las deformaciones plásticas, durabilidad, etc. Tanto a los cementos como a las emulsiones asfálticas se les pueden incorporar aditivos que modifican sus características reológicas, es decir, que mejora su comportamiento para una amplia gama de condiciones de temperatura o de aplicación de las cargas. Se puede conseguir así una gran adaptación del ligante a las condiciones en las que ha de trabajar.

Los aditivos que en principio se pueden emplear son diversos, tanto en lo que se refiere a su naturaleza como a las mejoras conseguidas e incluso a las técnicas de incorporación a los asfaltos. Dejando de lado los agentes tensoactivos (activantes), con los que únicamente se pretende mejorar la adhesividad con los agregados, se puede tratar de polímeros termoplásticos (polietilenos, polipropileno), polímeros termoendurecibles (epoxi, poliéster), asfaltos naturales, elastómeros (hules naturales y artificiales), hule procedente del reciclado de llantas, azufre, etc.

A veces se emplean en las mezclas asfálticas fibras de diferente naturaleza (celulosa, acrílicas). Pero su función es un aumento de la superficie específica (lo que se traduce en una mayor cantidad de ligante y en consecuencia en un envejecimiento más lento), así como un cierto efecto de armadura

Hasta el momento, el mayor desarrollo en la modificación de asfaltos se ha basado en el empleo de polímeros elastotermoplásticos, principalmente EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno). Con EVA se consigue fundamentalmente elevar la resistencia a las deformaciones plásticas, empleándose a veces también para mejorar la trabajabilidad a baja temperatura ambiente. Con el empleo de SBS se suele pretender mejorar la flexibilidad, disminuir la susceptibilidad térmica y en ocasiones mejorar la adhesividad con los agregados.

Es creciente el empleo de asfaltos modificados con estos polímeros en aplicaciones tales como mezclas asfálticas porosas o drenantes, morteros, tratamientos antipropagación de fisuras, etc. Sólo su costo limita su aplicación general, aunque la diferencia con los ligantes convencionales se va reduciendo progresivamente.

Los asfaltos y el programa SHRP

El SHRP (Strategic Highway Research Program) es un programa de investigación de carreteras que en sus aspectos básicos se desarrolló en Estados Unidos entre 1988 y 1993. Una segunda fase de seguimiento (programa LTPP, Long-Term Pavement Performance) abarca en principio hasta 1998. El presupuesto total inicial era de 150 millones de dólares y se refería a cuatro grandes áreas, una de las cuales era la relativa a los materiales asfálticos, dotada con 50 millones de dólares. Uno de los objetivos fundamentales de este subprograma era el desarrollo de nuevos ensayos y especificaciones para asfaltos.

En las nuevas especificaciones SHRP los asfaltos se clasifican según las temperaturas a las que se alcanzan unas determinadas características mecánicas referidas a las mezclas asfálticas: resistencia a las deformaciones plásticas a alta temperatura, fatiga a temperatura media y fatiga a temperatura baja a las que se añaden características relativas a la trabajabilidad (viscosidad), a la seguridad (inflamación) y al envejecimiento. Los ensayos desarrollados, que se realizan sobre el cemento previamente envejecido, son los siguientes:

- Reómetro de corte dinámico (Dynamic Shear Rheometer), para evaluar los comportamientos viscoso y elástico del asfalto mediante medidas del módulo de rigidez del ángulo de desfase (módulo complejo).
- Reómetro de viga a flexión (Bending Beam Rheometer), para medir el módulo de rigidez (y cómo va variando según se aplica la carga) a las temperaturas de servicio más bajas.

En cuanto a las determinaciones tradicionales que se han mantenido en el método son las relativas a viscosidad (viscosímetro rotacional Brookfield) punto de inflamación (aparato Cleveland de vaso abierto) y envejecimiento. Sobre este último se utilizan el

método de película delgada y rotatoria (Rolling Thin-Film Oven Test, RTFOT), para simular el envejecimiento durante la fabricación y la puesta en obra y un nuevo procedimiento de envejecimiento por presión (Pressure Ageing Vessel, PAV), a fin de reproducir el envejecimiento durante la vida de servicio.

Reología

Las mezclas asfálticas son materiales cuyo comportamiento mecánico no depende sólo de la magnitud de las tensiones soportadas, sino también de la forma en la que éstas se aplican, en particular, de la temperatura y de la velocidad de aplicación. La parte de la Ciencia de materiales que estudia los que tienen estas características es la Reología.

Sólo en determinadas condiciones de servicio (bajas temperaturas y velocidades elevadas de aplicación de las cargas), las mezclas asfálticas tienen un comportamiento elástico y lineal. En las restantes condiciones, son en mayor o menor medida no elásticas y no lineales.

Se supone que el comportamiento de la mezcla es el resultado de la integración de los comportamientos de sus componentes. Por un lado, están los agregados de naturaleza elastoplástica; por otro una pasta de cemento, mas polvo mineral, cuya naturaleza es viscoelástica. En consecuencia, las mezclas tienen una naturaleza que cabe denominar viscoelastoplástica.

Esta naturaleza se puede representar en primera aproximación mediante la variación del módulo de rigidez de la mezcla con el tiempo de aplicación de la carga o con la temperatura. Se observa así que, para tiempos de aplicación de carga muy pequeños (0,1 s) y temperaturas bajas (inferiores a 10°C), el comportamiento de las mezclas se puede considerar elástico y el módulo de rigidez análogo a un módulo de elasticidad. Con tiempos de aplicación de carga y temperaturas mayores, el módulo de rigidez es una relación entre la tensión aplicada y la deformación resultante, dependientes ambas del tiempo de carga y de la temperatura, dejando entonces las mezclas de ser materiales elásticos. Para valores grandes del tiempo de aplicación y temperaturas altas, su comportamiento es ya fundamentalmente viscoso.

Para velocidades de los vehículos de unos 70 km/h, los concretos asfálticos habitualmente empleados en pavimentos tienen los siguientes módulos de rigidez en función de la temperatura.

| | |
|-----------------|---------------------|
| Invierno. | 10.000 - 12.500 MPa |
| Primavera-otoño | 5 000 - 7,500 MPa |
| Verano: | 1.000 - 2,500 MPa |

En carretera una mezcla asfáltica tiene una rigidez variable con el tiempo. El comportamiento reológico es bastante complejo y para su estudio hay que adoptar soluciones más o menos aproximadas que, en general, consideran las mezclas como materiales viscoelásticos lineales y termorreológicamente simples. Esto significa que las variables temperatura y tiempo de aplicación de carga son intercambiables, es decir, que la influencia de cualquiera de las dos es equivalente: es análogo, por ejemplo, considerar bajas temperaturas que tiempos de aplicación de carga pequeños.

En el comportamiento reológico de una mezcla intervienen muchas variables. Por esta razón se han seguido diferentes caminos de representación, que permiten que el estudio sea abordable. Las investigaciones realizadas en este campo se dirigen por dos vías diferentes, aunque hay autores que siguen ambas complementando los resultados teóricos con las comprobaciones experimentales obtenidas. Dichas vías son:

- Modelos físico-matemáticos
- Métodos experimentales.

En el primer grupo se incluyen los estudios teóricos basados en asimilar el comportamiento reológico a esquemas físicos que dan una representación del estado tensión-deformación del material mediante unos modelos sencillos. En el segundo se incluyen las investigaciones experimentales llevadas a cabo mediante ensayos de laboratorio.

Propiedades generales de las mezclas asfálticas.

Cada uno de los tipos de mezclas asfálticas tiene propiedades diferentes, lo que hace que sus campos de aplicación lo sean también. En principio, es difícil proyectar una mezcla que satisfaga todas esas propiedades en el mismo grado, tanto porque algunas son relativamente contrapuestas como porque su importancia relativa depende de la funcionalidad y estructura del pavimento. Para que prevalezcan unas determinadas propiedades del ingeniero debe considerar las cualidades de los materiales constituyentes, su dosificación y las condiciones de elaboración y construcción.

Por otro lado, es preciso tener en cuenta que en los pavimentos las mezclas deben satisfacer además una serie de requerimientos en consonancia con su función y su entorno. Por ello hay que considerar también propiedades como textura superficial, luminosidad, color, sonoridad, facilidad de ser pintadas, facilidad de limpieza, etc.

Estabilidad

La primera característica que debe tener una mezcla es la de ser capaz de soportar las cargas y de resistir las tensiones que se van a producir con unas deformaciones tolerables. Esta propiedad se denomina estabilidad y es una representación empírica de la resistencia intrínseca del material, es decir, de la combinación de su fricción interna y de su cohesión.

La estabilidad o carga de rotura se suele evaluar mediante ensayos de base empírica. Los más conocidos son el ensayo Marshall para mezclas gruesas y el Hubbard-Field para mezclas finas.

Resistencia a las deformaciones plásticas.

Debido al comportamiento viscoelastoplástico de las mezclas, el paso de las cargas, especialmente en condiciones de altas temperaturas o bajas velocidades, va produciendo una acumulación de deformaciones plásticas. Si la mezcla no tiene unas características reológicas adecuadas, puede producirse incluso fluencia del material. Este fenómeno tiene su manifestación más típica en las denominadas roderas; deformaciones plásticas longitudinales que se pueden llegar a producir en determinadas mezclas en las zonas de rodada de los vehículos pesados.

El deterioro intrínseco de la mezcla es evitable proyectándola adecuadamente y en particular, atendiendo a la relación filler/asfalto, proporción y consistencia del asfalto, angulosidad del agregado, etc.

En otras ocasiones, el fenómeno de deformación plástica se pone de manifiesto mediante deformaciones transversales, como si el pavimento se comportase como una alfombra arrugada. Esto puede ocurrir en zonas en las que los esfuerzos tangenciales son muy fuertes, como en las paradas ante semáforos en calle de pendiente pronunciada. En estos casos la insuficiente resistencia a las deformaciones plásticas puede deberse no sólo a una dosificación inadecuada de la mezcla, sino también a una mala adherencia a la capa subyacente.

Finalmente, hay que incluir dentro de las deformaciones las debidas a falla de las capas inferiores, que imponen a la mezcla una deformación superior a la correspondiente al límite elástico. Estas deformaciones se caracterizan por su amplitud y su gran radio de curvatura.

Resistencia a la fatiga.

Cuando las condiciones de bajas temperaturas y de elevadas velocidades hacen que la mezcla tenga un comportamiento elástico, el paso de las cargas, de un valor inferior al de rotura, va produciendo un agotamiento progresivo por fatiga del material. La fatiga se traduce en un aumento de las deflexiones (deformaciones elásticas en superficie) y, cuando se llega a un avanzado estado, en agrietamientos generalizados (piel de cocodrilo).

La determinación de la resistencia a fatiga de una mezcla se lleva a cabo en laboratorio sometiendo las probetas a ensayos de carga repetidas. Para diferentes deformaciones radiales, impuestas se obtiene el número de aplicaciones de carga N que conduce a la rotura del material. De esta forma se establecen las denominadas leyes de fatiga que, en escala doblemente logarítmica, son rectas de pendiente negativa.

Flexibilidad

Si las mezclas van a ser extendidas con un espesor total inferior a 10 cm o sobre pavimentos flexibles existentes, han de tener suficiente flexibilidad para que no se rompan o se fatiguen con excesiva rapidez. Ese sería el caso de las mezclas sobre pavimentos constituidos por capas granulares. En estas situaciones debe valorarse la conveniencia de recurrir a mezclas abiertas en frío o incluso a riegos con grava, que en vías de bajo tránsito constituyen siempre la mejor solución.

Resistencia al deslizamiento

Las mezclas empleadas en capas de rodadura deben proporcionar una adecuada resistencia al deslizamiento, que ha de mantenerse durante suficientes años. Para ello es preciso que, si se trata de carreteras con tránsito intenso y rápido, los agregados empleados tengan un alto coeficiente de pulido acelerado y que la macrotextura de la mezcla puesta en obra sea suficientemente rugosa, aunque no demasiado ruidosa.

Impermeabilidad

Otra función que deben cumplir las mezclas empleadas en las capas superiores es la de proteger la infraestructura frente a la acción del agua que cae sobre el pavimento. En consecuencia, se debe dotar a las mezclas de una elevada impermeabilidad, sin embargo, ésta no tiene por qué estar confiada a la capa de rodadura, habiéndose desarrollado por ello las denominadas mezclas porosas. La impermeabilidad se garantiza en este caso mediante la capa inferior.

Resistencia a agentes externos (durabilidad)

Las capas de rodadura se ven sometidas a agresiones externas de diversa índole, aparte de la acción de las cargas. La radiación solar, la oxidación del asfalto producida por el aire y el agua y el derrame de aceites y combustibles son factores que afectan a la durabilidad de la mezcla.

El fenómeno del envejecimiento de la mezcla es complejo, tanto porque las causas son muy diversas, como porque se desencadenan diversos procesos de tipo fisicoquímico, difíciles de definir. Algunos de estos procesos son irreversibles.

El envejecimiento se manifiesta por microfisuras, pérdidas de mortero, migración de ligante, desprendimiento del asfalto, etc. Aparecen así deterioros diversos como baches, superficiales irregulares, desprendimientos, etc. En cualquier caso, la duración de una capa de rodadura correctamente proyectada y construida debería ser de 10 años o más. A menudo esa duración se reduce sustancialmente, debido sobre todo a los bajos contenidos de asfalto empleados.

Control de calidad

En el control de calidad de las mezclas se pueden distinguir cuatro fases:

- Control de los componentes de la mezcla
- Control del proceso de fabricación
- Control durante la construcción
- Control de la obra terminada

En la primera fase hay que realizar los correspondientes ensayos, tanto en origen como en el lugar de fabricación, para garantizar que los materiales básicos cumplen lo indicado en las especificaciones.

En la planta se debe controlar, en primer lugar, el buen funcionamiento de sus diversos elementos, poniendo especial atención en la calibración de los sistemas de dosificación y los indicadores de temperaturas. Así mismo requieren especial vigilancia el funcionamiento de ciclones y las emisiones de la chimenea.

Sobre la mezcla fabricada se deben realizar periódicamente controles de contenido de asfalto y de granulometría para lo cual han de llevarse a cabo ensayos de extracción. Con una frecuencia menor, hay que fabricar probetas y comprobar que se satisfacen las características mecánicas y de contenido de huecos que fueron fijadas en el proceso de dosificación.

En la construcción es fundamental, si se trata de una mezcla en caliente, controlar las temperaturas del material y, en todos los casos, que dicho proceso empezando por la preparación de la superficie existente, se ajusta a lo especificado, a las indicaciones del director de la obra y a las correspondientes normas de buena práctica. Hay que atender también a las condiciones climatológicas, de manera que se debe suspender la extensión de la mezcla cuando la temperatura ambiente es inferior a 5°C, con tendencia a disminuir, o cuando hay una lluvia apreciable. En el caso de mezclas en caliente un viento intenso constituye también un factor negativo a tener en cuenta.

Al llegar la mezcla al sitio se deben tomar muestras con las que se fabrican probetas cuyo peso volumétrico se toma como referencia para el control de la compactación. Terminada ésta, hay que comprobar que se ha alcanzado el grado especificado. Los métodos de control de mayor rendimiento son los basados en técnicas nucleares, similares a los que se utilizan para el control de la compactación de los suelos. Aunque con ellos no se obtiene una medida absolutamente precisa proporcionan unos valores relativos suficientemente significativos, no sólo del grado de compactación sino también de la homogeneidad de la capa. Al final de la jornada hay que extraer testigos lo que sirve también como comprobación de espesores y para poder controlar en el laboratorio las características mecánicas de la mezcla.

Finalmente ha de controlarse la regularidad de la superficie terminada, comprobando si se ajusta a los planos del proyecto y a las exigencias de las especificaciones técnicas. Para conseguir que el pavimento tenga una buena regularidad final, que ha de adaptarse a las velocidades de circulación, es imprescindible que desde las capas inferiores se hayan ido consiguiendo buenas regularidades en todas ellas.

En las capas de rodadura el control de calidad termina con la medida de la macrotextura y de la resistencia al deslizamiento mediante el ensayo del círculo de arena y la resistencia al deslizamiento mediante el péndulo de fricción o Mumeter. Para medir la regularidad superficial debe utilizarse un perfilógrafo tipo California o Maysmeter.

CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

M. ZARATE A.
Geosol, S.A. de C.V.

1. INTRODUCCION

Los requerimientos actuales del transporte a nivel mundial se muestran cada vez más exigentes con respecto a las características que deben satisfacer los pavimentos en cuanto a su relación con los aspectos de orden económico, principalmente los que concurren para la determinación del costo del transporte. Adicionalmente, el avance tecnológico de la industria automotriz ha introducido innovaciones en los vehículos, modificando velocidades, geometrías, carrocerías, sistemas de suspensión, etc. que han afectado en alguna forma las interrelaciones entre vehículo-pavimento-usuario.

A todo ello se suman las exigencias de estos últimos, que demandan pavimentos con superficies capaces de desarrollar adecuadas resistencias al deslizamiento, en condiciones de pavimento mojado, alta velocidad y llantas lisas; con características apropiadas para desalojar rápidamente el agua superficial evitando peligrosas y molestas salpicaduras de agua; con superficies exentas de irregularidades que provoquen oscilaciones molestas y peligrosas sobre todo a altas velocidades, sin roderas y que permitan un desplazamiento silencioso dentro y fuera de los vehículos, económico y con buenas cualidades de visibilidad, etc. ref 1.

El comportamiento de un pavimento está definido por la forma en que evolucionan diferentes parámetros distintivos de la forma en que está cumpliendo con su función a través del tiempo. Los principales parámetros son

- a) Estructurales. Se refieren a la capacidad para transmitir adecuadamente a las capas de apoyo los esfuerzos producidos por el tránsito en el pavimento. Dependen fundamentalmente del espesor de las capas que constituyen la estructura del pavimento, tipo y características de los materiales utilizados, las condiciones de apoyo, en cuanto a la uniformidad y permanencia del soporte.

b) **Funcionales** Dependen fundamentalmente de las características superficiales del pavimento, (CSP), destacando las siguientes propiedades:

- Resistencia al deslizamiento obtenida mediante una adecuada textura superficial.
- Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
- Eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento.
- Bajo nivel de ruido tanto para usuarios como en el entorno.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas de los vehículos
- Resistencia al rodamiento.
- Condiciones adecuadas de durabilidad de los aspectos anteriores, que incide en el nivel de mantenimiento requerido.
- Adecuadas propiedades de reflexión luminosa
- Resistencia al efecto del derrame de combustibles y aceites
- Posibilidad de pintar marcas viales
- Buena apariencia

c) **Económicas.** Consideran los costos generados durante el ciclo de vida del pavimento por el Organismo, así como los realizados por el usuario y los asignados a la colectividad. Se distinguen los siguientes conceptos:

- costos de construcción
- costos de mantenimiento
- costos de operación
- costos debidos a accidentes, contaminación ambiental, etc.

2 ASPECTOS FUNCIONALES Y SU RELACION CON LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO.

Como se ha mencionado anteriormente los niveles de aceptación de la calidad y seguridad del servicio proporcionado a los usuarios van aumentando en forma continua, debido por una parte a las necesidades y exigencias propias del transporte moderno y por otra a los avances de la industria automotriz. Para este propósito, se ha tenido que desarrollar una tecnología específica, relativa a la investigación de las características superficiales que directamente afectan a los aspectos funcionales del pavimento y sus implicaciones con relación a la interacción entre pavimento-vehículo-usuario, constituyendo un problema complejo, en el que está de por medio el perfil del pavimento que debe

caracterizarse por un modelo matemático apropiado, del desarrollo de otro modelo matemático para representar las características de la suspensión de los vehículos, que conjuntamente con el primer modelo, permita predecir la respuesta dinámica del vehículo y finalmente un conocimiento de las reacciones humanas ante el movimiento, para lo cual ha sido necesario emprender una profunda investigación sobre los parámetros que caracterizan las irregularidades o rugosidad de la superficie de los pavimentos, tales como su longitud y amplitud de onda y frecuencia. Debe mencionarse que estos parámetros influyen también en otros importantes aspectos, como la resistencia al deslizamiento, los costos de operación, generación de ruido, etc. lo cual ha sido motivo de preocupación de Organismos internacionales, como la Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR), que constituyó un Comité Técnico especializado en este campo, cuya labor ha sido esencial para la difusión de los conocimientos en el campo de las (CSP), ref 2, emitiendo un reporte en el Congreso Mundial de Carreteras de Viena (1979), en el cual ya se emplea el concepto de características superficiales del pavimento.

La interacción vehículo-pavimento conduce a que las irregularidades superficiales influyan en mayor o menor grado en determinadas características superficiales que afectan al usuario, las cuales se clasifican de acuerdo con las longitudes de onda y amplitudes de las irregularidades de la superficie, definiéndose los conceptos de microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidad superficial o de planicidad. En la tabla 1 se presenta la clasificación de las (CSP) propuesta por el Comité Técnico de CSP de la AIPCR y en la fig 1 se muestran los campos de influencia de las irregularidades superficiales sobre las interacciones pavimento - vehículo.

Tabla 1 Clasificación de las irregularidades superficiales de un pavimento (Comité Técnico de CSP. AIPCR).

| DOMINIO | | RANGO DE DIMENSIONES | |
|-------------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------|
| | | Longitud de onda (horizontal) | Amplitud (vertical) |
| MICROTEXTURA | | 0 - 0.5 mm | 0 - 0.2 mm |
| MACROTEXTURA | | 0.5 - 50 mm | 0.2 - 10 mm |
| MEGATEXTURA | | 50 - 500 mm | 1 - 50 mm |
| IRREGULARIDADES SUPERFICIALES | ONDAS CORTAS | 0.5 - 5 m | 1 - 20 mm |
| | ONDAS MEDIAS | 5 - 15 m | 5 - 50 mm |
| | ONDAS LARGAS | 15 - 50 m | 10 - 200 mm |

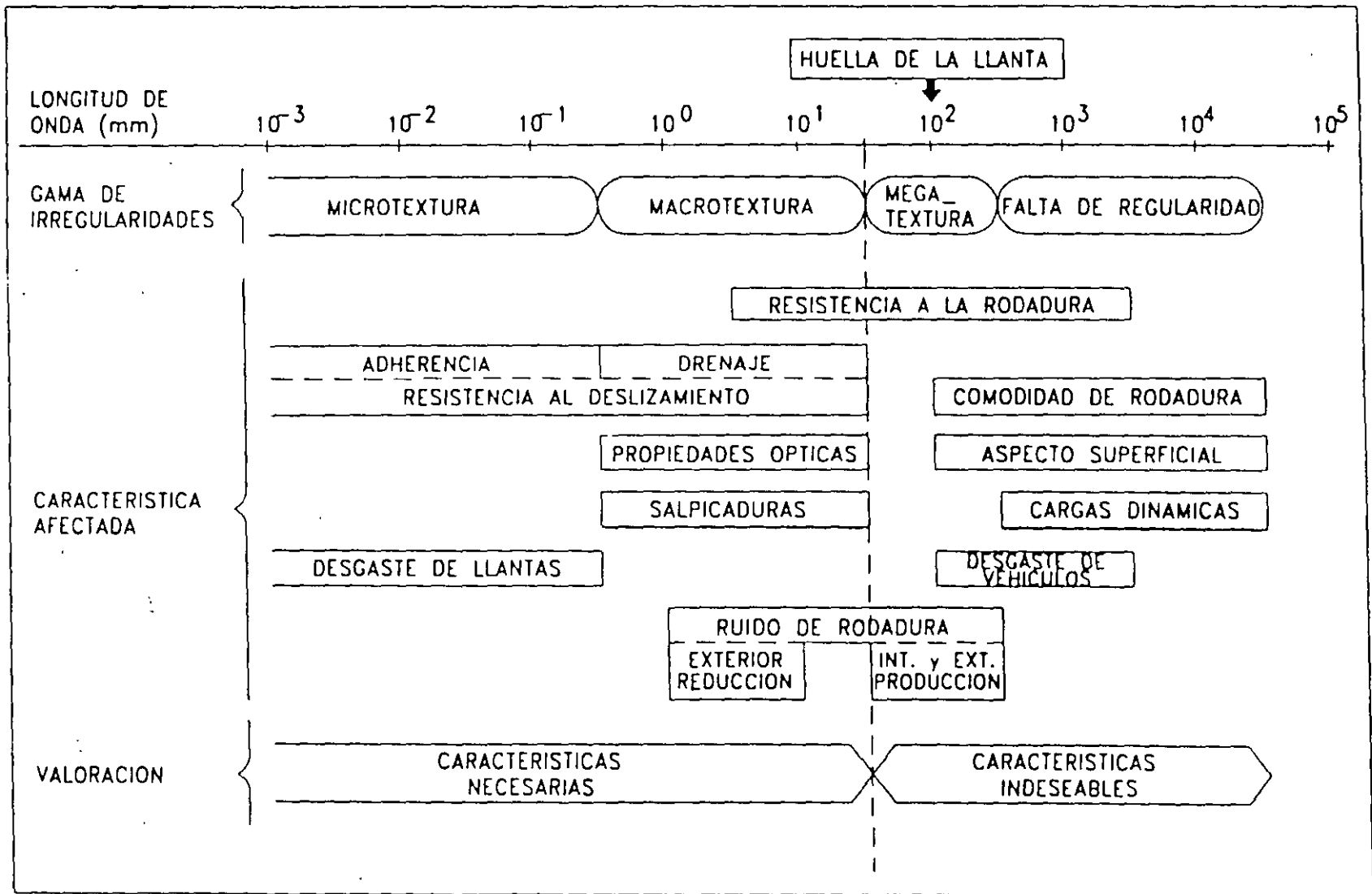


FIG. 1. CAMPOS DE INFLUENCIA DE LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO SOBRE LAS INTERACCIONES CARRETERA - VEHICULO

- 2.1 La microtextura es función de la textura superficial de los agregados pétreos y del mortero asfáltico o de cemento. Es muy importante para la adherencia entre llanta y pavimento y por lo tanto para la resistencia al deslizamiento, en todas las circunstancias de superficie seca o mojada. Influye en el desgaste de las llantas y algo en el ruido en las altas frecuencias del espectro acústico. Las irregularidades de este tipo son siempre necesarias.
- 2.2 La macrotextura depende de la composición de la mezcla, riego o mortero asfáltico o del tratamiento de superficie dado a las losas de concreto (ranurado, denudado, etc). Los deterioros tales como desprendimientos de agregados, grietas y juntas solo contribuyen cuando ocurren en casos frecuentes o si hay deformación notable.

Esta característica es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada con pavimento mojado. Además de la fricción por deformación relacionada con la histéresis elástica del hule, la rugosidad permite reestablecer el contacto con adherencia a alta velocidad. De este modo y mientras en zona urbana (velocidades moderadas) es adecuada una macrotextura moderada y una microtextura áspera, en carreteras será conveniente que exista además una macrotextura rugosa. En la fig 2 se ilustra el efecto de la textura superficial sobre el coeficiente de deslizamiento llanta – superficie. La fig 3 muestra el efecto de la expulsión de agua por medio de la macro textura, distinguiéndose tres zonas de contacto entre la llanta y el pavimento. Es importante crear mediante una macrotextura adecuada, las condiciones para la rápida expulsión de agua, de manera que se incremente la superficie en la zona 3. Debe tenerse presente que la resistencia al deslizamiento es fundamental para el control del vehículo (arranque, aceleración, giro, parada)

La macrotextura tiene una pequeña influencia en el consumo de combustible al aumentar la resistencia al rodamiento, que puede estar compensada por una ligera disminución de la velocidad de circulación. Mejora la visibilidad y las propiedades ópticas del pavimento al reducir las proyecciones de agua y producir una reflexión difusa. Un drenaje más eficaz permite asimismo una mejor visibilidad de las marcas viales.

Puede definirse además la macrotextura positiva y la negativa. La primera es la general típica de los tratamientos superficiales, formando capas impermeables; la segunda se refiere a las carpetas permeables. Ambas ofrecen, en diferente grado las ventajas mencionadas, sin embargo son muy diferentes en lo referente al ruido. Mientras que la macrotextura positiva aumenta el ruido en todas las frecuencias, las mezclas porosas llegan a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no solo en el contacto rueda/pavimento sino el debido al motor, por absorción acústica.

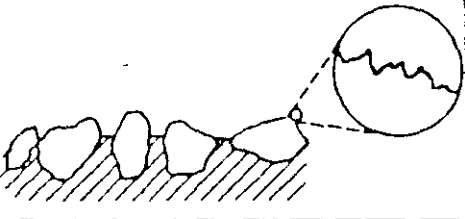
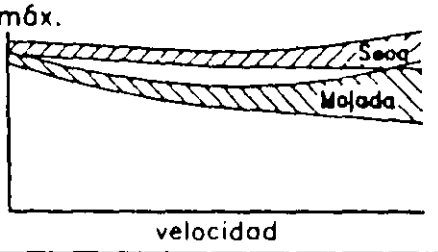
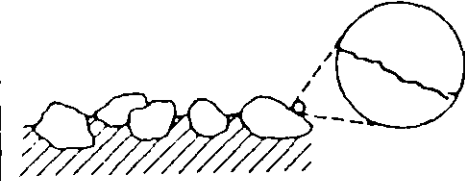
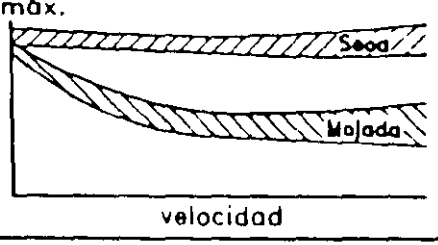

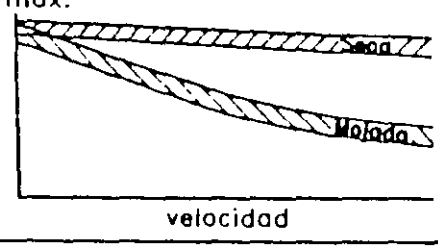
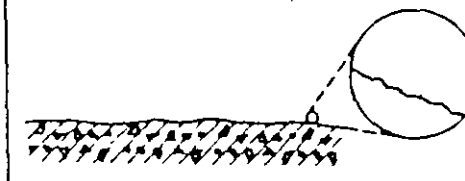
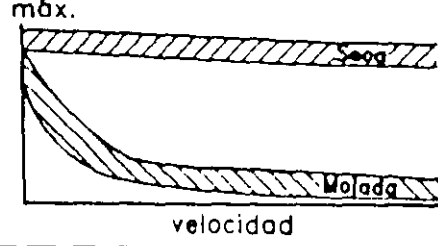
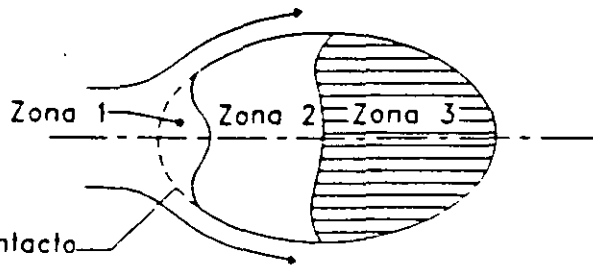
| CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE | | TENDENCIAS APROXIMADAS DEL COEFICIENTE MAXIMO DE DESLIZAMIENTO LLANTA-SUPERFICIE, CORRESPONDIENTES A LLANTAS LISAS |
|---|--|--|
| MACROTEXTURAS | MICROTEXTURA | |
| <p>Las superficies de macro-textura ABIERTA proporcionan un buen drenaje en la zona de contacto llanta-superficie. En superficie mojada, el valor se disminuye gradualmente a medida que aumenta la velocidad. Las ranuras de la llanta no influyen mucho. A gran velocidad se puede aumentar debido a los efectos de histéresis.</p> |  <p>La microtextura ASPERA permite una considerable penetración de la película delgada de líquido; el nivel de resistencia al deslizamiento es elevado.</p> |  |
| |  <p>La microtextura LISA o PULIDA presenta escasas posibilidades de penetración para las películas delgadas y generalmente el nivel de resistencia al deslizamiento que se produce es bajo.</p> |  |
| <p>Las superficies de macro-textura CERRADA ofrecen un escaso drenaje en la zona de contacto. En superficie mojada, los valores se disminuyen rápidamente con el aumento de la velocidad, las ranuras de la llanta son más eficaces.</p> |  <p>La microtextura ASPERA permite una considerable penetración de la película delgada de líquido; el nivel general de resistencia al deslizamiento es elevado.</p> |  |
| |  <p>La microtextura LISA o PULIDA presenta escasas posibilidades de penetración para la película delgada y generalmente el nivel de resistencia al deslizamiento que se produce es bajo.</p> |  |

FIG. 2 EFECTO DE LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE SOBRE EL COEFICIENTE DE DESLIZAMIENTO LLANTA-SUPERFICIE (Ref 3)

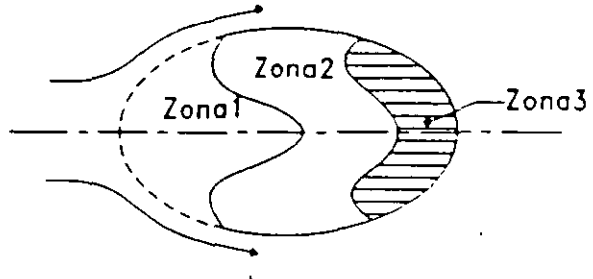
⇐ Dirección de movimiento

Baja Velocidad

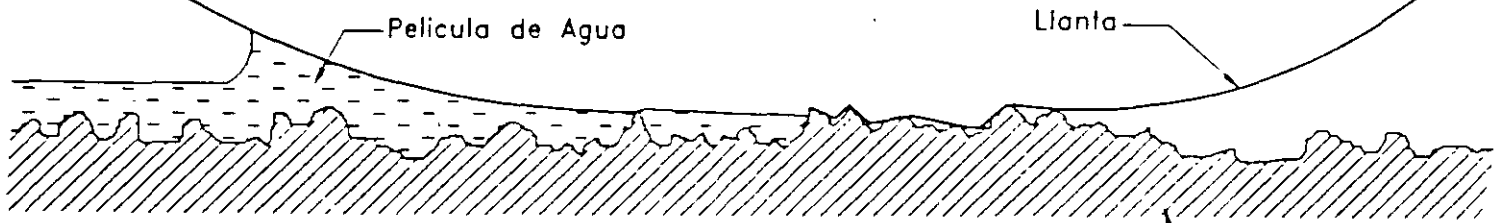
Limite de la zona de contacto
estática llanta-pavimento



Alta Velocidad



⇐ Dirección de movimiento



Zona 1 : Película de agua continua, presión dinámica

Zona 2 : Película de agua discontinua, presión viscosa

Zona 3 : Contacto seco

FIG. 3 ZONAS DE CONTACTO LLANTA-PAVIMENTO (Ref 3)
EN CONDICIONES DE PISO MOJADO

- 2.3 La megatextura corresponde a irregularidades de tipo intermedio, relacionadas con la construcción y también a diversos tipos de fallas y degradaciones o reparaciones.

Esta gama de irregularidades aumenta en particular la resistencia al rodamiento y el nivel de ruido con frecuencias bajas. El desplazamiento es más incómodo, con vibraciones y dificultades para mantener la estabilidad de avance. Contribuye además en el desgaste de los vehículos incluidas las llantas.

- 2.4 Las irregularidades se reflejan en ondas de diferente longitud debidas a deficiencias constructivas en el tendido, compactación, guiado de la extendidora, etc, a deformaciones por efecto del tránsito o a deformaciones del suelo en profundidad. Estas irregularidades afectan a la comodidad del rodamiento por las vibraciones que producen, aumentan el consumo de combustible e influyen en la estabilidad de los vehículos. Cuanto mayor es la velocidad del usuario, más le afectan las irregularidades de gran longitud de onda. Las ondas cortas-medias producen una oscilación de las cargas sobre las ruedas dando lugar a cargas dinámicas y a una variación de la adherencia movilizable.

Como puede observarse en la fig 1, las (CSP) definidas en los campos de la micro y macrotextura son en general deseables. Por otro lado, las clasificadas en los campos de la megatextura e irregulares mayores son en general indeseables y deben evitarse; puesto que también tienen implicaciones económicas importantes, como se muestra en la fig 4, ref 1.

Las (CPS) por lo tanto, deben ser motivo de preocupación no solamente para los usuarios, por ser los afectados directamente en los aspectos de seguridad, comodidad y economía, sino también para proyectistas constructores y encargados de la operación y conservación de los pavimentos y deben ser incluidas en los proyectos de los pavimentos, por las implicaciones que tienen sobre sus atributos principales en los aspectos funcionales y económicos.

3. CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DE LAS CARPETAS ASFALTICAS

- 3.1 Como es sabido, los pavimentos asfálticos o flexibles son los más utilizados en todo tipo de vialidades, con sus diferentes modalidades o tipología adaptados a diferentes condiciones de tránsito, facilidades de carácter constructivo, de conservación, etc, incluyendo en ocasiones la rehabilitación y refuerzo de pavimentos rígidos mediante la construcción de sobrecarpetas asfálticas. Por lo tanto, es importante conocer las características superficiales que pueden

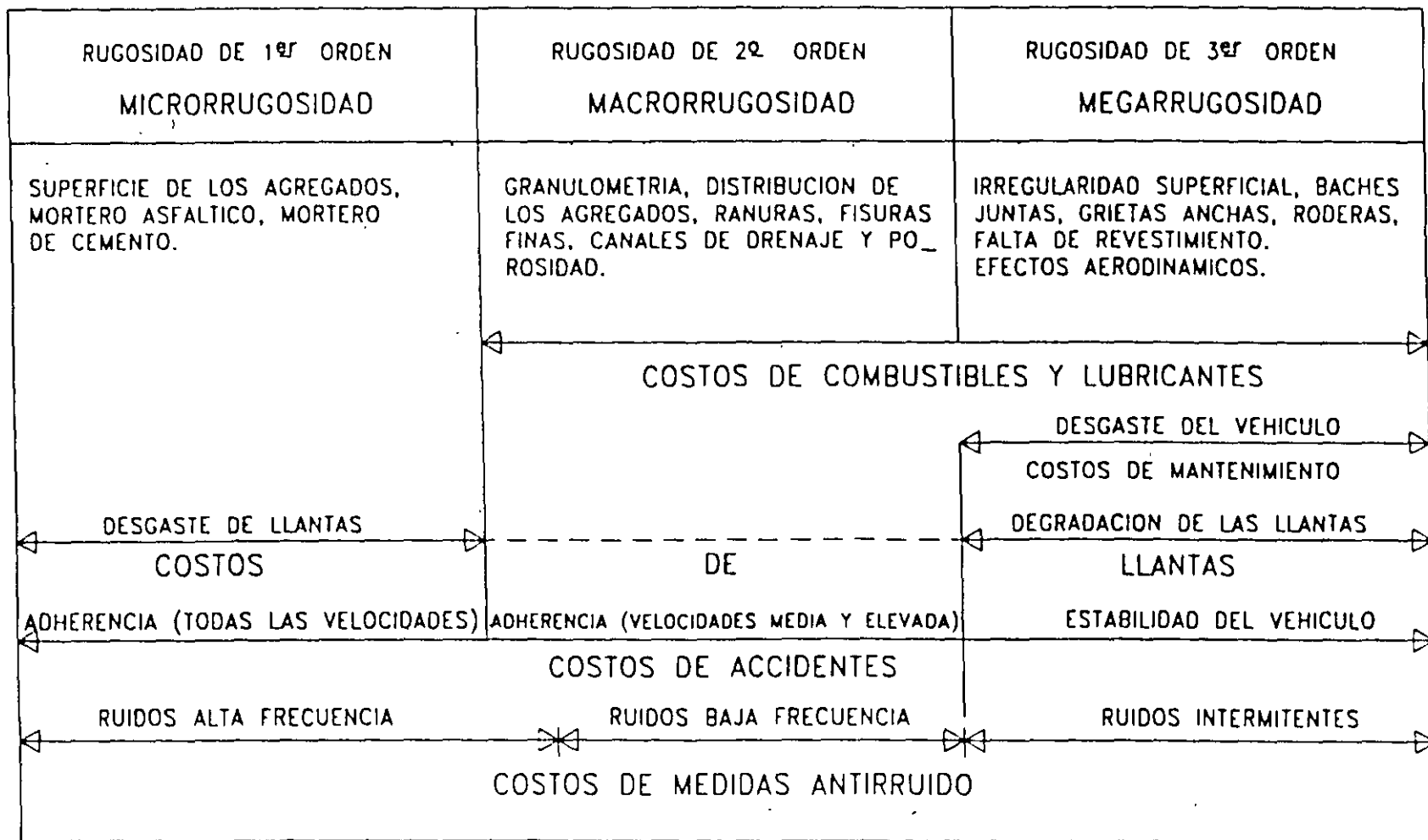


FIG. 4 RELACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO Y LOS FACTORES DE CONSUMO DE ENERGIA Y COSTOS DE OPERACION, ACCIDENTES Y AMBIENTALES

obtenerse con los diferentes tipos de carpetas asfálticas, para utilizarlas en las condiciones más eficientes bajo las diversas circunstancias prácticas.

Debe reconocerse que algunas características pueden conducir a situaciones de conflicto, como por ejemplo en el caso de la macrotextura, necesaria desde el punto de vista de la adecuada resistencia al deslizamiento, pero que en situaciones en que es necesario obtener mejores condiciones para operación en tiempo lluvioso, se puede caer en niveles más elevados de ruido, lo que redundaría en menor comodidad para el usuario. De esta manera surgen casos en los que es necesario valorar adecuadamente las situaciones de compromiso que surjan, para elegir el tipo de carpeta asfáltica que mejor convenga a cada caso en particular, ref 4.

La fig 5, ref 1, proporciona una idea sobre la forma en que el coeficiente de deslizamiento es afectado por las características superficiales, la velocidad del vehículo y el espesor de la lámina de agua sobre el pavimento. A medida que aumenta la velocidad en pavimento mojado, se reducen las áreas de las zonas 2 y 3 de la fig 3, llegando a desaparecer, situación en la que la llanta pierde contacto con el pavimento y se desliza sobre una película de agua, fenómeno denominado acuaplaneo y que ocurre a velocidades superiores a 75 km/hr, de acuerdo con investigaciones al respecto. De ahí la importancia de desalojar rápidamente el agua bajo la llanta con texturas superficiales adecuadas.

Por lo que respecta al ruido y coeficiente de deslizamiento, en la fig 6 se presentan los campos de nivel sonoro y del coeficiente de deslizamiento para diferentes tipos de carpetas, incluyendo adoquines y losas de concreto hidráulico.

Estos dos aspectos, ruido y fricción, llegan a presentar situaciones de conflicto, por lo que se deben valorar adecuadamente para elegir lo más conveniente. En esta figura se indican los niveles de ruido que causan incomodidad y molestia al usuario, destacando el comportamiento de cada tipo de carpeta con respecto a la generación de ruido y los niveles del coeficiente de deslizamiento entre llanta y pavimento.

Finalmente, en la fig 7 se presenta un cuadro que resume las características relativas a los diferentes tipos de carpetas y tratamientos superficiales asfálticos más utilizados, incluyendo el campo de aplicación más recomendable para cada una de ellas. En esta figura se resalta la posibilidad que se presenta actualmente de elegir adecuadamente las características superficiales de los pavimentos, en función de las condiciones prevalecientes de tránsito, velocidad de operación, volumen de vehículos pesados, etc, e inclusive para las condiciones geométricas de la carretera, como sinuosidad y pendiente, de tal manera que se ofrezca al usuario las condiciones adecuadas de seguridad,

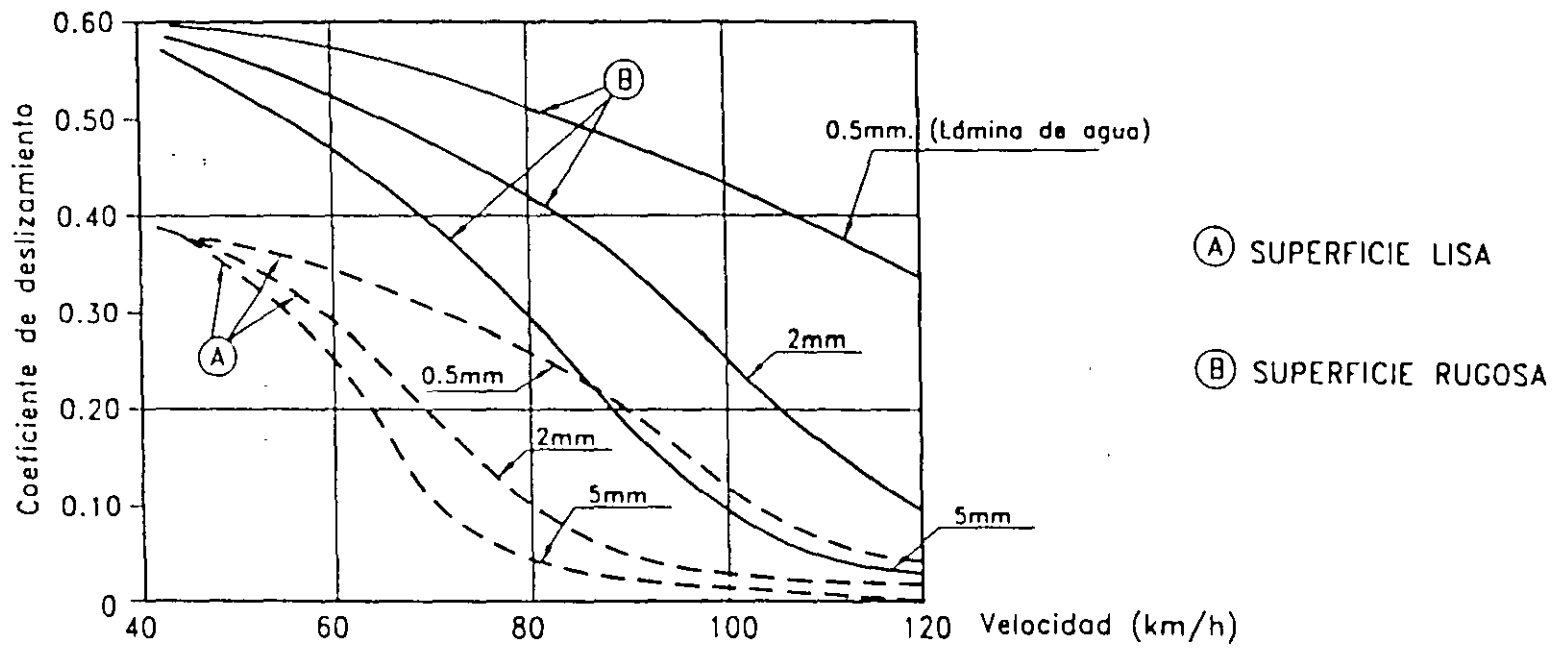


FIG. 5 EFECTO DE LA MACROTEXTURA SOBRE EL COEFICIENTE DE DESLIZAMIENTO

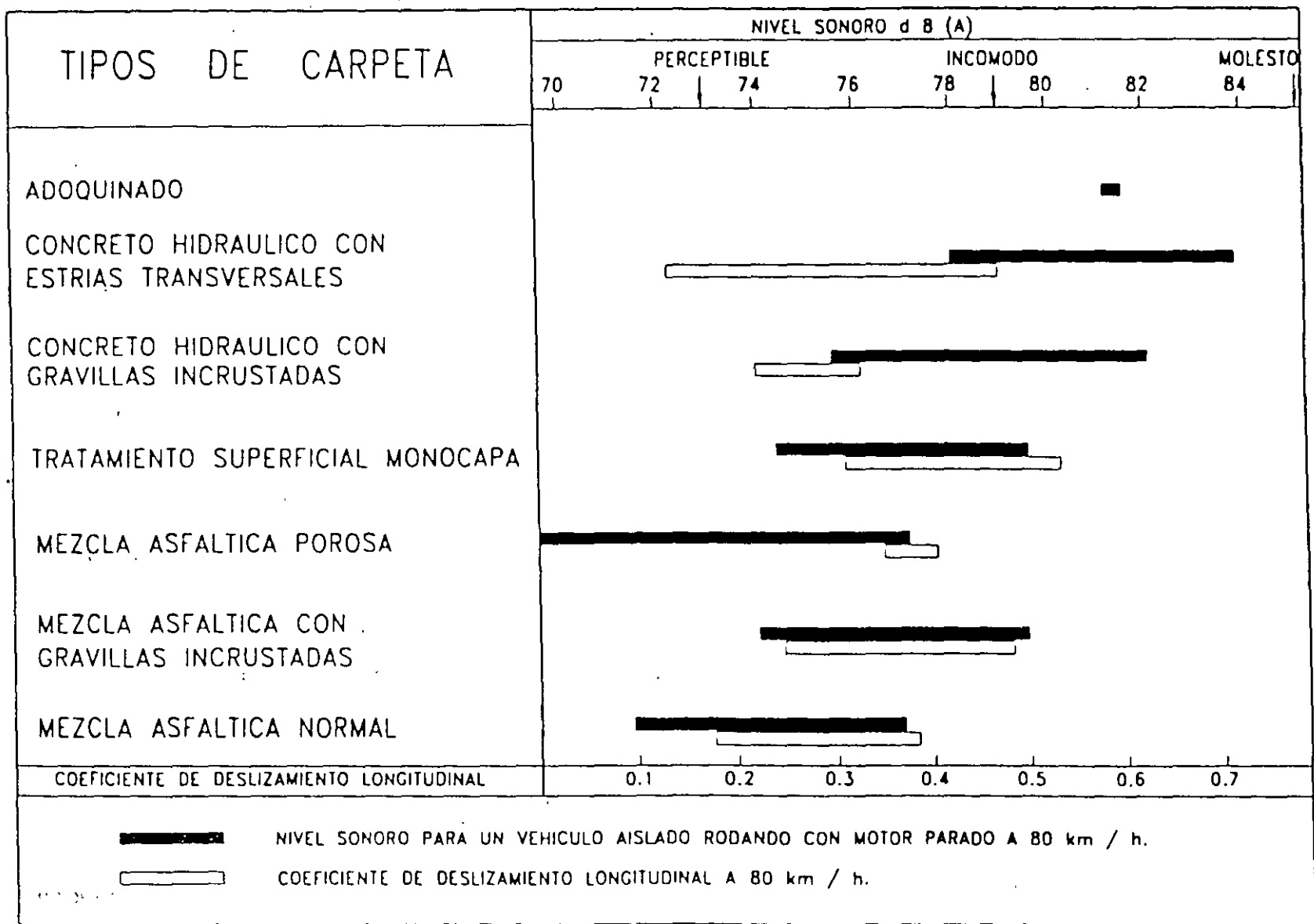


FIG. 6 COMPARACION DE LOS CAMPOS DE NIVEL SONORO Y COEFICIENTE DE DESLIZAMIENTO LONGITUDINAL EN DIVERSOS PAVIMENTOS

| TIPO DE CARPETA | | ADHERENCIA A VELOCIDAD | | REGULARIDAD INICIAL | MITIGACION DE RUIDO | PROPIEDADES OPTICAS | | REDUCCION DE PROYECCION DE AGUA | FACILIDAD DE CONSERVACION | IMPERMEABILIDAD | APLICACION PREFERENTE |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| | | LENTA | RAPIDA | | | SECO | MOJADO | | | | |
| TRATAMIENTOS SUPERFICIALES | TEXTURA GRUESA | | | (1) | | | | | | | CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD |
| | ESPECIALES CON TEXTURA FINA (2) | | | (1) | | | | | | | VIALIDADES URBANAS, CARRETERAS |
| CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO | NORMALES | | | | | | | | | | CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD, TRANSITO INTENSO Y PESADO, VIALIDADES URBANAS |
| | POROSAS | | | | | | | | | | VIALIDADES URBANAS, CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD, Y TRANSITO PESADO |
| | INCRUSTACION DE GRAVILLA | | | | | (3) | | | | | CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD TRANSITO INTENSO Y PESADO, |
| | TEXTURAS | | | (1) | | | | | | | VIALIDADES URBANAS, CARRETERAS DE BAJA VELOCIDAD, Y TRANSITO LENTO Y LIGERO |
| | TEXTURA GRUESA | | | | | | | | | | CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD TRANSITO INTENSO Y PESADO, |

CLAVE

- MUY BUENO
- BUENO
- REGULAR
- MALO
- RECHAZABLE EN LO QUE SE REFIERE A ESTA PROPIEDAD

(1) DEPENDE DE LA SUPERFICIE DE APOYO

(2) POR EJEMPLO: LECHADAS CON RESINAS

(3) MUY BUENO, INCRUSTACION CON GRAVILLAS DE COLOR CLARO

FIG 7.- CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS

comodidad y economía que requiere. Debe finalmente insistirse en que la calidad de la ejecución de la obra es muy importante y si se aparta de la práctica de una buena construcción, puede malograrse el objetivo deseado

4. CONCLUSIONES.































- 4.1 Los requerimientos normales de las características superficiales de los pavimentos, generalmente tratan de asegurar el cumplimiento de condiciones de seguridad y comodidad de los usuarios. Sin embargo, en la época actual, debido al notable incremento del tránsito, son motivo de preocupación aspectos relacionados con el medio ambiente y la economía del transporte. Actualmente las exigencias de usuarios y de la economía del transporte son cada vez mayores.
- 4.2 Los aspectos de seguridad, comodidad, economía e impacto ambiental, este último relacionado principalmente por la generación de ruido, dependen en gran medida de las características superficiales de los pavimentos, definidas de acuerdo con las irregularidades que manifieste dicha superficie.
- 4.3 Dichas irregularidades se clasifican de acuerdo con su longitud de onda y amplitud, definiéndose cuatro campos denominados microtextura, macrotextura, megatextura y falta de regularidad o rugosidad del pavimento. Las dos primeras son deseables desde el punto de vista de su influencia en la resistencia al deslizamiento entre llanta y pavimento, en sus convenientes propiedades ópticas y reducción de salpicaduras de agua. Las dos últimas son en general indeseables, por sus efectos adversos en la comodidad, resistencia a la rodadura, ruido y efectos dinámicos.
- 4.4 Las características superficiales de los pavimentos (CSP), pueden controlarse mediante la utilización de determinadas técnicas y tipos de carpetas asfálticas, siendo importante el conocimiento de las propiedades de cada tipo de carpeta, para utilizar la más conveniente en cada caso en particular. Debe mencionarse que es necesario además no apartarse de la buena práctica constructiva, para alcanzar los objetivos deseados.






5. RECONOCIMIENTOS

Se agradece la entusiasta participación de la Sra. Ma. Teresa Alvarez G., en la mecanografía y de los Sres. Guillermo Suárez B. e Ignacio Valencia E., en el formato de las figuras.

6. REFERENCIAS

- 6.1 Jornadas sobre Características Superficiales de los Pavimentos Barcelona, España, 1987
- 6.2 A.I.P.C.R. Comité Technique de Caracteristiques de Surface Rapport XVI Congrès Mondial de Reoute, Vienne, 1979.
- 6.3 Manual de Proyecto de Aeródromos. Parte 3. Pavimentos. Segunda Edición Organización de Aviación Civil Internacional. Montreal, Quebec, Canadá. Doc 9157 – AN/901, 1983.
- 6.4 Pavement Management and Rehabilitation. Transportation Research Record 1215. TRB. Washington , D.C. 1989

| TIPO DE ACABADO SUPERFICIAL | ADHERENCIA A VELOCIDAD | | REGULARIDAD SUPERFICIAL | MITIGACION DE RUIDO | PROPIEDADES OPTICAS | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|
| | LENTA | RAPIDA | | | SECO | MOJADO |
| SIN TRATAMIENTO |  |  |  |  |  |  |
| ESTRIADO TRANSVERSAL |  |  |  |  |  |  |
| ESTRIADO LONGITUDINAL |  |  |  |  |  |  |
| GRAVILLAS INCRUSTADAS |  |  |  |  |  |  |
| DENUDADO |  |  |  |  |  |  |

MUY BUENO BUENO REGULAR MALO A CONSIDERAR A LO REFERENTE A ESTA PROPIEDAD

FIG 10.- VALORACION DE LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACABADO EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO