



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA Y A DISTANCIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM



Curso
Diseño de Pavimentos Flexibles
CA-60

**Método del Instituto de Ingeniería
de la UNAM**

**Expositor.
Ing. Miguel Sánchez Mejía**

Noviembre 2011

CURSO: DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

CONTENIDO

I.- Descripción de métodos usuales de diseño

1. Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Deformación permanente)
2. Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Dispav)
3. Método de diseño de Instituto del Asfalto de los EUA
4. Método de la AASHTO para el diseño de la sección estructural de los pavimentos.

II.- Formatos para cálculo de ejes equivalentes de 8.2t y espesores de pavimentos

1. Cálculo de ejes de 8.2 t (I.I. UNAM)
2. Grafica de diseño (I.I UNAM)
3. Cálculo de espesores (Método AASHTO)
4. Coeficientes de daño (AASHTO)

I.- DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS USUALES DE DISEÑO.

1.- Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Desde hace aproximadamente tres décadas, los proyectistas de carreteras han contado en México con un método de diseño para pavimentos desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a petición de la entonces Secretaría de Obras Públicas, luego SAHOP y ahora SCT. Este método partió del análisis de datos experimentales en tramos de prueba, en carreteras en servicio, de investigación teórica y de experimentación en laboratorio en la pista circular de pruebas, que influyó más recientemente en sucesivos perfeccionamientos. Actualmente el método está preparado para ser manejado con la ayuda de gráficas, con calculadoras programables o con la ayuda del cómputo. El conjunto del trabajo de años del Instituto de ingeniería de la UNAM se encuentra en la publicación No. 444 de dicha institución que data de 1981, pero en estas páginas sólo se hará una breve glosa de la metodología de trabajo, correspondiente a la utilización de gráficos, nomogramas y ecuaciones de diseño.

Este método considera como datos de entrada básicos el tipo de carretera, el número de carriles, la vida de proyecto, el tránsito diario promedio anual (TDPA), tasa de crecimiento y variables adicionales sobre características del terreno y materiales, así como de climas, nivel freático y precipitación pluvial. Como guía para el proyectista, se recomienda la estimación de un Valor Relativo de Soporte crítico

(\widehat{VRS}) para las condiciones previamente dadas (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. VALOR RELATIVO DE SOPORTE CRÍTICO ESTIMADO PARA EL DE PAVIMENTOS, PARA SUBRASANTES COMPACTADAS 95% DEL VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO PROCTOR.

Profundidad del nivel freático con relación al nivel de la capa considerada en m	VRS _Z en porcentaje mínimo probable					
	Arena no plástica	Arcilla arenosa IP = 10	Arcilla arenosa IP = 20	Arcilla limosa IP = 30	Arcilla activa IP > 40	Limo
0.6	8-10	5-6	4-5	3-4	2-3	1
1.0	25	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3
1.5	25	8-10	6-8	5-6	3-4	
2.0	25	8-10	7-9	5-6	3-4	
2.5	25	8-10	8-10	6-8	4-5	
3.0	25	25	8-10	7-9	4-5	Se requieren pruebas de laboratorio
3.5	25	25	8-10	8-10	4-5	
5.0	25	25	8-10	8-10	5-6	
7.0	25	25	8-10	8-10	7-9	

* Adaptación de la tabla 2 de "Road Note 31", tercera edición, Transport and Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1977 (ref 8).

** De acuerdo con la variación estacional debe elegirse el nivel freático más alto.

*** Esta tabla se incluye únicamente con carácter cualitativo, y se refiere a VRS_Z mínimos. En todos los casos se deben de realizar pruebas de campo y ensayos de laboratorio para estimar el valor de diseño. El mínimo probable corresponde al caso de subrasantes colocadas bajo pavimentos impermeables.

En esta tabla se muestran valores estimados de \widehat{VRS} exclusivamente para materiales de subrasante, dependiendo de algunos tipos de materiales, sus índices plásticos y diferentes profundidades del nivel freático.

Se requieren adicionalmente pruebas de laboratorio confiables, para una mejor comprensión del comportamiento de las terracerías y demás capas a diseñar, debiendo realizarse para cada material propuesto y disponible, pruebas con tres diferentes energías de compactación; esto es, baja (AASHTO estándar) compactación intermedia y alta energía (AASHTO modificada).

Encontrando la humedad óptima y teniendo normado el porcentaje de compactación que se especifique en el proyecto y dependiendo del control de la construcción, se indicará un rango de variación de humedad respecto al óptimo. Paralelamente el laboratorio deberá reportar los valores de resistencia en VRS para cada tipo de material a utilizar.

Con el conjunto anterior, se encontrará una zona que reflejará las condiciones esperadas para la subrasante, encontrándose, en función de la humedad crítica esperada, el valor crítico de \widehat{VRS} de diseño (ver Figura 1.1).

En función del \widehat{VRS} crítico obtenido para la subrasante, por experiencia se asignará un valor menor para el cuerpo del terraplén, del orden del 60% obtenido para la subrasante.

Para obtener el \widehat{VRS} crítico de las capas restantes, ésto es la subbase y base, el método emplea la siguiente ecuación, en donde interviene un coeficiente de variación estimado (v) entre 0.2 y 0.3, debido a cambios posibles del material, procedimiento constructivo, etc. Lo anterior, siempre tenderá a disminuir el VRS de campo promedio, que como ya se dijo cubrirá incertidumbres tanto de la prueba de valor relativo de soporte como de los materiales, redundando en lo que se conoce como factor de seguridad.

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

El segundo paso contemplado en el método, consiste en la información y procesamiento de los datos del tránsito, partiendo del TDPA inicial, su tasa de crecimiento en porcentaje anual y la composición vehicular detallada, considerando desde los automóviles y vehículos ligeros hasta los vehículos más pesados de carga. Se hace notar que el método contempla en este análisis los porcentajes de vehículos pesados, tanto cargados con carga legal, como totalmente vacíos (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. EJEMPLO DE COMPOSICIÓN VEHICULAR CON PORCENTAJES DE CARGADOS Y VACÍOS.

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION	PROPORCION	
		CARGADOS	VACIOS
Automóviles			
Camiones ligeros (A 2)			
Autobuses (B2)			
Camiones de dos ejes (C2)			
Camiones de tres ejes (C3)			
Tractores con semirremolque (T2-S1)			
Tractores con semirremolque (T2-S2)			

Para el análisis del tránsito equivalente acumulado (ΣL), el método inicia el cálculo de los coeficientes de daño a diferentes profundidades de la estructura del pavimento, lo cual podrá procesarse con el empleo de las tablas del Apéndice E del método de diseño original del Instituto de Ingeniería, reporte No. 444 o con la ecuación general No. 1.1 incluida en este trabajo. Se deberá calcular el coeficiente de daño de cada vehículo tanto en condiciones de carga reglamentada y vacíos, para profundidades de $Z = 0$ cm para obtener los ejes equivalentes en carpeta y base, y $Z = 30$ cm para el resto de la sección.

$$\log d_i = \frac{\log \sigma_{z(i)} - \log \sigma_{z(eq)}}{\log A} = \frac{\log(pF_{z(i)}) - \log(5.8F_z)}{\log A} \quad (1.1)$$

Donde:

- d_i = Coeficiente de daño equivalente en la capa i.
- σ_z = Esfuerzo a la profundidad z, en Kg/cm².
- p = Peso del eje, en Kg.
- F_z = Coeficiente de influencia de Boussinesq a la profundidad z.
- A = Constante experimental.
- z = Profundidad en cm.
- 5.8 = Presión de contacto de la llanta en Kg/cm².

Al obtenerse los coeficientes de daño para todos y cada uno de los vehículos vacíos y cargados a las profundidades $Z = 0$ y $Z = 30$, el proyectista deberá multiplicar éstos por la composición del tránsito en porcentaje. Con ello se obtendrá el Número de ejes equivalentes para cada vehículo y para cada profundidad. Al efectuar la sumatoria de tales valores en el carril de proyecto por el coeficiente de acumulación del tránsito C_T (Ecuación 1.2) y por el valor de TDPA inicial, se obtendrá el tránsito equivalente acumulado ΣL para las capas de carpeta y base, y subbase y terracerías respectivamente (Figura 1.2).

$$C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \quad (1.2)$$

Donde:

- C_T = Coeficiente de acumulación del tránsito.
- n = Años de servicio.
- r = Tasa de crecimiento anual.

Finalmente el método presenta un procedimiento sencillo para obtener los espesores equivalentes de diseño de la sección estructural del pavimento, procedimiento que incluye varios nomogramas que están en función del nivel de confianza Q_u que se elija, el Valor Relativo de Soporte Crítico de cada capa y el tránsito equivalente acumulado en ejes sencillos de 8.2 ton en el carril de proyecto, Figuras 1.3 y 1.4.

Con los nomogramas citados, el proyectista podrá obtener los espesores equivalentes para cada capa a las profundidades Z_N , tomando en cuenta coeficientes de resistencia estructural recomendados a_i , que considera 1 cm de asfalto equivalente a 2 cm de grava.

- $a_1D_1 =$ carpeta, D_1 espesor en cm, a_1 coeficiente equivalencia
- $a_2D_2 =$ base, D_2 espesor en cm, a_2 coeficiente equivalencia
- $a_nD_n =$ capa n, D_n espesor en cm, a_n coeficiente equivalencia

Con lo anterior, el proyectista estará en posibilidades de determinar el espesor final de cada capa de la sección estructural del pavimento diseñado, interviniendo para ello los diferentes criterios que adopte para una mejor estructuración de la sección carretera, tomando en cuenta ciertos arreglos de capas, ciertas clases de materiales y mínimos espesores que se tienen especificados por la dependencia o autoridad responsable.

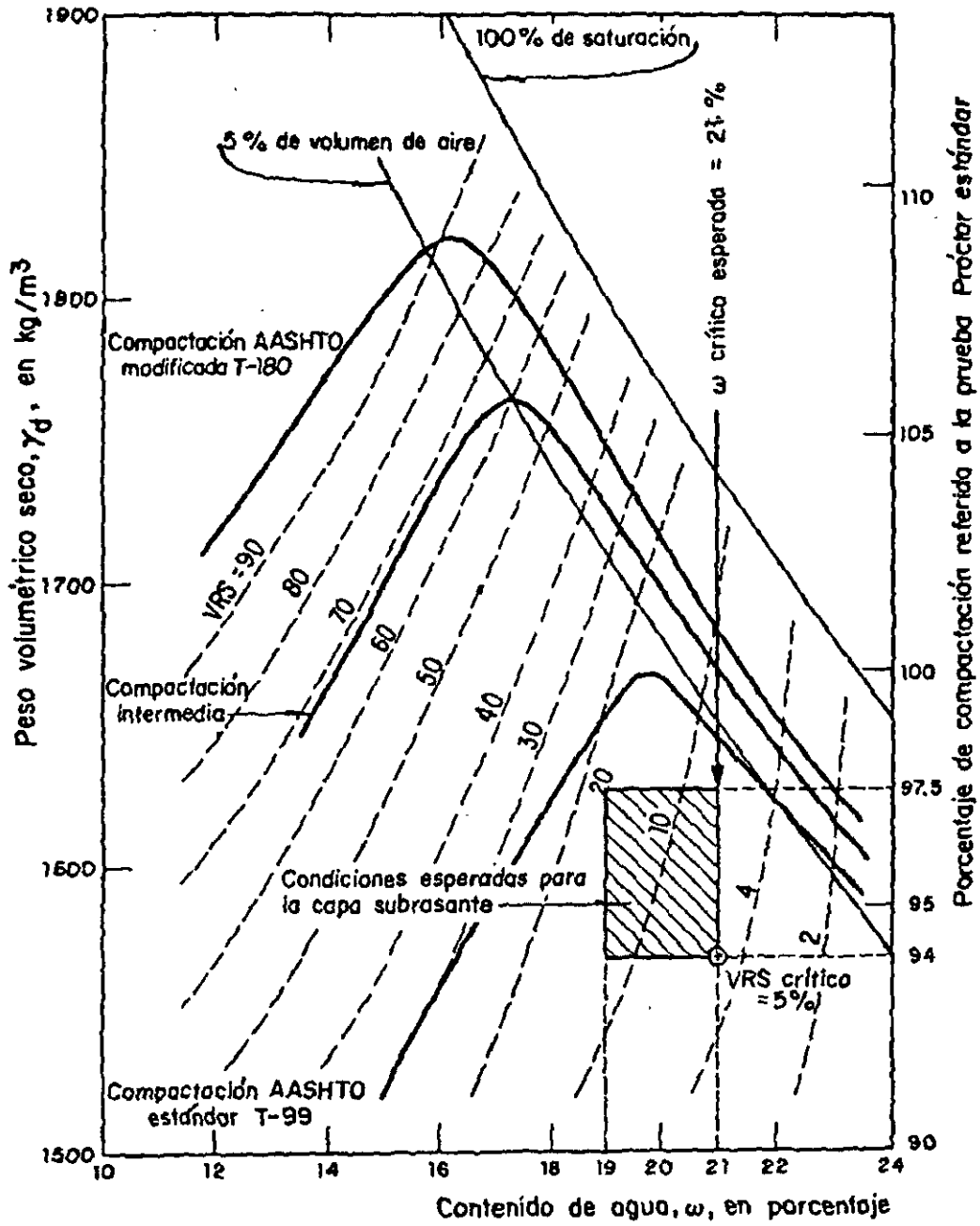
Es importante hacer notar que para complementar la información proporcionada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, sobre los coeficientes de daño incluidos en el apéndice E, el lector de este trabajo podrá consultar la información proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte en su Publicación Técnica No. 5, donde se trata con detalle el Análisis de los Coeficientes de Daño Unitarios correspondientes a los vehículos de carga autorizados en la Red Nacional de Carreteras Mexicanas.

En el citado trabajo, se utiliza la metodología original del Instituto de Ingeniería de la UNAM, pero con la diferencia de analizar el daño a los pavimentos hasta 120 cm de profundidad, lo que cubre la gran mayoría de los pavimentos de la red federal.

Se analizan 15 diferentes vehículos de carga, proporcionando sus coeficientes de daño desde una profundidad de $Z = 0$, $Z = 15$, $Z = 30$, $Z = 60$, $Z = 80$, $Z = 100$ y hasta llegar a $Z = 120$ cm, para ver el daño en las capas inferiores de la sección estructural de un pavimento flexible, llegando hasta el cuerpo del terraplén. Además se reporta el coeficiente de daño "unitario" ponderado por carga útil, lo que auxiliará al proyectista para determinar el daño preciso en cualquier profundidad y para cualquier valor de carga; esto es, vacío, parcialmente cargado y cargado totalmente con la máxima carga legal permitida y aún los casos de vehículos con sobrecarga.

Para lograr el detalle anterior y una mayor precisión en el cálculo hasta obtener los ejes totales equivalentes, el usuario tendrá que ampliar su tabla de cálculo sugerida por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (reporte No. 444), adicionando columnas y renglones para cada tipo de vehículo; columnas para más valores de profundidad $Z = n$ y renglones para incluir y analizar el daño producido cuando los vehículos circulan parcialmente cargados y cuando operan sobrecargados.

Figura 1.1 EJEMPLO RELACIONES PESO VOLUMÉTRICO SECO - CONTENIDO DE AGUA - VRS, PARA UN SUELO ARCILLOSO.



TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO ①	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS ②		COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS ③ = ① x ② ④	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton	
		CARPETA Y BASE Z ^a _____ ⑤	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z ^a _____ ⑥		CARPETA Y BASE ⑦ = ③ x ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑧ = ③ x ⑤		
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
SUMAS	1.000	_____		1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧			
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$					TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨			
n = AÑOS DE SERVICIO =					C _T ⑩			
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = %					ΣL ⑪ = ⑧ x ⑨ x ⑩			
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL =		CD CARRIL PROYECTO =						

Figura 1.2 CÁLCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO (ΣL).

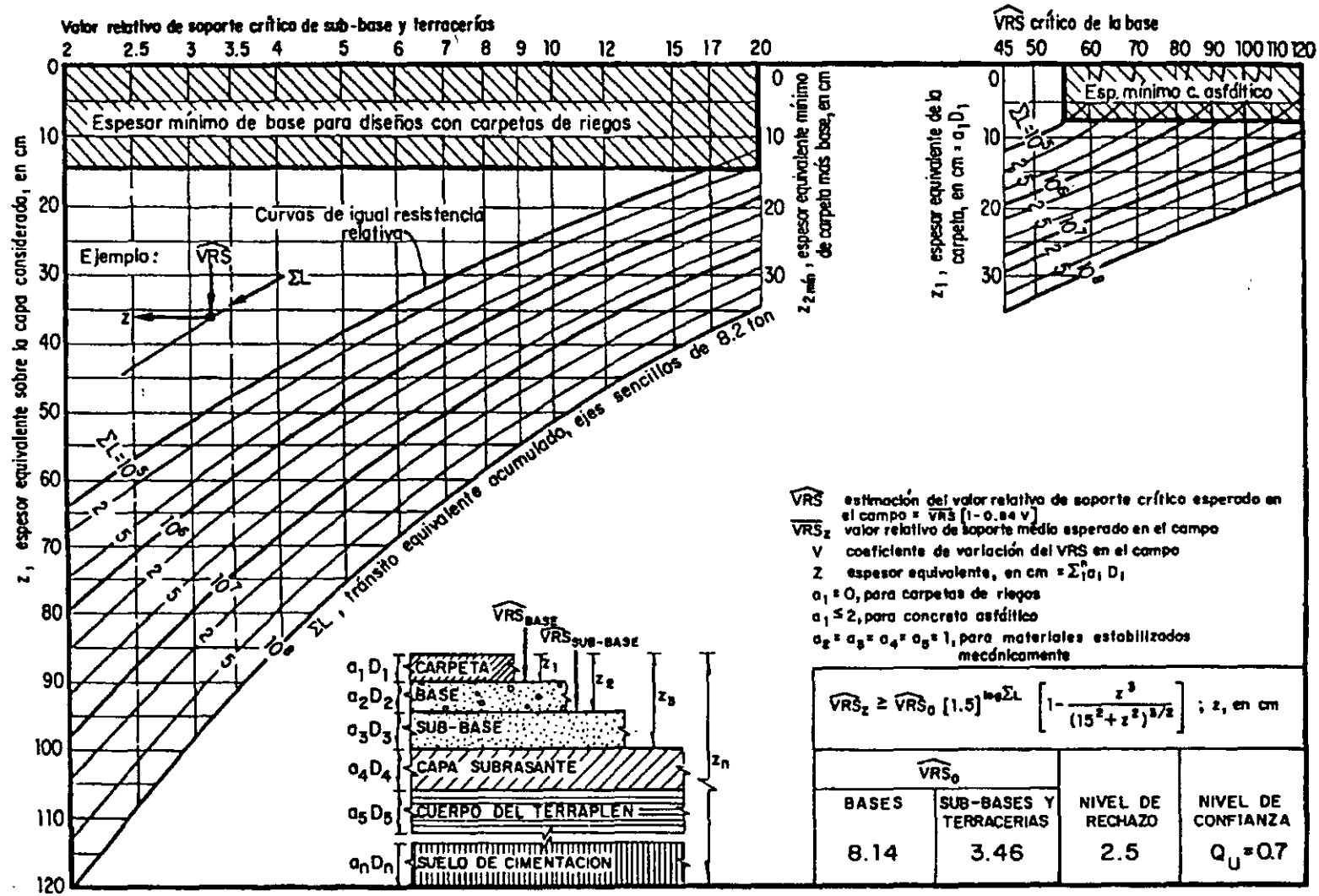


Figura 1.3. GRÁFICA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.

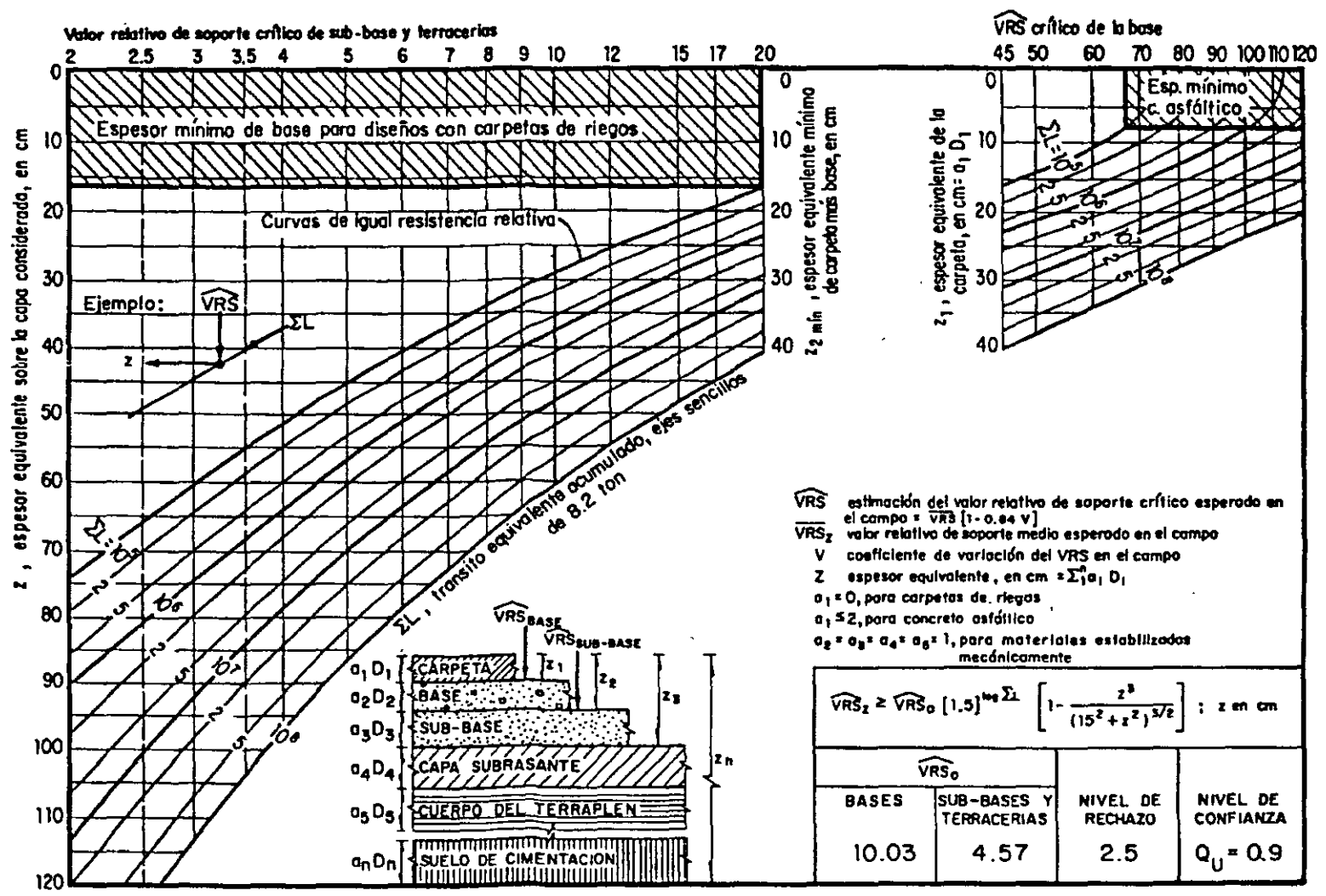


Figura 1.4. GRÁFICA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA Y A DISTANCIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM



Curso
Diseño de Pavimentos Flexibles
CA-60

Expositor
Ing. Miguel Sánchez Mejía

Noviembre 2011

2.- Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Dispav 5.0)

1. INTRODUCCIÓN AL CRITERIO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

En el presente informe se presenta la versión más reciente del criterio de diseño estructural desarrollado por los autores, en el Instituto de Ingeniería, UNAM. Los conceptos empleados en las versiones anteriores, han mostrado ser compatibles con el trabajo actual que amplía la información experimental e incluye el caso de carreteras de altas especificaciones y la información actualizada sobre comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas típicas del país.

Para simplificar el empleo del método de diseño se utiliza un programa interactivo de cómputo, DISPAV-5 - Diseño de Pavimentos, empleando secciones estructurales hasta de cinco capas -, lo cual simplifica mucho el empleo del método de diseño ya que incorpora tanto el cálculo por deformación permanente, en el modelo elasto-plástico desarrollado en el Informe 325 de las Series del Instituto de Ingeniería, como el cálculo por fatiga empleando modelos elásticos de varias capas tal como se recomienda en dicho informe.

El programa utiliza el planteamiento teórico-experimental propuesto en los informes números 325 y 444 del Instituto de Ingeniería, UNAM, complementado con los resultados de las numerosas investigaciones realizadas desde 1964 a 1988 y la información existente en el ámbito internacional.

El DISPAV-5 es un programa de tipo interactivo que permite calcular tanto carreteras de altas especificaciones como carreteras normales. Su fundamento es teórico-experimental, y para su aplicación se emplean conceptos y métodos de cálculo mecanicistas.

Entre las adiciones incluidas, respecto al método original, publicado en 1974, está la de incorporar de manera explícita un modelo mecanicista para determinar las deformaciones unitarias de fatiga, basado en los estudios experimentales realizados en el Instituto de Ingeniería, UNAM, sobre mezclas asfálticas típicas durante los años 1985 a la fecha.

También se agrega un nuevo modelo desarrollado para diseñar estructuras de carreteras de altas especificaciones tomando en cuenta tanto la deformación permanente acumulada (rodera) como el agrietamiento a fatiga en las capas ligadas con asfalto. El modelo original para caminos normales, no sufrió cambios adicionales y también está incorporado al DISPAV-5.

El método de diseño está fundamentado en la extensa experimentación realizada a escala natural, tanto en el campo como en el laboratorio, y los estudios analíticos llevados a cabo dentro del programa experimental del Instituto de Ingeniería, UNAM. Al comparar sus predicciones con diversos criterios ampliamente reconocidos en el extranjero, los resultados son satisfactorios.

En lo que se refiere al diseño por deformación permanente es importante señalar que el método previene la deformación excesiva en las capas no estabilizadas con asfalto (base, sub-base, subrasante y terracería). Además, se considera que las mezclas asfálticas se han proyectado de manera cuidadosa y que por tanto las deformaciones de las capas asfálticas son relativamente pequeñas.

Debe mencionarse que existe una alta dependencia entre las características mecánicas de las mezclas asfálticas y las variaciones climáticas en la carretera, combinadas con la frecuencia e intensidad de las sollicitaciones del tránsito. Debido a este problema existen variaciones muy altas en los módulos de rigidez (o módulos "elásticos") de las mezclas asfálticas durante la vida de servicio del camino:

La determinación del "módulo de rigidez equivalente", que representa las condiciones normales de la carretera durante las diferentes épocas del año, presenta una dificultad significativa para su determinación, en todos los métodos de diseño, y en la práctica este es uno de los factores de diseño que requiere experimentación amplia y buen juicio del proyectista para llegar a un proyecto adecuado.

Para resolver dicho problema, se requiere zonificación de la carretera, análisis por estación climática y estudios analíticos, aplicando la ley de Miner para determinar el "módulo de rigidez equivalente" de las capas asfálticas, que produce el mismo comportamiento estructural de la carretera que el que ocurre en la realidad, donde las variaciones de módulo de rigidez se presentan durante las diferentes horas del día y de la noche, con fuertes diferencias según la zona geográfica y la estación del año.

En consecuencia, el método de diseño estructural del Instituto de Ingeniería, UNAM, presupone un proyecto adecuado de las mezclas asfálticas, mediante el proporcionamiento cuidadoso de las mismas y la elección adecuada de los materiales empleados en ellas.

La prevención de este tipo de deformación en las capas asfálticas es de mucha importancia cuando las temperaturas son altas y los espesores son gruesos, sobre todo si el tránsito es de tipo pesado.

Al aplicar el método de diseño estructural del Instituto de Ingeniería, UNAM, debe tenerse suficiente información sobre los insumos requeridos, ya que la confiabilidad de los resultados del cálculo depende de que los datos empleados sean representativos de las propiedades esperadas de los materiales en el lugar, durante la vida de servicio de la obra vial.

1.1 Opciones de cálculo:

El programa permite dos procedimientos de cálculo, que se detallan en los capítulos 2 y 3.

- 1. Diseño de un pavimento, a partir de un tránsito de proyecto y de características mecánicas de materiales conocidos. En este caso se llega a la determinación de los espesores de capa requeridos para el tránsito de proyecto deseado.**
- 2. Determinación de la vida previsible por deformación permanente y por agrietamiento debido a fatiga, del sistema de capas analizado.**

1.2 Entrada al programa interactivo de cómputo DISPAV-5

El programa opera, de manera ejecutable en computadoras con sistemas operativos Windows 3.1, 3.11, Windows 95/ 98 / NT, lo cual requiere que el disco duro tenga archivos tipo FAT. No requiere de instalación especial en la computadora y la velocidad de la misma puede ser de 66 MHz en adelante.

Para iniciar el cálculo hay que introducir el disquete del programa en el puerto A: \, con todo el conjunto de programas del DISPAV-5. Para iniciar el cálculo se abre el archivo DISPAV-5.exe, que de manera interactiva solicitará los insumos requeridos.

Para mayor rapidez de cálculo, los programas incluidos en el disquete DISPAV-5 pueden copiarse a una carpeta o a un subdirectorio del disco duro de la computadora.

2. PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL

El procedimiento tiene varias etapas:

1. Entrada de datos.
2. Diseño por deformación
3. Revisión del diseño anterior para efectos de fatiga.
4. En caso de que no se satisfaga el criterio de fatiga se puede modificar el diseño resultante.

2.1 Entrada de datos del proyecto

El programa requiere la alimentación de información referente al tipo de carretera, tránsito de proyecto, materiales a emplear y nivel de confianza. A continuación se detallan esos pasos, en el orden pedido por el programa.

2.1.1 Tipo de carretera

Se presentan dos modelos de diseño:

1. Diseño de carreteras de altas especificaciones en las cuales se requiere conservar un nivel de servicio alto de la superficie de rodamiento, durante toda la vida de servicio. Al término de la vida de proyecto la deformación esperada con este modelo

de diseño es del orden de $\Delta_{20} = 1.2$ cm (percentil 80 de la deformación máxima) con agrietamiento ligero o medio

2. Diseño en carreteras normales en donde la deformación permanente esperada, al término de la vida de proyecto, es de $\Delta_{20} = 2.5$ cm, con agrietamiento medio o fuerte. En este tipo de diseño se debe hacer mantenimiento rutinario frecuente.

Es importante hacer notar que el comportamiento del pavimento depende de manera significativa del control de calidad en la construcción y de un mantenimiento adecuado. En el caso de carpetas asfálticas el diseño de la mezcla asfáltica es un elemento importante en el comportamiento y se requiere un diseño cuidadoso para evitar la falla prematura.

En el caso de los caminos de altas especificaciones las consideraciones anteriores tienen mayor relevancia, y es necesario elegir materiales de construcción de muy buena calidad; emplear un diseño correcto en las mezclas asfálticas, considerando la posibilidad de realizar pruebas de comportamiento de las mismas, para tener una mayor confiabilidad en el proyecto; y por último aplicar un control de calidad riguroso durante la construcción.

2.1.2 Tránsito de proyecto

El método requiere dos tránsitos de proyecto:

- Tránsito equivalente para el diseño por fatiga de las capas ligadas (**daño superficial**), y
- Tránsito equivalente para el diseño por deformación permanente acumulada (**daño profundo**).

En la experimentación se toman en cuenta las cargas reales. Sin embargo en el proceso de análisis se acostumbra utilizar el "**Tránsito Equivalente**", usualmente referido a ejes

sencillos con llantas gemelas y peso estándar de 8.2 t, el cual produce el mismo daño que el "Tránsito Mezclado" que se presenta en la realidad.

En carreteras de dos carriles, el tránsito del carril del proyecto se considera como la mitad del total que soportará la carretera. En carreteras con más de dos carriles, debe estimarse la proporción de vehículos que soportará el carril de proyecto. Esta decisión es muy importante porque influye de manera directa en el costo de la carretera, y en su comportamiento en condiciones reales de servicio. Si no se cuenta con información confiable, pueden estimarse las siguientes distribuciones del tránsito total para dicho carril de proyecto:

DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN EL CARRIL DE PROYECTO

Número de carriles en ambas direcciones	Coefficiente de distribución en el carril de proyecto, en por ciento
2	50
4	40 - 50
6	30 - 40

Para anotar los insumos correspondientes al tránsito equivalente, en el carril de proyecto, que deberá soportar la carretera durante su vida útil se dispone de dos alternativas:

1. Si se conocen los tránsitos equivalentes de 8.2 toneladas métricas (18,000 libras) en el carril de proyecto, basta simplemente introducirlos, anotando su valor en millones de ejes estándar, apretando después la tecla de entrada.

2. Si se desconocen dichos tránsitos equivalentes, se pueden estimar, empleando la subrutina incluida en el programa, a partir de los siguientes datos:

--- Tránsito diario promedio en el carril de proyecto, en número de vehículos.

--- Composición del tránsito, por tipo de vehículo, en por ciento.

- Carga por eje (sencillo, doble o triple) de cada tipo de vehículo, en toneladas métricas.
- Proporción de vehículos cargados y vacíos, en forma global o por cada tipo de unidad.
- Tasa de crecimiento anual del tránsito, en por ciento.
- Período de proyecto, en años.

Después de haber calculado el tránsito de proyecto, el programa lo clasifica en cuatro niveles, con objeto de establecer espesores mínimos de capa, de acuerdo con lo siguiente:

Niveles del tránsito equivalente en el carril de proyecto

Nivel del tránsito equivalente	Ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas
I	$T \leq 10^6$
II	$10^6 < T \leq 10^7$
III	$10^7 < T \leq 5 \times 10^7$
IV	$5 \times 10^7 < T$

2.1.3 Capas consideradas

Para iniciar el diseño se requiere saber como lo concibe el proyectista y se piden las capas que se están considerando incluir.

Desde el punto de vista estructural es conveniente emplear un número de capas no mayor de cinco, de tal manera que tanto el análisis como la construcción correspondan a un proyecto bien definido, fácil de construir y de conservar durante su vida de servicio.

De acuerdo con lo anterior, el programa DISPAV-5 está proyectado para analizar secciones estructurales con un máximo de cinco capas, las cuales pueden ser:

1. Carpeta asfáltica,
2. Base granular, o estabilizada con asfalto,
3. Sub-base granular,

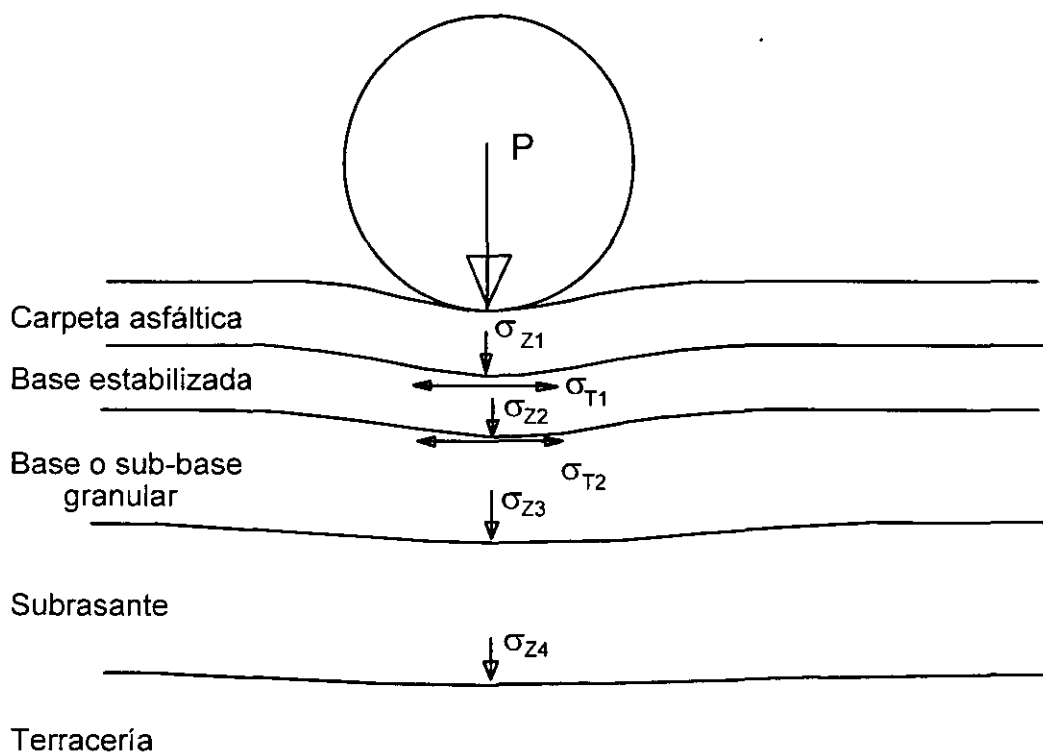
4. Subrasante, y

5. Terracería.

El número mínimo de capas consideradas es dos, y una de ellas debe ser la terracería.

También se establece como restricción que la primera capa sea carpeta o base.

La posibilidad de incluir una base estabilizada con asfalto se considera más adelante, después de hacer el análisis de esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión en la carpeta.



Ejemplo de una sección estructural típica

La capa de terracería se analiza como un medio semi – infinito, aspecto que hay que tomar en cuenta cuando se realiza el análisis de deflexiones de la sección estructural.

El método de diseño proporciona una estimación adecuada de las deformaciones unitarias por fatiga en las capas estabilizadas con asfalto, empleando el modelo elástico de cinco capas (CHEV4), con las adaptaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería, UNAM..

2.1.4 Valores relativos de soporte críticos, VRSz

A continuación se piden los Valores Relativos de Soporte críticos de cada una de las capas no estabilizadas. El VRSz es una de las variables de proyecto más importantes y el proyectista debe poner mucho cuidado en su estimación de manera que sea representativo de las condiciones esperadas en el camino durante la vida de servicio de la obra vial. Se pueden consultar los informes 325 y 444 de la *Series del Instituto de Ingeniería, UNAM*, para recomendaciones sobre su elección.

En este punto el programa revisa los Valores Relativos de Soporte críticos introducidos (VRSz), en relación con los valores máximos y mínimos permisibles para cada capa.

El VRSz crítico es comparado con el máximo permisible (VRSmax) el cual está basado en consideraciones prácticas de proyecto. Si dicho VRSz es mayor, entonces se toma el VRSmax como valor de proyecto (VRSp) para efectos de diseño por deformación permanente acumulada; conservando el VRSz estimado por el proyectista para su utilización posterior.

VRSmax para todos los niveles de tránsito, (VRSp)

Capa	VRSmax
Base	120
Sub-base	30
Subrasante	20
Terracería	20

Los valores máximos de **VRSz** se establecen para obtener espesores razonables desde el punto de vista constructivo, y por confiabilidad del diseño.

Los **VRSz** mínimos se especifican para limitar la calidad mínima de la base y de la terracería.

VRSz mínimos, para todos los niveles de tránsito

Material	VRSp mínimo permisible por proyecto, en por ciento
Base	70
Terracería	3

Si se introducen valores menores a éstos el programa se detiene.

En el caso de la terracería, un Valor Relativo de Soporte (**VRSz**) muy bajo implica un terreno de cimentación que requiere estudios geotécnicos especiales para diseñar la sección estructural de la carretera. En este caso es posible que existan problemas serios de drenaje, o un nivel freático alto, que causen consolidación de la sección estructural de la carretera y problemas en el comportamiento del pavimento.

Una calidad indeseable de la terracería ocasiona problemas no considerados en el método de diseño (como consolidación, expansión y otros) y no resulta adecuado diseñar si no se corrigen previamente estos problemas.

2.1.5 Módulos elásticos de las capas no estabilizadas

Para el diseño por fatiga se requieren encontrar las deformaciones unitarias críticas de tensión en la parte inferior de la carpeta. Para esto se necesita conocer el módulo de rigidez (módulo elástico) de las capas no estabilizadas.

El programa solicita al usuario ese módulo de rigidez. En caso de que no se tenga una estimación fundamentada de ese valor se presenta al usuario la opción de estimarlo a partir del **VRSz** crítico esperado en el lugar (sin afectarlo por restricciones de valores mínimos o máximos), de acuerdo con el modelo desarrollado en el Instituto de Ingeniería, UNAM, igual a: $E = 130 \text{ VRSz}^{0.7}$.

Las relaciones empíricas entre el módulo de rigidez y el **VRSz** deben tomarse con precaución pues se obtienen para condiciones muy generales y pueden requerir modificaciones en proyectos específicos. El programa permite que el usuario cambie los valores sugeridos, para tomar en cuenta su experiencia con los materiales específicos del proyecto.

2.1.6 Módulo de rigidez de la carpeta

Los requisitos establecidos en el modelo hacen necesario contar con carpeta asfáltica para tránsito de proyecto medios y altos; para tránsito bajo su inclusión es opcional.

Para fines de cálculo estructural, cuando se utiliza carpeta asfáltica se requiere introducir el módulo de rigidez, o módulo dinámico, en kg/cm^2 . La estimación del módulo de rigidez de proyecto es un procedimiento que debe hacerse con mucho cuidado, ya que debe representar el comportamiento de dicha capa en condiciones de servicio, durante la vida útil de la carretera.

En la reología de las mezclas asfálticas, la temperatura y el tiempo de aplicación de carga tienen una influencia significativa en el valor del módulo en un momento determinado, por lo cual se recomienda hacer estudios regionales para fijar los valores de proyecto.

Lo anterior puede hacerse analíticamente aplicando la ley de **Miner** al análisis detallado de la información experimental, por épocas climáticas.

En el diseño por deformación el módulo de la carpeta se requiere solo para estimar el coeficiente de equivalencia de esa capa, en relación con la base granular. Esta estimación se obtiene aplicando el criterio de Odemark, como la raíz cúbica de la relación de módulos elásticos de ambas capas; para llegar a coeficientes congruentes se tomó como referencia una base con $VRSz = 100$ por ciento.

Si no se conoce el módulo de rigidez de la carpeta el programa se detiene para darle oportunidad al proyectista de obtenerlo experimentalmente, o de estimarlo a partir de la composición volumétrica, características del asfalto, frecuencia de aplicación de carga y temperatura, por medio del programa MODULO-5.

El programa MODULO-5 está basado en la experiencia de diferentes instituciones y se incluye como apoyo para estimar los módulos de rigidez, pero no forma parte del programa de diseño DISPAV-5.

Al obtener el módulo de la capa asfáltica es necesario considerar con cuidado la temperatura de proyecto y la frecuencia de aplicación de la carga.

La frecuencia de aplicación de la carga depende de la velocidad de operación de los vehículos (de los vehículos pesados en particular) y de la profundidad de la capa. El programa suministra sugerencias para frecuencias de aplicación aplicables a diferentes profundidades medias de capa y para la velocidad de operación normal de una carretera (del orden de 90 k.p.h.; en caso de velocidades menores, por ejemplo en carriles de ascenso para vehículos pesados, se debe hacer la corrección adecuada).

2.1.7 Relaciones de Poisson

También se necesita la relación de Poisson de todas las capas. Este parámetro es difícil de determinar experimentalmente ya que se requieren maquinas de prueba con una instrumentación que permita medir con precisión las deformaciones resilientes vertical y horizontal. El programa suministra valores promedio para cada capa y permite al usuario

modificar esos valores en caso de contar con información confiable de ese parámetro para los materiales específicos que emplea.

2.1.8 Nivel de confianza del proyecto

El nivel de confianza se refiere a la probabilidad de que la duración real del pavimento sea al menos igual a la de proyecto. Se sugiere el empleo de un nivel de 85 por ciento, pero el método permite al usuario el empleo de cualquier nivel entre 50 y 99 por ciento.

Con este dato termina la entrada de datos del proyecto por deformación permanente y se pasa al cálculo de espesores.

2.2 Diseño por deformación permanente en la rodada.

Al tener el tránsito equivalente, los $VRSz$ de las capas no estabilizadas, el módulo elástico de la carpeta, y el nivel de confianza del proyecto, se determinan los espesores requeridos para cada capa de la sección estructural, empleando los modelos matemáticos desarrollado para ese fin.

Se recomienda consultar los informes 325 y 444 de las Series del Instituto de Ingeniería, UNAM así como la extensa información experimental disponible, en relación con los modelos matemáticos sobre diseño por deformación permanente.

En caso de que al determinar los espesores se encuentre alguna capa que requiera espesores muy pequeños (menores que 10 cm) se pone a consideración del proyectista la conveniencia de reconsiderar el proyecto desechando el uso de esa capa. Si el proyectista está de acuerdo con ello se calculan de nuevo los espesores sin esa capa. Si no se acepta la sugerencia, el diseño continúa con las capas propuestas inicialmente, ajustando el espesor calculado al espesor mínimo correspondiente a esa capa y al tránsito de proyecto.

2.2.1 Espesores mínimos de cada capa

El espesor obtenido para cada capa se compara con el espesor mínimo especificado para el nivel de tránsito de proyecto establecido. Si el espesor calculado es menor al mínimo especificado, **se toma dicho espesor mínimo como espesor de proyecto**, y se disminuyen los espesores de las capas inferiores, de acuerdo con los coeficientes estructurales de esas capas.

Los espesores mínimos especificados para las capas de base y sub-base se fijan por consideraciones constructivas, fundamentados en el comportamiento de carreteras en condiciones reales de servicio.

Espesores mínimos de las capas de pavimento, en cm				
Capa	Tránsito			
	I	II	III	IV
Carpeta *	0	5	5	5
Base *	15	15	15	15
Sub-base *	15	15	15	15
Subrasante **	20	30	30	30
Subrasante ***	30	40	40	40

Notas.
 Aplicable a caminos normales y carreteras de altas especificaciones (*)
 Aplicable a caminos normales (**)
 Aplicable a carreteras de altas especificaciones (***)

Se estima que los caminos con tránsito equivalente menor de un millón de ejes estándar pueden construirse con un tratamiento superficial, sobre una base de buena calidad. Para tránsitos mayores es conveniente la colocación de una carpeta de concreto asfáltico, o base asfáltica con un tratamiento superficial.

Al terminar esta etapa se presenta al proyectista el diseño por deformación, tanto el calculado sin restricción de espesores, como el recomendado por espesores mínimos.

Si el proyecto incluye una carpeta asfáltica se pregunta al proyectista si desea continuar el análisis por fatiga. **Se recomienda que el proyectista continúe ese camino, ya que es indispensable para realizar el análisis estructural completo.**

Si el proyectista decide no continuar el análisis por fatiga por no tener carpeta asfáltica, sino simplemente un riego de sello, el programa finaliza con el diseño por deformación permanente acumulada, dando oportunidad al usuario de imprimir el resultado.

2.3 Revisión del diseño por efectos de fatiga

2.3.1 Revisión de los módulos elásticos

El programa revisa que la relación de módulos entre dos capas adyacentes no estabilizadas no sobrepase cierto límite, para evitar la generación teórica de esfuerzos de tensión excesivos en la parte inferior de la capa superior. Esta relación límite se toma de estudios de la compañía Shell: $K = 0.2 h^{0.45}$, donde K es la relación de módulos admisible, h es el espesor de la capa superior en mm.

En caso de que se exceda la relación de módulos el programa propone el ajuste recomendable en el valor de los módulos de rigidez, si el proyectista acepta la sugerencia se hace el ajuste, en caso contrario se continúa con los valores iniciales.

2.3.2 Cálculo de la deformación unitaria de tensión en la carpeta

Con los datos anteriores se pasa al cálculo de la deformación unitaria de tensión en la carpeta, para ello se hace uso del programa de computadora CHEV4, desarrollado por la compañía CHEVRON y adaptado primero en Sudáfrica y después en el Instituto de Ingeniería, UNAM (CHEV5).

El programa permite el empleo de cinco capas.

2.3.3 Vida previsible por deformación permanente y por fatiga

El valor calculado de la deformación unitaria de tensión en la carpeta, permite la obtención de la vida previsible por fatiga, empleando el modelo matemático de vida por fatiga, desarrollado en el Instituto de Ingeniería, UNAM; de acuerdo con el nivel de confianza elegido para el proyecto.

2.4 Ajustes al diseño anterior

La vida previsible obtenida antes se compara con el tránsito de proyecto y el resultado puede ser alguno de los siguientes:

- La vida previsible por fatiga o por deformación es menor que el tránsito de proyecto correspondiente. En este caso se requieren ajustes para obtener un diseño adecuado.
- Las vidas previsibles son iguales a la de proyecto (dentro de una tolerancia de +/- 10% del tránsito de proyecto), o alguna de ellas está en esa tolerancia y la otra es mayor. Tomando en cuenta la posibilidad real de que uno de los dos criterios sea el que defina el espesor, y el otro criterio quede sobrado; aquí se considera que el pavimento puede ser el adecuado, aunque conviene buscar ajustes al diseño para tratar de obtener un diseño más económico.

- Ambas vidas previsibles son mayores que el tránsito de proyecto, tomando en cuenta la tolerancia de 10%. En este caso se considera que el diseño requiere ajustes para tener un diseño más económico.

El procedimiento seguido en cada uno de los casos anteriores se describe a continuación.

2.4.1 La vida previsible es menor que el tránsito de proyecto.

En este caso el programa presenta cuatro opciones al proyectista:

1. Cambiar las propiedades de las capa(s) asfáltica(s). En esta opción no se permite cambiar el número de capas, solo cambiar el módulo de rigidez de las capas asfálticas. En general se recomienda que si se van a cambiar los materiales se piense el proyecto de nuevo, reiniciando desde el principio.

2. Aumentar el espesor de alguna(s) capa(s). En esta segunda opción se permite modificar el espesor de algunas capas del pavimento. Por ejemplo aumentar el espesor de carpeta y disminuir el espesor de alguna capa inferior, cuidando siempre los espesores mínimos.

3. Considerar la colocación de una base asfáltica. La tercera opción incorpora una capa de base asfáltica al proyecto. En este caso se requiere meter las características mecánicas de la nueva capa:

- Espesor propuesto para esta capa.
- Módulo de rigidez. El proyectista debe tenerlo, en caso contrario debe terminar la corrida del programa para estimar su valor, ya sea en pruebas de laboratorio, o estimarlo con el programa MODULO.

- Relación de Poisson.

Si una vez introducida la base asfáltica el número de capas del pavimento es mayor que cinco, se requiere eliminar una de las capas no asfálticas, para no rebasar el número máximo de capas aceptado por el programa. Si el número de capas, incluida la base asfáltica, no rebasa cinco no se requiere ningún ajuste.

Después de haber ajustado el número de capas, en caso de ser necesario, el proyectista tiene opción de modificar los espesores de las capas restantes, para tomar en cuenta los cambios realizados.

4. Terminar la corrida del programa. En este caso el programa le da la opción de imprimir el último diseño encontrado, antes de terminar.

Después de cambiar las propiedades de los materiales (si eligió la alternativa 1) o de incrementar algunos espesores de capa (si eligió la alternativa 2) o definir la capa de base asfáltica (si tomó la tercer alternativa), el programa vuelve a calcular la vida previsible por fatiga y por deformación para el nuevo sistema de capas y compara de nuevo con los tránsitos de proyecto.

2.4.2 La vida previsible está en un intervalo de +/- 10% del tránsito de proyecto.

En este caso se tiene ya un diseño que satisface los requerimientos para evitar la deformación excesiva o la falla por fatiga de manera prematura, o ambos criterios. Sin embargo, en caso de que alguno de los criterios de diseño se encuentre sobrado, es recomendable analizar diferentes alternativas de ajuste para buscar alguna solución más económica que siga siendo satisfactoria.

Si el proyectista decide continuar estudiando el diseño, el programa le da opción a imprimir el diseño actual antes de modificarlo, a continuación le presenta las mismas opciones

consideradas en el punto anterior para modificar el diseño actual y hacer su verificación posterior.

En caso de que el proyectista decida no continuar el diseño, el programa permite la impresión de resultados antes de terminar.

2.4.3 La vida previsible es mayor que el tránsito de proyecto.

Si la vida previsible, tanto en deformación como fatiga es mayor que el tránsito de proyecto, considerando la tolerancia de 10%, se permite al proyectista hacer ajuste en materiales o espesores, para llegar a un diseño más aceptable, o terminar la corrida del programa.

Si elige hacer cambios en su proyecto el programa permite las mismas opciones que en los casos anteriores. Después de haber hecho los ajustes deseados, se reinicia el cálculo de la vida previsible por fatiga y deformación con los nuevos datos.

Al terminar estas iteraciones se termina el procedimiento de diseño.



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA Y A DISTANCIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM



Curso
Diseño de Pavimentos Flexibles
CA-60

**Método de Diseño del Instituto del asfalto
de los EUA**

Expositor
Ing. Miguel Sánchez Mejía

Noviembre 2011

3.- Método de Diseño del Instituto del Asfalto de los EUA.

El método más reciente del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, editado en 1991 y publicado en 1993, presenta algunos cambios significativos, respecto a los métodos anteriores para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles. El método se basa principalmente en la aplicación de la teoría elástica en multicapas, que utiliza resultados de investigaciones recientes por parte de ese organismo. Sin embargo, se reconoce que por los avances en la tecnología de los pavimentos asfálticos, se requieren más conocimientos sobre las propiedades de los materiales para las necesidades actuales de los sistemas carreteros, por lo que el método vigente, probablemente requiera revisión e implementación futuras.

El manual presenta un procedimiento de diseño para obtener los espesores de la sección estructural de pavimentos, donde se utilizan el cemento asfáltico y las emulsiones asfálticas en toda la sección o en parte de ella. Se incluyen varias combinaciones de superficies de rodamiento con concreto asfáltico, carpetas elaboradas con emulsiones asfálticas, bases asfálticas y bases o subbases granulares naturales.

3.1.- Estimación del tránsito.

El método actual distingue el "Período de Diseño" del "Período de Análisis", de la siguiente manera:

Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier período de tiempo; el período seleccionado, en años, se define como "Período de Diseño". Al término de éste, se espera que el pavimento requiera alguna acción de rehabilitación mayor, como puede ser una sobrecarpeta de refuerzo para restaurar su condición original. La vida útil del pavimento, o "Período de Análisis", puede ser extendida indefinidamente, a través de sobrecarpetas u otras acciones de

rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta por cambios significativos en pendientes, alineamiento geométrico y otros factores. En la versión reciente, el método considera periodos de diseño de uno a 35 años y tasas de crecimiento del tránsito del 2 al 10% anual. (Ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1. TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO.

Periodo de Diseño, años: (n)	Tasa Anual de Crecimiento, en por ciento						
	2	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.2	164.4
35	49.99	73.65	90.32	111.4	138.2	172.3	271.0

Para el cálculo del porcentaje de camiones en el flujo vehicular sobre el carril de diseño, el actual método recomienda los siguientes valores:

Tabla 3.2. PORCENTAJE DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO.

Nº DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	% DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO
2	50
4	45
6 ó más	40

Un punto importante que se hace notar, es que para el cálculo de los ejes equivalentes, el método vigente recomienda utilizar la metodología de la AASHTO, en su versión 1993 (incluida en este trabajo). Para lo anterior, el método proporciona en la Tabla 3.3, factores de equivalencia de la carga o coeficientes de daño para ejes sencillos, dobles o triples, incluyendo cargas sobre el eje desde 0.5 toneladas (1,000 lb) hasta 41 toneladas (90,000 lb), lo que se considera cubre sobradamente cualquier condición de peso de vehículos de carga en cualquier red de carreteras, desde rurales hasta grandes autopistas.

Tabla 3.3. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA.

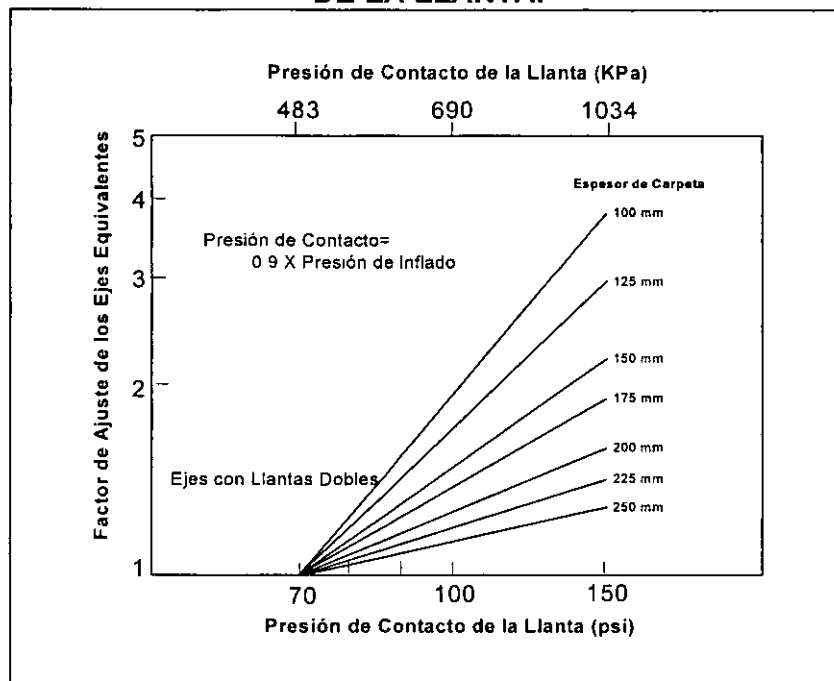
Carga Total por Eje o Conjunto de Ejes		Factores de Equivalencia de Carga		
Kn	lb	Eje Sencillo	Ejes dobles	Ejes Triples
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.00	7.45
364.7	82,000		32.00	8.2
373.6	84,000		35.30	8.9
382.5	86,000		38.80	9.8
391.4	88,000		42.60	10.6
400.3	90,000		46.80	11.6

Habiéndose obtenido los coeficientes por cada eje o conjunto de ejes, la suma proporcionará el coeficiente total de equivalencia del vehículo. Utilizando el factor o tasa anual de crecimiento del tránsito señalado en la Tabla 3.1, y multiplicándolo por

los coeficientes totales de equivalencia y por el número de vehículos del aforo del tránsito promedio anual, se obtienen los ejes equivalentes acumulados reales para el periodo de diseño considerado.

Como innovación en la versión actual, el método incorpora factores de ajuste de los ejes equivalentes de diseño, para diferentes presiones de contacto de las llantas sobre el pavimento, en función de su presión de inflado y de los espesores de la carpeta asfáltica, donde contempla desde cuatro hasta diez pulgadas de espesor (10 y 25 cm respectivamente). Ver Figura 3.1.

Figura 3.1. FACTOR DE AJUSTE DE LOS EJES EQUIVALENTES POR PRESIÓN DE LA LLANTA.



3.2.- Evaluación de los materiales.

Para el diseño de los espesores de una sección estructural del pavimento flexible, el método actual del Instituto del Asfalto, considera como parámetro fundamental, dentro de la evaluación de los materiales, la obtención del Módulo de Resiliencia (Mr), con recomendaciones del método de prueba descrito en el Manual de Suelos MS-10 del propio Instituto. Sin embargo, reconocen que no todos los organismos o dependencias tienen el equipo adecuado para llevar a cabo tal prueba, por lo que han establecido factores de correlación entre Mr y la prueba estándar de Valor Relativo de Soporte (T-193 de AASHTO). Señalan que los resultados son bastante aproximados; sin embargo, para un diseño preciso, se recomienda llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia para la capa de la subrasante.

Factores Recomendados de Correlación

$$Mr \quad (\text{Mpa}) = \quad 10.3 \quad \text{CBR}$$

$$Mr \quad (\text{psi}) = \quad 1,500 \quad \text{CBR}$$

Se hace notar que tales correlaciones sólo se aplican a materiales de la capa subrasante, no sirviendo para materiales granulares que se pretendan emplear en las capas de subbase o de la base.

Otro cambio importante en la actual metodología descrita, es la inclusión de métodos de prueba normados según AASHTO y ASTM para los siguientes parámetros:

Límite Líquido T89 y D4318, Límite Plástico T90 y D4318, Índice Plástico T90 y D4318, Granulometría T88 y D422, Compactación T180 y D1557, Valor Relativo de Soporte T193 y D1883, Valor R T190 y D2844 y para el Módulo de Resiliencia Mr se recomienda utilizar el método MS-10 del propio Instituto.

En función del tránsito esperado sobre el pavimento en estudio, el método del Instituto del Asfalto recomienda los siguientes valores percentiles para calcular el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa subrasante.

Tabla 3.4. VALOR PERCENTIL PARA DISEÑO DE SUBRASANTE, DE ACUERDO AL NIVEL DEL TRÁNSITO.

NIVEL DEL TRÁNSITO	VALOR PERCENTIL PARA DISEÑO DE SUBRASANTE
Menor de 10,000 ejes equivalentes	60
Entre 10,000 y 1'000,000 de ejes equivalentes	75
Mayor de 1'000,000 de ejes equivalentes	87.5

Con las muestras de material obtenidas en el campo y con los resultados obtenidos en el laboratorio para determinar sus Módulos de Resiliencia, el diseñador deberá calcular el Mr de diseño de la capa subrasante, con los percentiles sugeridos en la Tabla anterior.

Para los requerimientos de compactación en las capas de base y subbase, el actual método proporciona las siguientes recomendaciones:

Capas de base y subbase formadas con materiales granulares sin tratamiento, esto es, no estabilizadas, deberán compactarse con un contenido de humedad óptimo más menos 1.5 puntos en porcentaje, para alcanzar una densidad mínima del 100% de la densidad máxima de laboratorio, sugiriendo se utilice el Método AASHTO T180 o el ASTM D1557.

Así mismo, recomienda los siguientes valores para las diferentes pruebas a realizarse con materiales de bases y subbases:

Tabla 3.5. VALORES PARA DIFERENTES PRUEBAS, CON MATERIALES DE BASES Y SUBBASES.

PRUEBA:	REQUISITOS SUBBASE	REQUISITOS BASE
VRS, mínimo	20	80
Valor R, mínimo	55	78
Límite Líquido, máximo	25	25
Índice Plástico, máximo	6	NP
Equivalente de Arena, mínimo	25	35
Material que pasa la malla 200, máximo, (finos)	12	7

Es importante hacer notar, que dentro de las innovaciones que presenta el método de diseño del Instituto del Asfalto, además de las anteriormente descritas (teoría elástica multicapas, cementos y emulsiones asfálticas, periodos de diseño de 1 a 35 años, ejes equivalentes con metodología AASHTO, factor de ajuste para diferentes presiones de contacto de llantas, módulo de resiliencia de diseño, correlación del Mr con VRS, pruebas índice según ASTM o AASHTO para compactación), el método contempla factores de medio ambiente y varios tipos o clases de asfalto según las necesidades particulares de los usuarios. Esto es, tres diferentes temperaturas, según la región donde se pretenda construir el pavimento, climas fríos, templados y calientes, 7°C, 15.5°C y 24°C, respectivamente, empleando cementos asfálticos desde el AC-5 hasta el AC-40, recomendándose la clasificación siguiente:

Tabla 3.7. GRADOS DE ASFALTO DE ACUERDO AL TIPO DE CLIMA.

CLIMA	TEMPERATURA	GRADOS DE ASFALTO
Frío	Menor o igual a 7°C	AC-5, AC-10
Templado	Entre 7 y 24°C	AC-10, AC-20
Caliente	Mayor de 24°C	AC-20, AC-40

Para mezclas asfálticas emulsificadas, se pueden utilizar tanto emulsiones catiónicas (ASTM D2397) o aniónicas (ASTM D977). El grado o tipo de asfalto a seleccionarse, dependerá principalmente de su habilidad para cubrir los agregados, además de factores como la disponibilidad de agua en el sitio de trabajo, clima durante la construcción, procedimiento de mezclado y curado del material.

En cuanto a requerimientos de espesores mínimos, en función del nivel de tránsito en ejes equivalentes, el método recomienda los siguientes valores:

A) Para superficies de concreto asfáltico construidas sobre bases emulsificadas:

Tabla 3.8. ESPESORES MÍNIMOS DE CARPETA ASFÁLTICA, DE ACUERDO AL NIVEL DEL TRÁNSITO.

NIVEL TRÁNSITO EN EJES EQUIVALENTES	ESPESOR MÍNIMO DE CARPETA ASFÁLTICA EN CM: (1)
10,000	5.0
100,000	5.0
1'000,000	7.5
10'000,000	10.0
Mayor de 10'000,000	13.0

- (1) Podrá usarse concreto asfáltico o mezclas asfálticas emulsificadas Tipo I con un tratamiento superficial, sobre bases asfálticas tipo II o Tipo III.
 Tipo I: Mezclas elaboradas con agregados, textura cerrada.
 Tipo II: Mezclas elaboradas con agregados semi-procesados.
 Tipo III: Mezclas elaboradas con arenas o arenas-limosas.

B) Para superficies de concreto asfáltico construidas sobre bases granulares sin estabilizar:

Tabla 3.9. ESPESORES DE SUPERFICIE DE CONCRETO ASFÁLTICO SOBRE BASES GRANULARES SIN ESTABILIZAR.

NIVEL TRÁNSITO EN EJES EQUIVALENTES	CONDICIÓN TRÁNSITO	ESPESOR MÍNIMO DE CARPETA ASFÁLTICA EN CM
Hasta 10,000	Ligero	7.5 (2)
Entre 10,000 y 1'000,000	Mediano	10.0
Mayor de 1'000,000	Pesado	12.5 ó más

- (2) Para pavimentos de una sola capa formada con concreto asfáltico (full - depth) o pavimentos con emulsiones asfálticas, se requiere un mínimo de 10 cm.

3.3.- Cálculos de espesores de diseño.

El método más reciente del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, proporciona para el diseño final de los espesores de la sección estructural del pavimento flexible, 18 gráficas o cartas de diseño en sistema métrico y

18 en sistema inglés, las cuales cubren todas las variables involucradas en los párrafos anteriores de este trabajo.

Se presentan en el método gráficas con escalas logarítmicas para las tres condiciones climáticas consideradas, con el total de ejes equivalentes sencillos acumulados en el periodo de diseño y el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa subrasante, para obtener los espesores finales de pavimentos de una sola capa formada con concreto asfáltico (full - depth), pavimentos elaborados con emulsiones asfálticas tipos I, II y III y bases granulares sin tratamiento con espesores de 15 y 30 cm. Las gráficas 7°C deberán emplearse para temperaturas menores o iguales a 7°C, las gráficas 24°C para temperaturas de 24°C o mayores y las gráficas 15.5°C para temperaturas intermedias.

Para fines prácticos de este trabajo, se incluyen solamente 3 cartas de diseño en sistema métrico, (ver Figuras 3.2, 3.3 y 3.4) dejando que el usuario pueda obtener el espesor total de la estructura de concreto asfáltico, mismo que podrá convertir en una estructura multicapa, formada por la carpeta de rodamiento, base y subbase, empleando los coeficientes estructurales recomendados por la AASHTO para esas capas o los coeficientes de equivalencia sugeridos por el mismo Instituto del Asfalto o los Métodos de California. Adicionalmente, se sugiere al diseñador, consultar con mayor detalle los espesores finales que reportan en las 18 gráficas en sistema métrico, que proporciona el Método del Instituto del Asfalto en su Manual MS-1, o en su versión computarizada "HWY" que incluye el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y el diseño de sobrecarpetas de refuerzo.

Figura 3.2. GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DE UNA SOLA CAPA (7°C).

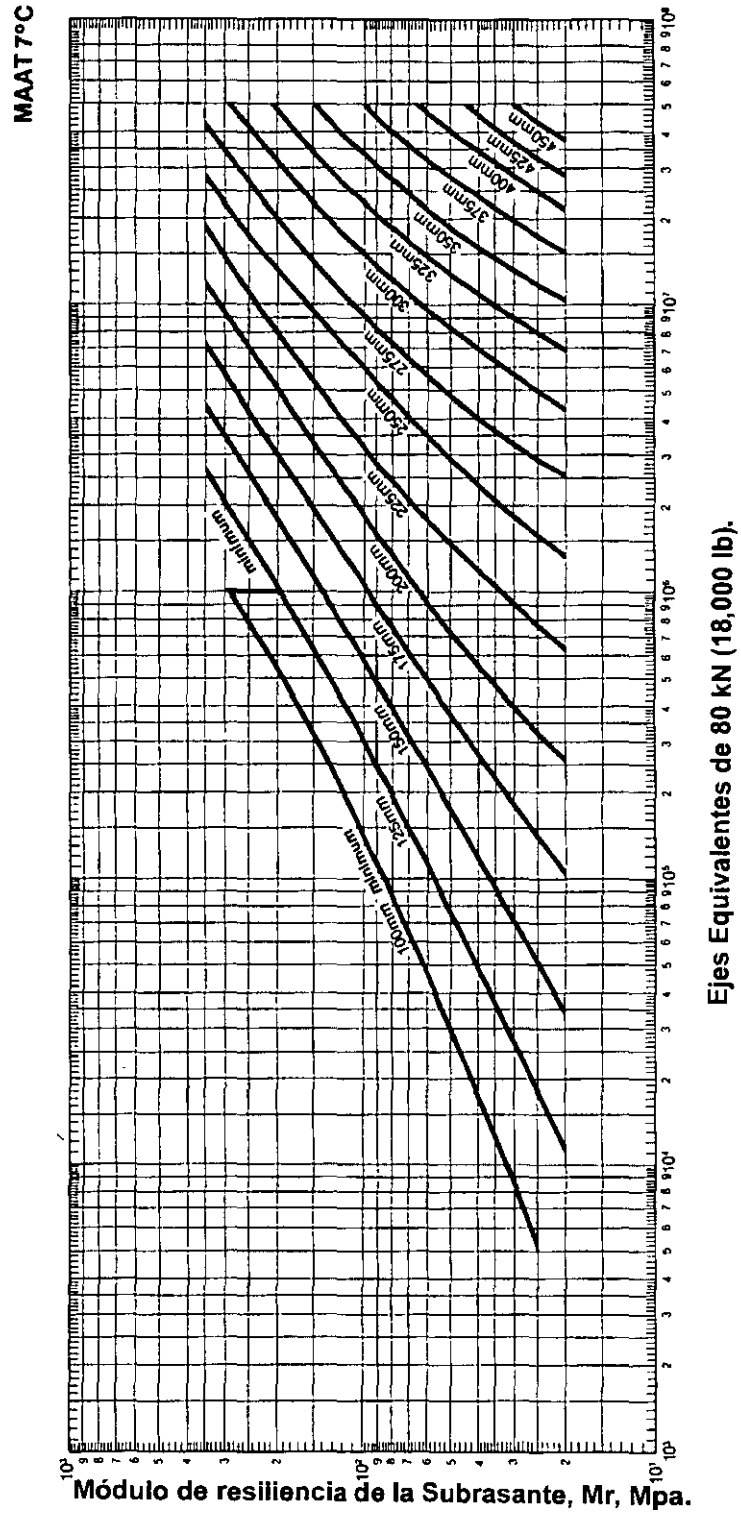


Figura 3.3. GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DE UNA SOLA CAPA (15.5°C).

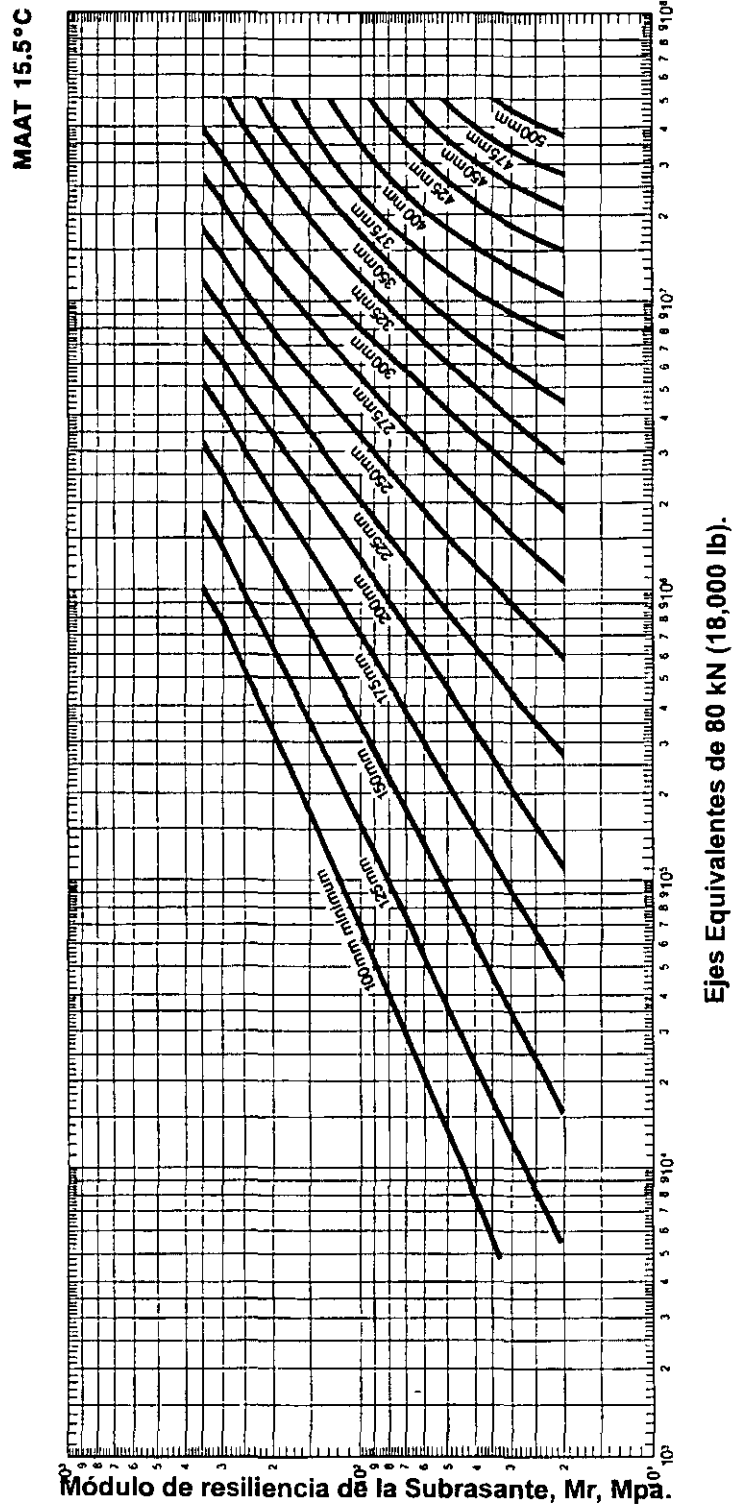
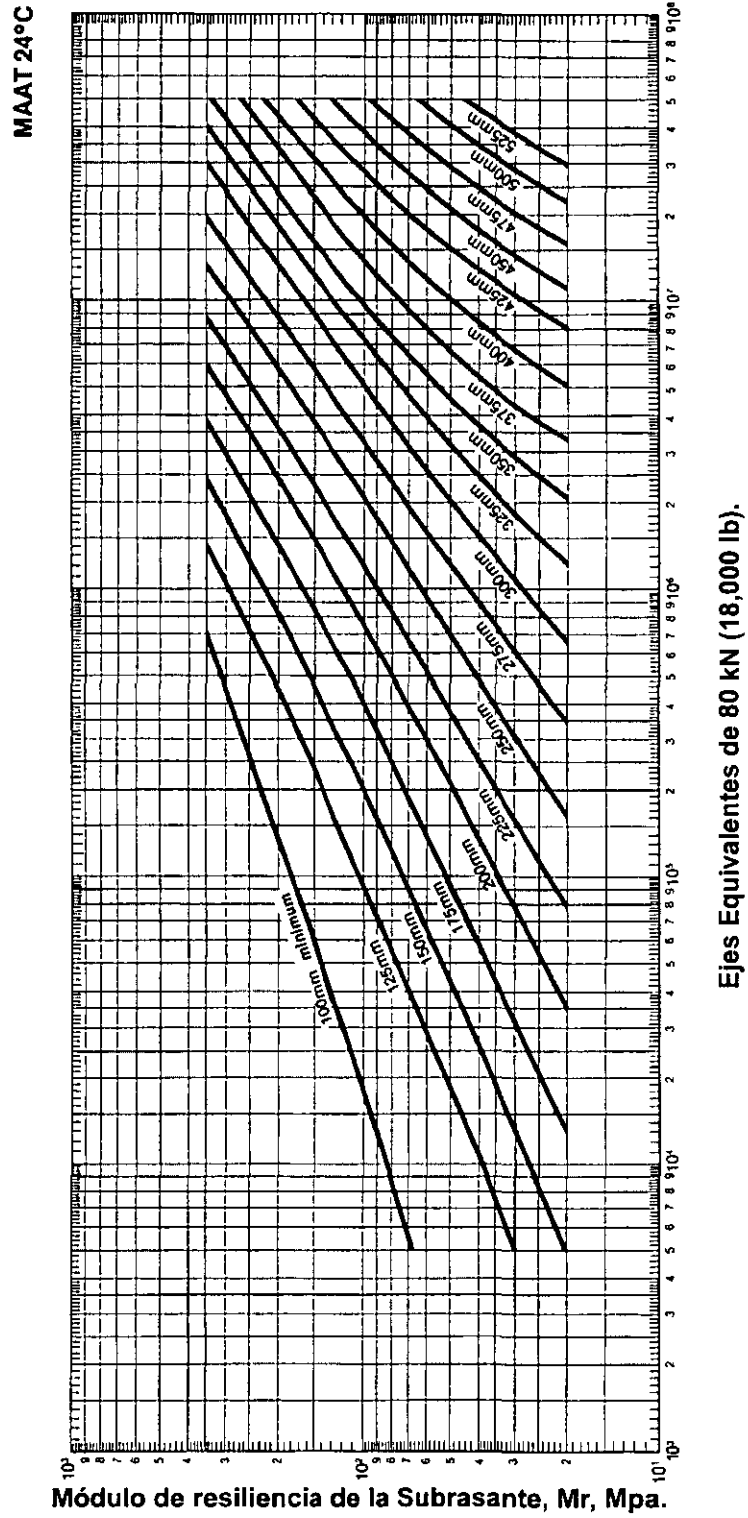


Figura 3.4. GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DE UNA SOLA CAPA (24°C).



4.- Método de la AASHTO para el Diseño de la Sección Estructural de los Pavimentos.

El actual método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el período de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado, como son los caminos revestidos o de terracería.

En este trabajo únicamente se resume el procedimiento para pavimentos flexibles, con el objeto de que el usuario disponga de una metodología práctica y sencilla de uso frecuente en su ámbito de trabajo.

4.1.- Método de diseño.

Los procedimientos involucrados en el actual método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. La versión de 1986 y la actual de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna, además de incluir experiencias de otras dependencias y consultores independientes.

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un "número estructural SN" para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método

proporciona la ecuación general y la gráfica de la Figura 4.1, que involucra los siguientes parámetros:

El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado, “ W_{18} ”.

El parámetro de confiabilidad, “ R ”.

La desviación estándar global, “ S_o ”.

El módulo de resiliencia efectivo, “ M_r ” del material usado para la subrasante.

La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, “ ΔPSI ”.

4.1.1.-Tránsito.

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO. Solamente se aconseja que para fines de diseño en “etapas o fases” se dibuje una gráfica donde se muestre año con año, el crecimiento de los ejes acumulados (ESAL) vs tiempo, en años, hasta llegar al fin del período de diseño o primera vida útil del pavimento. La ecuación siguiente puede ser usada para calcular el parámetro del tránsito W_{18} en el carril de diseño.

$$W_{18} = D_D \cdot D_L \cdot \bar{W}_{18} \quad (4.1)$$

Donde:

W_{18} = Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

- D_D = Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.
- \bar{W}_{18} = Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.
- D_L = Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomiendan los siguientes valores:

Tabla 4.1. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL.

Nº CARRILES EN CADA SENTIDO		PORCENTAJE DE W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO
1		100
2		80 - 100
3		60 - 80
4 o más		50 - 75

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año, el diseñador deberá estimar con base en la tasa de crecimiento anual y el período de diseño en años, el total de ejes equivalentes acumulados y así contar con un parámetro de entrada para la ecuación general o para el nomograma de la Figura 4.1.

Es importante hacer notar que la metodología original de AASHTO usualmente consideraba períodos de diseño de 20 años; en la versión actual de 1993, recomienda los siguientes períodos de diseño en función del tipo de carretera:

Tabla 4.2. PERIODOS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA.

TIPO DE CARRETERA	PERÍODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito.	30 - 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito.	20 - 50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito.	15 - 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito.	10 - 20 años

4.1.2- Confiabilidad "R".

Con el parámetro de Confiabilidad "R", se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro "R" de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales y secundarios.

Tabla 4.3. VALORES DE “R” DE CONFIABILIDAD, CON DIFERENTES CLASIFICACIONES FUNCIONALES.

NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL:	NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS
Carretera Interestatal o Autopista.	80 - 99.9
Red Principal o Federal.	75 - 95
Red Secundaria o Estatal.	75 - 95
Red Rural o Local.	50 - 80

4.1.3.-Desviación estándar global “S_o”.

Este parámetro está ligado directamente con la Confiabilidad (R), descrita en el punto (4.1.2.); habiéndolo determinado, en este paso deberá seleccionarse un valor S_o “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

Valores de “S_o” en los tramos de prueba de AASHO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos, fue de 0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para los flexibles, lo que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

4.1.4.-Módulo de Resiliencia efectivo.

En el método actual de la AASHTO, la parte fundamental para caracterizar debidamente a los materiales, consiste en la obtención del Módulo de Resiliencia,

con base en pruebas de laboratorio, realizadas en materiales a utilizar en la capa subrasante (Método AASHTO T-274), con muestras representativas (esfuerzo y humedad) que simulen las estaciones del año respectivas. El módulo de resiliencia "estacional" será obtenido alternadamente por correlaciones con propiedades del suelo, tales como el contenido de arcilla, humedad, índice plástico, etc.

Finalmente, deberá obtenerse un "módulo de resiliencia efectivo", que es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales.

Para la obtención del módulo estacional, o variaciones del M_r a lo largo de todas las estaciones del año se ofrecen dos procedimientos: uno, obteniendo la relación en el laboratorio entre el módulo de resiliencia y el contenido de humedad de diferentes muestras en diferentes estaciones del año y, dos, utilizando algún equipo para medición de deflexiones sobre carreteras en servicio durante diferentes estaciones del año.

Sin embargo, para el diseño de pavimentos flexibles, únicamente se recomienda convertir los datos estacionales en módulo de resiliencia efectivo de la capa subrasante, con el auxilio de la Figura 4.7 que proporciona un valor sopesado en función del "daño equivalente anual" obtenido para cada estación en particular. También puede utilizarse la siguiente ecuación:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 * M_R^{-2.32} \quad (4.2)$$

Donde:

U_f = Daño relativo en cada estación (por mes o quincenal).

M_R = Módulo de Resiliencia de la capa subrasante, obtenido en laboratorio o con deflexiones cada quincena o más.

Y por último:

$$\bar{U}_f = \text{promedio de daño relativo} = \frac{\sum U_f}{n}$$

por lo que el

M_R efectivo, será el que corresponda al \bar{U}_f promedio (Ecuación 4.2).

4.1.5.- Pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal.

El cambio o pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define en el método con la siguiente ecuación:

PSI = Índice de Servicio Presente

$$\Delta PSI = p_o - p_t \quad (4.3)$$

Donde:

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal deseado.

p_o = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).

p_t = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

Se hace notar que aún en la versión actual, AASHTO no ha modificado la escala del índice de servicio original de 0 a 5 para caminos intransitables hasta carreteras perfectas, respectivamente. Sin embargo, se sugiere que el criterio para definir el índice de servicio terminal o mínimo de rechazo (menor índice tolerado antes de

realizar alguna operación de rehabilitación, reencarpetado o reconstrucción) esté en función de la aceptación de los usuarios de la carretera.

Para el caso de diseños de pavimentos en climas muy extremos, en especial los fríos, la guía de diseño del método actual recomienda evaluar adicionalmente la pérdida del índice de servicio original y terminal debida a factores ambientales por congelamiento y deshielo, que producen cambios volumétricos notables en la capa subrasante y capas superiores de la estructura del pavimento. En tales casos, el diseñador deberá remitirse al método AASHTO 1993, capítulo 2.1.4.

4.2.- Determinación de espesores por capas.

Una vez que el diseñador ha obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, (Figura 4.1) donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, S_o , M_R , ΔPSI), se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y subbase, haciéndose notar que el actual método de AASHTO, versión 1993, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (4.4)$$

Donde:

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente, en pulgadas.

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase, respectivamente.

Para la obtención de los coeficientes de capa a_1 , a_2 y a_3 deberán utilizarse las Figuras 4.2 a 4.6, en donde se representan valores de correlaciones hasta de cinco diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Elástico, Texas Triaxial, R - valor, VRS y Estabilidad Marshall.

Para carpeta asfáltica.	(a_1)	Figura 4.2
Para bases granulares.	(a_2)	Figura 4.3
Para subbases granulares.	(a_3)	Figura 4.4
Para bases estabilizadas con cemento.		Figura 4.5
Para bases estabilizadas con asfalto.		Figura 4.6

Para la obtención de los coeficientes de drenaje, m_2 y m_3 , correspondientes a las capas de base y subbase respectivamente, el método actual de AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

Tabla 4.4. CAPACIDAD DEL DRENAJE PARA REMOVER LA HUMEDAD.

CALIDAD DEL DRENAJE:	AGUA REMOVIDA EN:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drena

En la Tabla 4.5 se presentan los valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y subbases granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 4.5.- VALORES m_i RECOMENDADOS PARA MODIFICAR LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA DE BASES Y SUBBASES SIN TRATAMIENTO, EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Calidad del Drenaje	Porcentaje de Tiempo al cual esta Expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	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
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Para capas estabilizadas con cemento o asfalto y para la superficie de rodamiento elaborada con concreto asfáltico, el método no considera un posible efecto por el

drenaje, por lo que en la ecuación de diseño sólo intervienen valores de m_2 y m_3 y no se asigna valor para m_1 correspondiente a la carpeta.

Para el cálculo de los espesores D_1 , D_2 y D_3 (en pulgadas), el método sugiere respetar los siguientes valores mínimos, en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados:

Tabla 4.6. ESPESORES MÍNIMOS, EN PULGADAS, EN FUNCIÓN DE LOS EJES EQUIVALENTES.

TRÁNSITO (ESAL's) EN EJES EQUIVALENTES	CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO	BASES GRANULARES
Menor de 50,000	1.0 ó T.S.	4.0
50,001 - 150,000	2.0	4.0
150,001 - 500,000	2.5	4.0
500,001 - 2'000,000	3.0	6.0
2'000,001 - 7'000,000	3.5	6.0
Mayor de 7'000,000	4.0	6.0

T.S. = Tratamiento superficial con sellos.

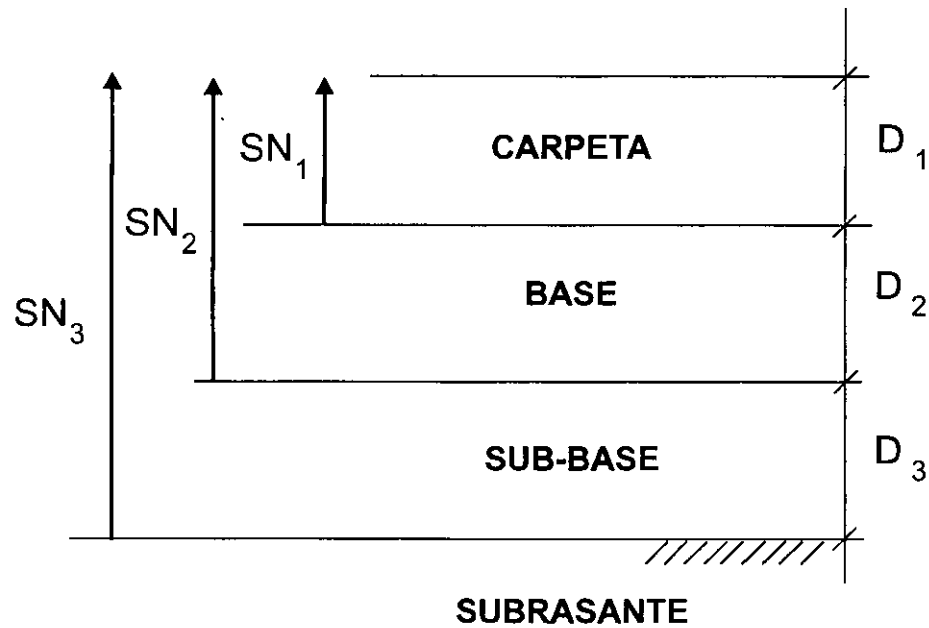
4.3.- Análisis del diseño final con sistema multicapa.

Deberá reconocerse que para pavimentos flexibles, la estructura es un sistema de varias capas y por ello deberá diseñarse de acuerdo a ello. Como ya se describió al principio del método, el "número estructural SN" sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén es lo primero a calcularse. De la misma manera deberá obtenerse el número estructural requerido sobre las capas de la subbase y base, utilizando los valores de resistencia aplicables para cada uno. Trabajando con las diferencias entre

los números estructurales que se requieren sobre cada capa, el espesor máximo permitido de cualquier capa puede ser calculado. Por ejemplo, el número estructural máximo permitido para material de la capa de subbase, debe ser igual al número estructural requerido sobre la subbase restado del SN requerido sobre la subrasante.

El Método AASHTO recomienda el empleo de la siguiente figura y ecuaciones:

Figura 4.8. RECOMENDACIÓN DE AASHTO.



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

$$SN^*_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

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

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

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a^3 m^3}$$

NOTAS: 1) a, D, m, y SN corresponden a valores mínimos requeridos.

2) D* y SN* representan los valores finales de diseño.

Con todo lo anterior queda configurada la sección estructural de proyecto para pavimento flexible.

Figura 4.1. GRÁFICA DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

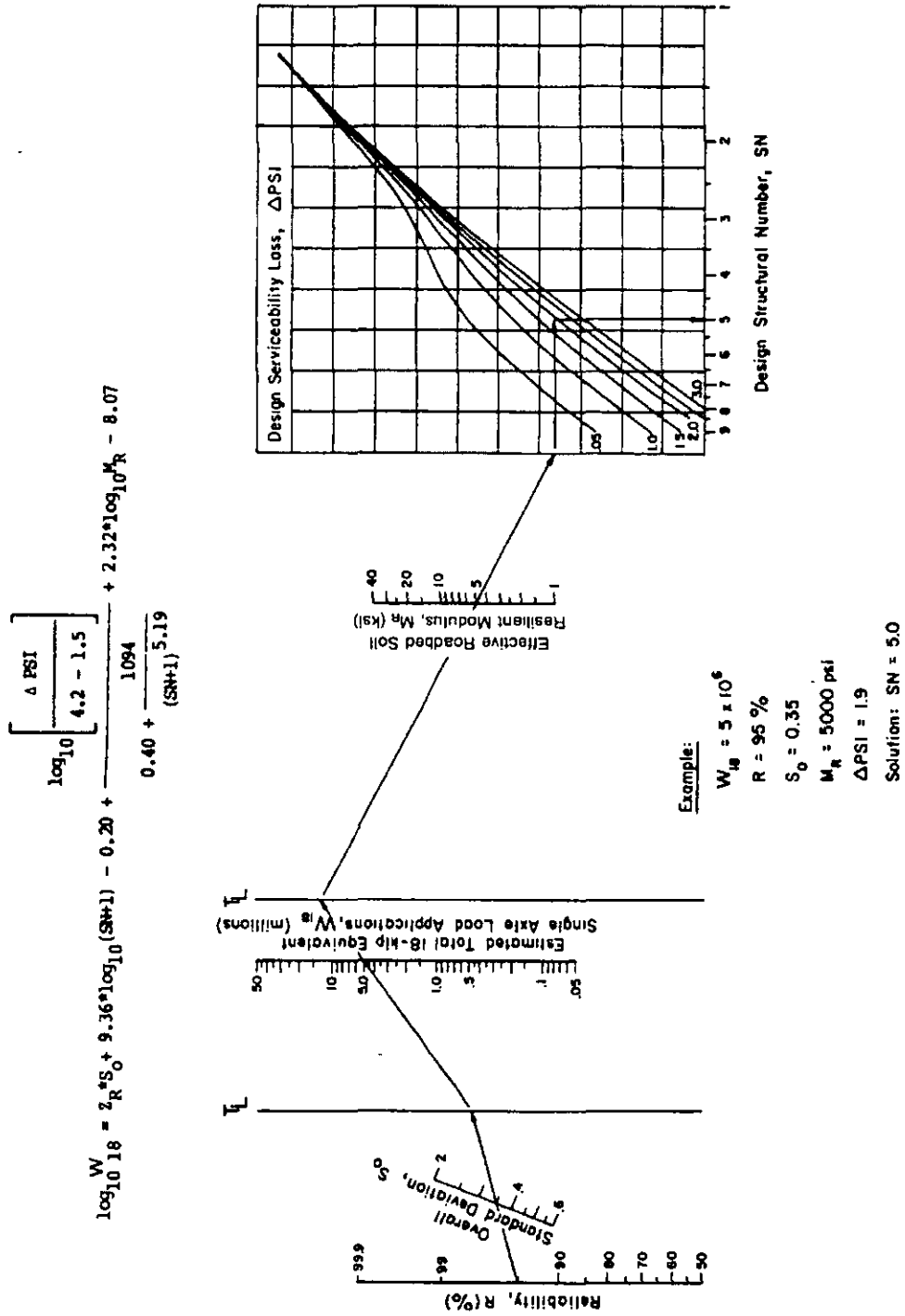
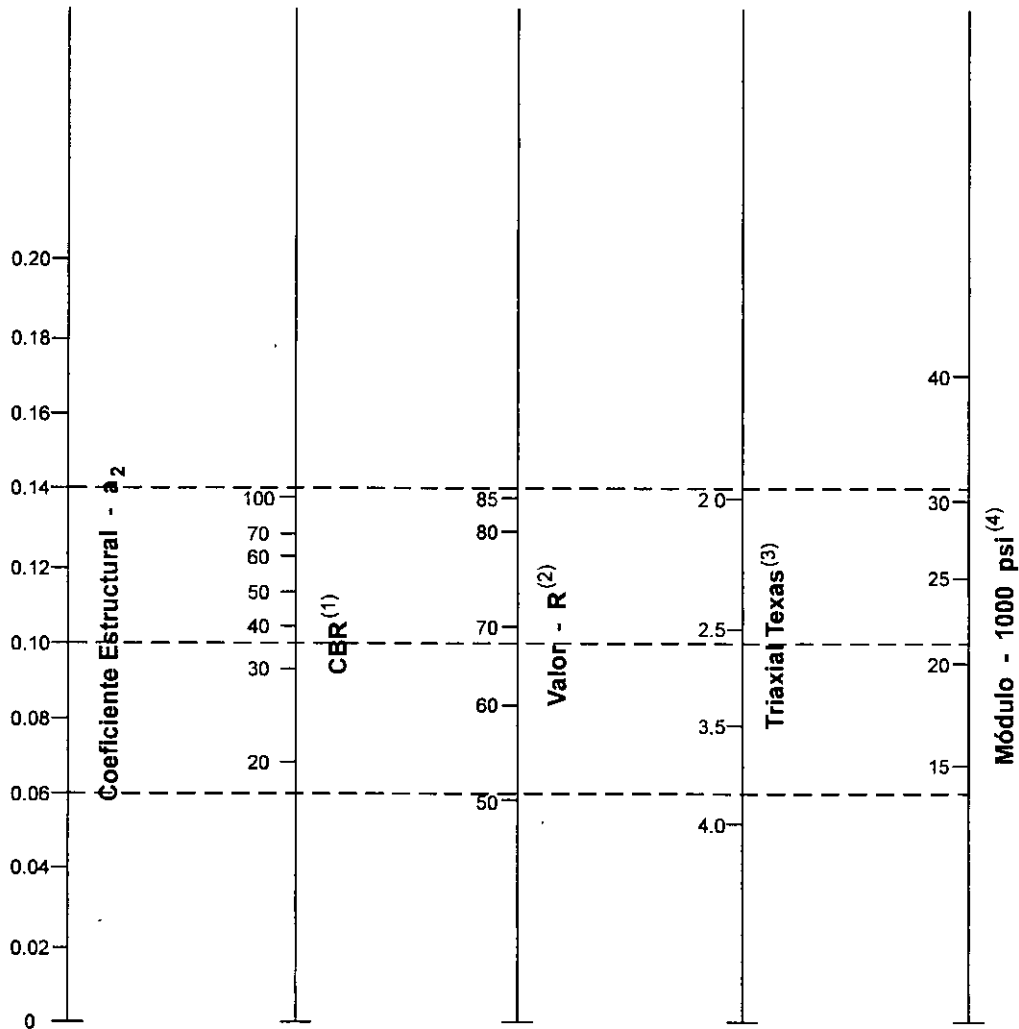
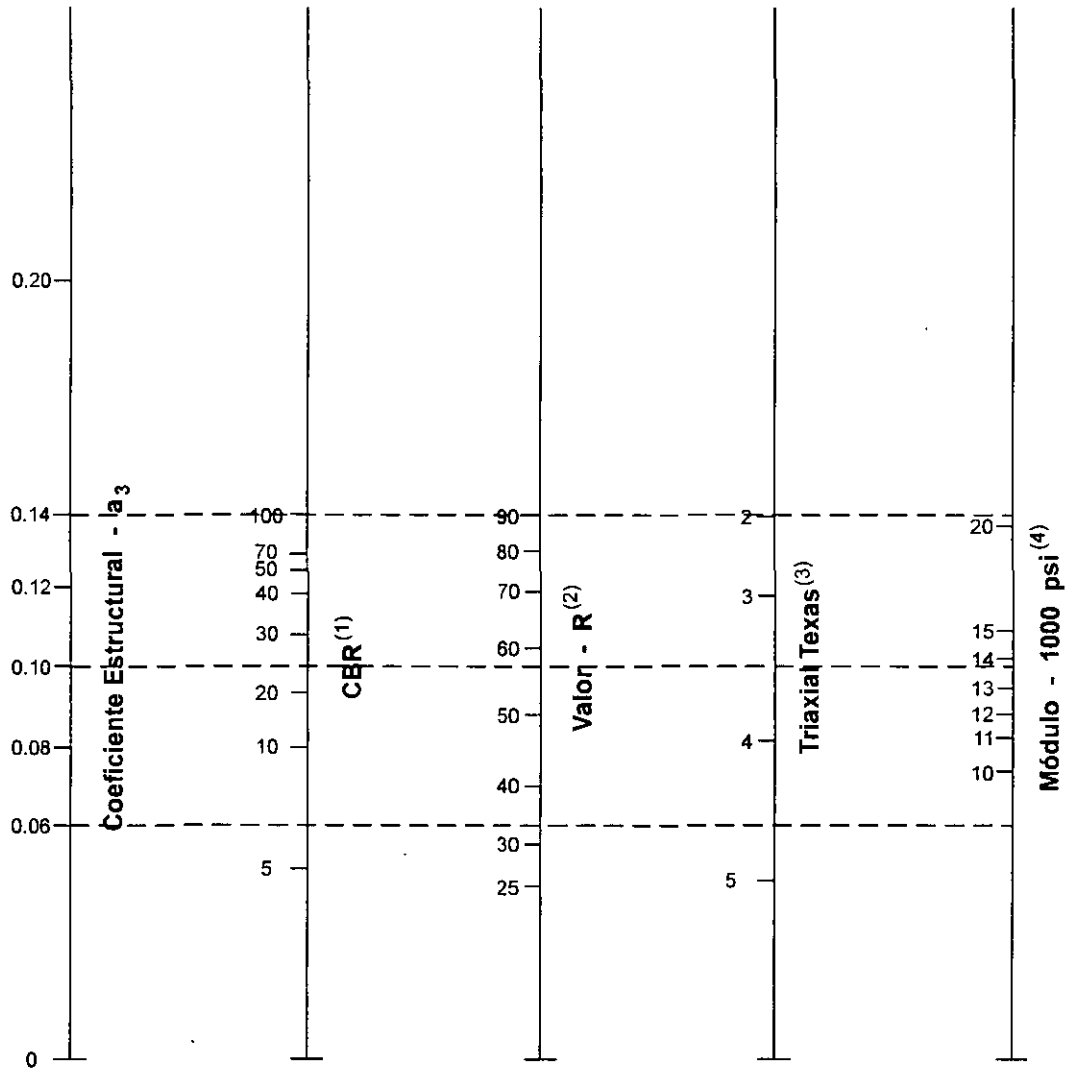


Figura 4.3.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a₂", EN BASES GRANULARES.



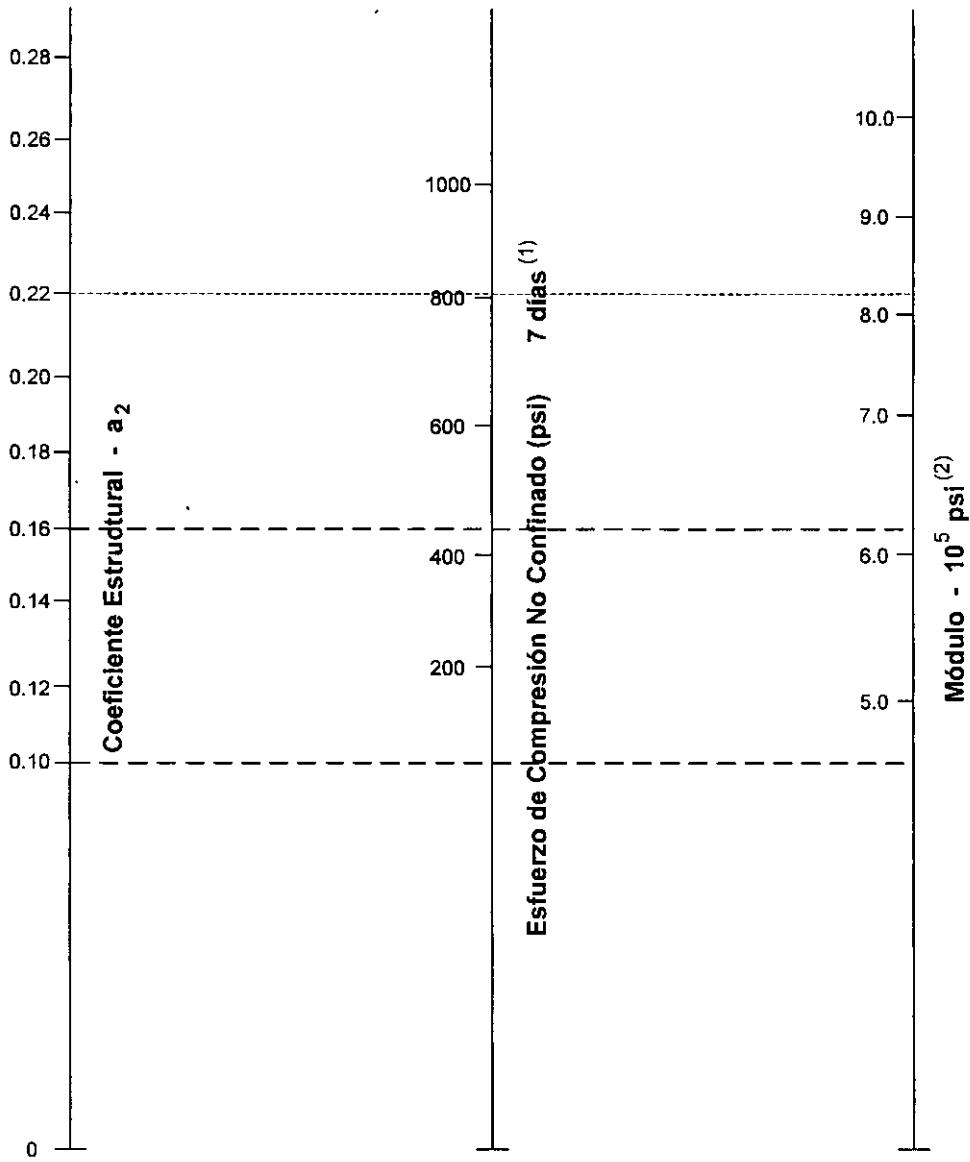
- (1) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de California, Nuevo México y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Figura 4.4.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a₃", EN SUBBASES GRANULARES.



- (1) Escala derivada de correlaciones de Illinois.
- (2) Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.
- (3) Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

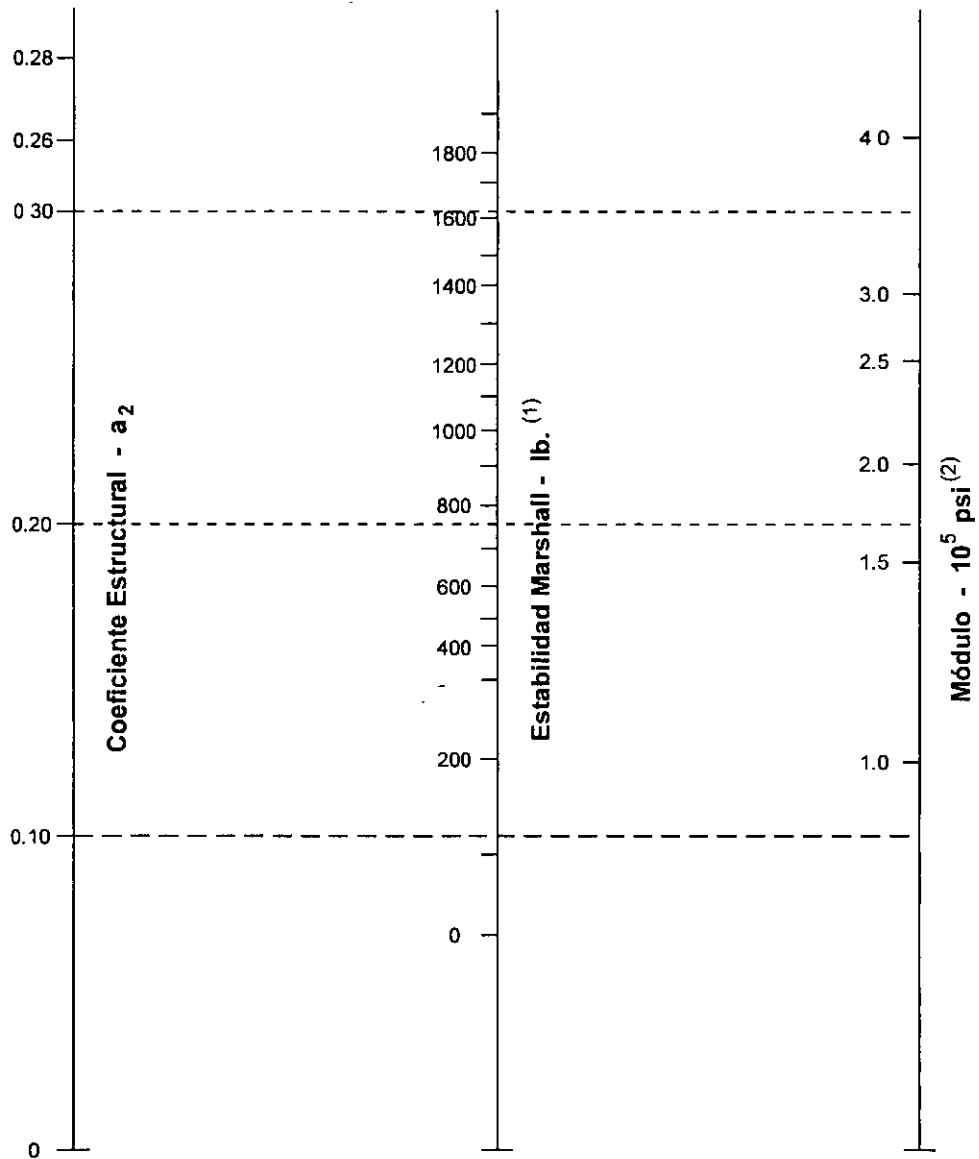
Figura 4.5.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a₂", EN BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO PORTLAND.



(1) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Illinois, Louisiana y Texas.

(2) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Figura 4.6.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a₂", EN BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO.

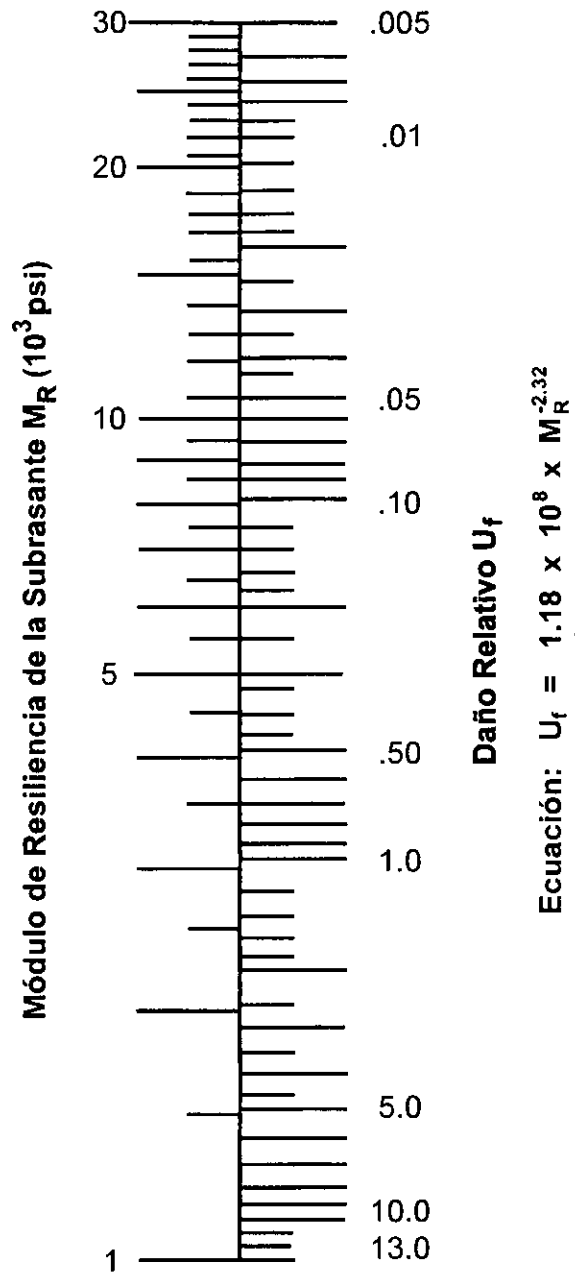


(1) Escala derivada por correlación obtenida de Illinois.

(2) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Figura 4.7.- FORMATO PARA CALCULAR EL MÓDULO DE RESILIENCIA EFECTIVO DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.


Mes	Módulo de Resiliencia de la Subrasante $M_R(\text{psi})$	Daño Relativo U_f
Ene.		
Feb.		
Mar.		
Abr.		
May.		
Jun.		
Jul.		
Ago.		
Sep.		
Oct.		
Nov.		
Dic.		
Sumatoria:	$\Sigma U_f =$	





DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA Y A DISTANCIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM



Curso
Diseño de Pavimentos Flexibles
CA-60

Formatos

Expositor
Ing. Miguel Sánchez Mejía

Noviembre 2011

**II.- FORMATOS PARA CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2T Y
ESESORES DE PAVIMENTOS**



Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
Dirección General de Servicios Técnicos.
 Subdirección de Geotecnia
 Departamento de Terracerías y Pavimentos

Calculo de transito acumulado a ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.

Carretera 0+240tepic-villa union TDPa 620 TDPa Diseño = 620 Fecha = _____
 Tramo 0 Tasa de crecimiento anual (r) 3.00% n = 15 años
 del km _____ al km _____ Coeficiente direccional 1.00
 Origen 0 Coeficiente de distribución de carril 1.00

Tipo de camión	Composición (%)	Cargado / vació %	Coeficiente de daño								Ejes equivalentes								
			z=0	z=5	z=10	z=15	z=20	z=30	z=60	z=90	z=0	z=5	z=10	z=15	z=20	z=30	z=60	z=90	
A2	72.90	Cargado	100	0.0047	0.0028	0.0006	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0020	0.0005	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
A2	0.00	Vació	0	0.0047	0.0023	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A2	0.00	Cargado	100	0.5362	0.3384	0.1317	0.0644	0.0398	0.0237	0.0153	0.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A2	0.00	Vació	0	0.5362	0.1550	0.0108	0.0016	0.0005	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B2	8.00	Cargado	80	2.0000	1.9227	1.8034	1.8895	2.0846	2.4563	2.9388	3.0709	0.1280	0.1231	0.1154	0.1209	0.1334	0.1572	0.1881	0.1965
B2	0.00	Vació	20	2.0000	1.6428	1.0341	0.7574	0.6293	0.5197	0.4431	0.4278	0.0320	0.0263	0.0165	0.0121	0.0101	0.0083	0.0071	0.0068
B3	0.00	Cargado	80	1.9993	1.9045	1.6138	1.3685	1.2173	0.8762	0.8512	0.8471	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B3	0.00	Vació	20	1.9993	1.5585	0.6883	0.3211	0.1860	0.0910	0.0575	0.0520	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B4	0.00	Cargado	80	2.6658	2.2616	1.5424	1.2184	1.0738	0.7512	0.7525	0.7537	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B4	0.00	Vació	20	2.6658	1.7763	0.6134	0.2525	0.1400	0.0824	0.0396	0.0359	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2	3.50	Cargado	80	2.0000	1.9227	1.8034	1.8895	2.0846	2.4563	2.9388	3.0709	0.0560	0.0538	0.0505	0.0529	0.0584	0.0688	0.0823	0.0860
C2	3.50	Vació	20	2.0000	1.2954	0.3709	0.1232	0.0591	0.0272	0.0145	0.0126	0.0140	0.0091	0.0026	0.0009	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001
C3	2.70	Cargado	80	3.0000	2.9223	2.7867	2.8167	2.9277	2.4554	2.9373	3.0693	0.0648	0.0631	0.0602	0.0608	0.0632	0.0530	0.0634	0.0663
C3	2.70	Vació	20	3.0000	1.8720	1.04318	0.1542	0.0797	0.0395	0.0227	0.0201	0.0162	0.0090	0.0023	0.0008	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001
C2 - R2	0.00	Cargado	80	4.0000	4.0122	4.2936	4.9715	5.7609	7.0356	8.5785	8.9921	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2 - R2	0.00	Vació	20	4.0000	2.1000	0.4618	0.1402	0.0651	0.0293	0.0154	0.0134	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2 - R3	0.00	Cargado	80	5.0000	5.0867	5.5874	6.4247	7.3842	8.2894	10.5396	11.1681	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2 - R3	0.00	Vació	20	5.0000	2.2327	0.4499	0.1364	0.0635	0.0287	0.0151	0.0131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C3 - R2	0.00	Cargado	80	5.0000	5.0119	5.2770	5.8987	6.6040	7.0347	8.5771	8.9905	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C3 - R2	0.00	Vació	20	5.0000	2.4766	0.5227	0.1712	0.0857	0.0416	0.0236	0.0208	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C3 - R3	0.00	Cargado	80	6.0000	6.0115	6.2603	6.8259	7.4471	7.0337	8.5756	8.9889	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C3 - R3	0.00	Vació	20	6.0000	2.6093	0.5108	0.1674	0.0842	0.0410	0.0233	0.0206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T2 - S1	0.00	Cargado	80	3.0000	2.9674	3.0485	3.4305	3.9227	4.7459	5.7586	6.0315	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T2 - S1	0.00	Vació	20	3.0000	1.9854	0.5891	0.1986	0.0956	0.0441	0.0235	0.0205	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T2 - S2	0.00	Cargado	80	4.0000	3.9671	4.0318	4.3577	4.7658	4.7450	5.7572	6.0299	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T2 - S2	0.00	Vació	20	4.0000	2.2383	0.6117	0.2220	0.1144	0.0566	0.0320	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S2	8.90	Cargado	80	5.0000	4.9668	5.0152	5.2849	5.6089	4.7441	5.7557	6.0283	0.3560	0.3536	0.3571	0.3763	0.3994	0.3378	0.4098	0.4292
T3 - S2	8.90	Vació	20	5.0000	2.3572	0.4817	0.1602	0.0812	0.0398	0.0227	0.0201	0.0890	0.0420	0.0086	0.0029	0.0014	0.0007	0.0004	0.0004
T3 - S3	1.10	Cargado	80	6.0000	5.8522	5.4665	5.2391	5.1661	4.7427	5.7535	6.0259	0.0528	0.0515	0.0481	0.0461	0.0455	0.0417	0.0506	0.0530
T3 - S3	1.10	Vació	20	6.0000	2.4958	0.4643	0.1546	0.0789	0.0398	0.0227	0.0201	0.0132	0.0055	0.0010	0.0003	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
T2 - S1 - R2	0.00	Cargado	80	5.0000	5.0569	5.5387	6.5124	7.5990	9.3252	11.3984	11.9527	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T2 - S1 - R2	0.00	Vació	20	5.0000	2.7328	0.5955	0.1741	0.0788	0.0346	0.0179	0.0155	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S1 - R2	0.00	Cargado	80	6.0000	6.0566	6.5221	7.4396	8.4421	9.3243	11.3969	11.9511	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S1 - R2	0.00	Vació	20	6.0000	2.9927	0.6134	0.1929	0.0944	0.0452	0.0252	0.0223	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S2 - R2	0.00	Cargado	80	7.0000	7.0563	7.5054	8.3668	9.2852	9.3234	11.3955	11.9494	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S2 - R2	0.00	Vació	20	7.0000	3.1508	0.5810	0.1808	0.0889	0.0428	0.0241	0.0213	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S2 - R3	0.00	Cargado	80	8.0000	8.0559	8.4888	9.2940	10.1283	9.3224	11.3940	11.9478	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S2 - R3	0.00	Vació	20	8.0000	3.2920	0.5618	0.1743	0.0862	0.0416	0.0235	0.0208	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S2 - R4	2.90	Cargado	80	9.0000	9.0566	9.4721	10.2212	10.9714	9.3215	11.3926	11.9462	0.2088	0.2101	0.2198	0.2371	0.2545	0.2163	0.2643	0.2772
T3 - S2 - R4	2.90	Vació	20	9.0000	3.4383	0.5386	0.1663	0.0827	0.0401	0.0228	0.0202	0.0522	0.0199	0.0031	0.0010	0.0005	0.0002	0.0001	0.0001
T3 - S3 - S2	0.00	Cargado	80	8.0000	7.8020	7.1325	6.4928	6.0625	5.1188	5.8793	5.8268	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T3 - S3 - S2	0.00	Vació	20	8.0000	3.0875	0.5067	0.1609	0.0809	0.0404	0.0229	0.0203	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sumas	100.00											0.0865	0.0960	0.0857	0.09123	0.09674	0.08846	0.10665	0.11158

Vide proyecto	SCT	4,572,798	4,078,654	3,727,881	3,839,834	4,071,914	3,723,058	4,488,703	4,696,260
---------------	-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

NOTAS - 1 - Los coeficientes de daño son de acuerdo al REGLAMENTO SCT, de pesos, dimensiones y capacidades de los vehículos de auto transporte que transitan en los caminos y puentes de propiedad del General (libera nacional octubre del 2001)
 2 - Se considera que todos los camiones están cargados con la carga máxima permitida por el mencionado REGLAMENTO de la SCT.



Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Dirección General de Servicios Técnicos

Subdirección de Geotecnia

Departamento de Terracerías y Pavimentos

Cálculo de tránsito acumulado a ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.

Cálculo de crecimiento.

Carretera : 0+240 tepic - villa union

Fecha : _____

Tramo : 0

del km : _____

al km _____

Origen : 0

TDPA = 620

Coefficiente direccional = 1.00

TDPA_{DISEÑO} = 620

r = 3%

Factor de distribución de camil = 1.00

A = 72.9%

B = 8.0%

C = 20.1%

Año	To	ΣL							
		Z = 0	Z = 5	Z = 10	Z = 15	Z = 20	Z = 30	Z = 60	Z = 90
		1.0865	0.9690	0.8857	0.9123	0.9674	0.8846	1.0665	1.1158
1	365	2.459E+05	2.193E+05	2.004E+05	2.065E+05	2.189E+05	2.002E+05	2.413E+05	2.525E+05
2	741	4.991E+05	4.452E+05	4.069E+05	4.191E+05	4.444E+05	4.064E+05	4.899E+05	5.126E+05
3	1128	7.599E+05	6.778E+05	6.195E+05	6.381E+05	6.767E+05	6.187E+05	7.460E+05	7.805E+05
4	1527	1.029E+06	9.174E+05	8.385E+05	8.637E+05	9.159E+05	8.375E+05	1.010E+06	1.056E+06
5	1938	1.305E+06	1.164E+06	1.064E+06	1.096E+06	1.162E+06	1.063E+06	1.281E+06	1.341E+06
6	2361	1.590E+06	1.418E+06	1.296E+06	1.335E+06	1.416E+06	1.295E+06	1.561E+06	1.633E+06
7	2797	1.884E+06	1.680E+06	1.536E+06	1.582E+06	1.678E+06	1.534E+06	1.849E+06	1.935E+06
8	3246	2.186E+06	1.950E+06	1.782E+06	1.836E+06	1.947E+06	1.780E+06	2.146E+06	2.245E+06
9	3708	2.498E+06	2.228E+06	2.036E+06	2.097E+06	2.224E+06	2.034E+06	2.452E+06	2.565E+06
10	4184	2.819E+06	2.514E+06	2.298E+06	2.367E+06	2.510E+06	2.295E+06	2.767E+06	2.895E+06
11	4675	3.149E+06	2.809E+06	2.567E+06	2.644E+06	2.804E+06	2.564E+06	3.091E+06	3.234E+06
12	5180	3.489E+06	3.112E+06	2.845E+06	2.930E+06	3.107E+06	2.841E+06	3.425E+06	3.584E+06
13	5700	3.840E+06	3.425E+06	3.130E+06	3.224E+06	3.419E+06	3.126E+06	3.769E+06	3.944E+06
14	6237	4.201E+06	3.747E+06	3.425E+06	3.528E+06	3.741E+06	3.420E+06	4.124E+06	4.314E+06
15	6789	4.573E+06	4.079E+06	3.728E+06	3.840E+06	4.072E+06	3.723E+06	4.469E+06	4.696E+06
16	7357	4.956E+06	4.420E+06	4.040E+06	4.161E+06	4.413E+06	4.035E+06	4.865E+06	5.090E+06
17	7943	5.350E+06	4.772E+06	4.362E+06	4.493E+06	4.764E+06	4.356E+06	5.252E+06	5.495E+06
18	8546	5.757E+06	5.135E+06	4.693E+06	4.834E+06	5.126E+06	4.687E+06	5.651E+06	5.912E+06
19	9168	6.175E+06	5.508E+06	5.034E+06	5.185E+06	5.499E+06	5.028E+06	6.062E+06	6.342E+06
20	9808	6.606E+06	5.893E+06	5.386E+06	5.548E+06	5.883E+06	5.379E+06	6.485E+06	6.785E+06

$\Sigma A = T_o \cdot CT \cdot TDPA$

T_o = Ejes equivalentes en un año

$CT = \frac{[(1+r)^n - 1]}{r} \cdot 365$

CT = Coeficiente de acumulación de tránsito

r = Tasa de crecimiento



Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
Dirección General de Servicios Técnicos
 Subdirección de Geotecnia
 Departamento de Terracerías y Pavimentos

Cálculo de tránsito acumulado a ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.
Cálculo de crecimiento.

Carretera : _____
 Tramo : _____
 del km : _____ al km : _____
 Origen : _____

Fecha : _____

TDPA = _____
 r = _____
 A = _____

Coefficiente direccional = _____
 Factor de distribución de camión = _____
 B = _____ C = _____

TDPA_{DISÑO} = _____

Año	To	ΣL							
		Z = 0 0.0000	Z = 5 0.0000	Z = 10 0.0000	Z = 15 0.0000	Z = 20 0.0000	Z = 30 0.0000	Z = 60 0.0000	Z = 90 0.0000
1	CT								
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

$\Sigma L = To \cdot CT \cdot TDPA$
 $CT = \frac{[(1+r)^n - 1] \cdot 365}{r}$

To = Ejes equivalentes en un año
 CT = Coeficiente de acumulación de tránsito
 r = Tasa de crecimiento

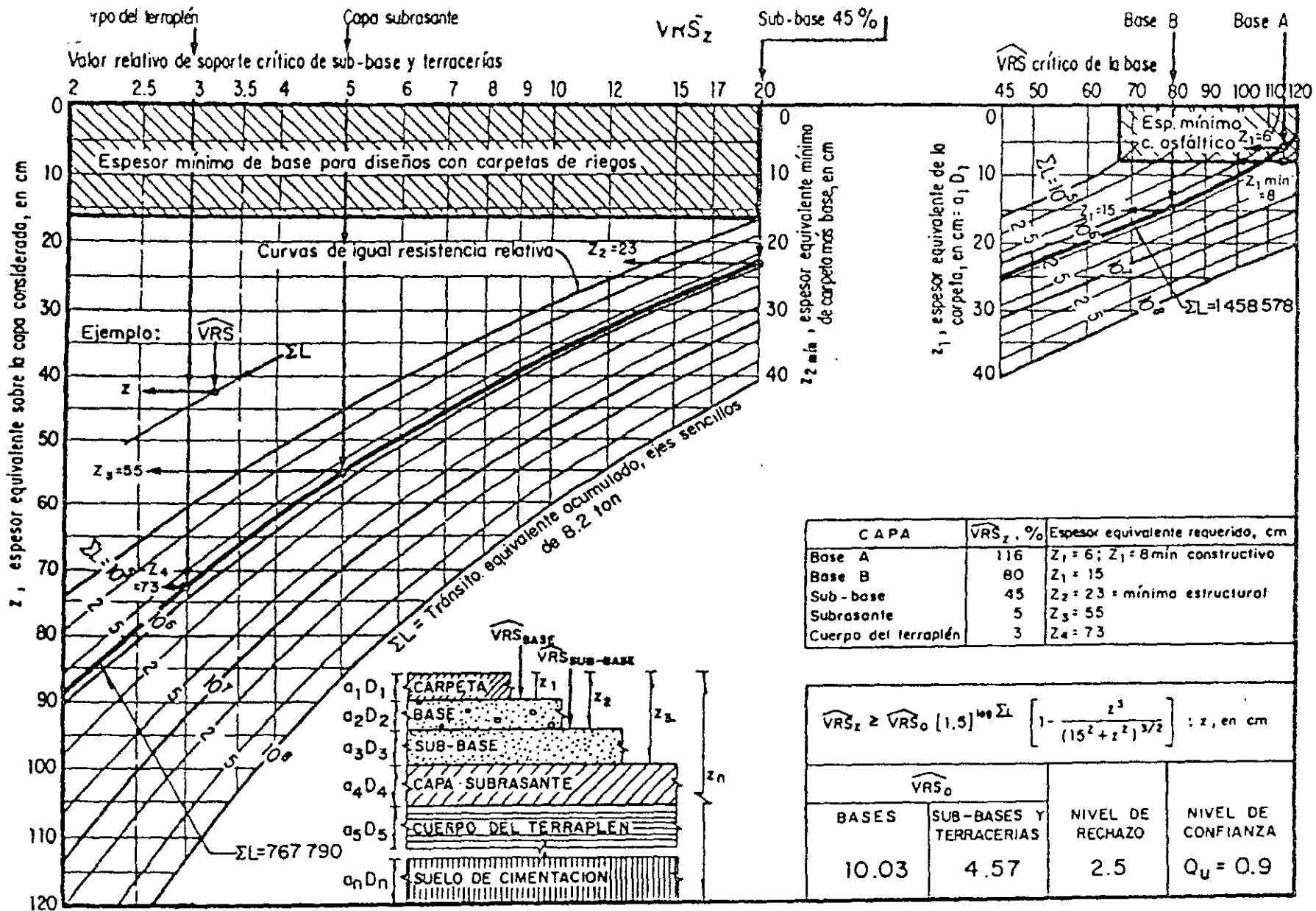


Fig 8. Ejemplo: gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible



Diseño de pavimento Método de la AASHTO

Carretera: _____
 Tramo: _____
 Km: _____
 Origen: _____

Fecha = _____

Datos de tránsito

TDPA = _____

Composición vehicular

A2 =	T2 - S1 =
A'2 =	T2 - S2 =
B2 =	T3 - S2 =
B3 =	T3 - S3 =
B4 =	T2 - S1 - R2 =
C2 =	T3 - S1 - R2 =
C3 =	T3 - S2 - R2 =
C2 - R2 =	T3 - S2 - R3 =
C2 - R3 =	T3 - S2 - R4 =
C3 - R2 =	T3 - S3 - R2 =
C3 - R3 =	Total =

r = _____
 n = _____ años
 CD = _____
 CC = _____
Tabla s/n, pag II-9

Datos de diseño

Factibilidad por etapa = _____ *Tabla 4 1, pag I - 62* No de etapas = 1
 Factibilidad total = _____
 Zr = _____ *pag I - 62*
 So = _____
 Po = _____
 Pt = _____

Transito de diseño

Esal_{req} = _____ S_{Nreq} = _____

Transito de la Estructura

Esal_{adm} = _____ Esal_{adm} = _____

Diseño estructural del Pavimento

Capa	E psi	a*	m**	Alternativa 1		Alternativa 2	
				e in	S _{N***}	e in	S _{N***}

* Fig 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 19, II -20 y II - 21

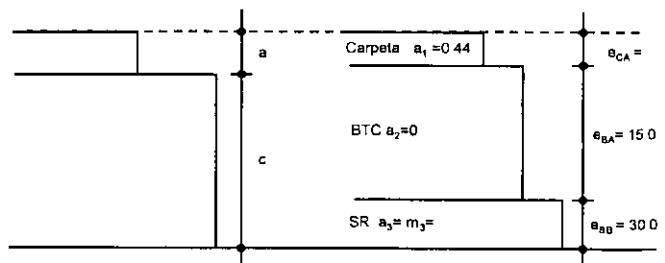
** Tabla 2.4, pag II - 26

*** Nomograma 3.1, pag II - 32

SIMBOLOGIA

- TDPA = Transito Diario Promedio Anual
- CD = Coeficiente de distribución direccional, en porciento
- CC = Coeficiente de distribución de carril, en porciento
- Zr = Desviación estandar Normal
- So = Error estandar del trafico
- Po = Indice de Servicio inicial
- Pt = Indice de Servicio Final
- M_s = Modulo de Resiliencia de la subrasante
- a_i = Coeficiente de capa
- m_i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
- ESAL_{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
- ESAL_{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
- S_{Nreq} = Número requerido por el transito
- S_{NAdm} = Numero admisibles por la estructura

ESTRUCTURA





Diseño de pavimento Método de la AASHTO

Carretera: tamaulipas
 Tramo: _____
 Km: _____
 Origen: _____

Fecha = _____

Datos de tránsito

TDPA = 5,768 vehículos por día

Composición vehicular

A2 =	63.20%	T2 - S1 =	0.00%
A'2 =	0.00%	T2 - S2 =	0.00%
B2 =	5.50%	T3 - S2 =	9.80%
B3 =	0.00%	T3 - S3 =	5.00%
B4 =	0.00%	T2 - S1 - R2 =	0.00%
C2 =	2.50%	T3 - S1 - R2 =	0.00%
C3 =	3.70%	T3 - S2 - R2 =	0.00%
C2 - R2 =	0.00%	T3 - S2 - R3 =	0.00%
C2 - R3 =	0.00%	T3 - S2 - R4 =	10.30%
C3 - R2 =	0.00%	T3 - S3 - R2 =	0.00%
C3 - R3 =	0.00%	Total =	100.00%

r = 3.58 %
 n = 10.1 años
 CD = 100.0 %
 CC = 90.0 %
Tabla s/n, pag II-9

Datos de diseño

Factibilidad por etapa = 90.0 % *Tabla 4.1, pag I - 62*
 Factibilidad total = 90.0 %
 Zr = -1.645 *pag I - 62*
 So = 0.4
 Po = 4.5
 Pt = 3

No de etapas = 1

Transito de diseño

ESAL_{req} = 29,180,585 SN_{req} = 6.20

Transito de la Estructura

ESAL_{adm} = 29,051,268 ESAL_{adm} = _____

Diseño estructural del Pavimento

Capa	E psi	a*	m**	Alternativa 1		Alternativa 2	
				e in	SN***	e in	SN***
Concreto asfáltico, e _{CA})	420,000	0.46		1.97	0.91		
Base estab cemento, e _{BEC})	950,000	0.25		9.84	2.46		
base asf, e _{BAst})	213,000	0.22	1.00	9.84	2.16		
base granular, e _{bn})	39,691	0.13	1.00	5.11	0.66		
Cimentación	7,212						
					6.20		

* Fig 2.5, 2.6 y 2.7, pag II - 19, II - 20 y II - 21

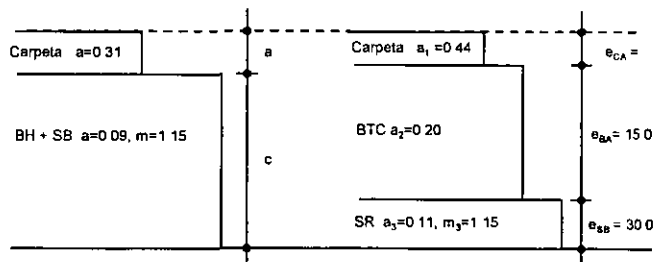
** Tabla 2.4, pag II - 26

*** Nomograma 3.1, pag II - 32

SIMBOLOGIA

- TDPA = Transito Diario Promedio Anual
- CD = Coeficiente de distribución direccional, en porciento
- CC = Coeficiente de distribución de camil, en porciento
- Zr = Desviación estandar Normal
- So = Error estandar del trafico
- Po = Indice de Servicio Inicial
- Pt = Indice de Servicio Final
- M_R = Modulo de Resiliencia de la subrasante
- a_i = Coeficiente de capa.
- m_i = Coeficiente de drenaje (solo en capas granulares)
- ESAL_{req} = Ejes estandar equivalentes requeridos por el transito
- ESAL_{adm} = Ejes estandar equivalentes admisibles por la estructura
- SN_{req} = Numero requiendo por el tránsito
- SN_{adm} = Numero admisibles por la estructura

ESTRUCTURA



Carretera _____
 Tramo: _____
 Km: _____
 Origen: _____

CALCULO DEL REFUERZO POR DEFLEXIONES (METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO)

DATOS			
TDPA (vehículos)		No CARRILES	
TASA DE CRECIMIENTO			
PERIODO DE DISEÑO (años)	5	10	7 15
COEFICIENTE DE DISTRIBUCION		C CARRIL	
A2		C3	
A'2		C4	
B2		T3S2	
B3		T3S3	
C2		T3S2R4	

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION VEHICULAR	NUMERO DE VEHICULOS	FACTOR DE CARGA	FACTOR DE CRECIMIENTO	EAL 5 años	EAL 7 años	EAL 10 años	EAL 15 años
A2		0	0 0002					
A'2		0	-					
B2		0	7 191					
B3		0	1 822					
C2		0	5 0188					
C3		0	2 156					
C4		0	-					
T3S2		0	4 509					
T3S3		0	3 518					
T3S2R4		0	3 489					
0 000								

Cálculo de la vida remanente

km a km	CUERPO	dc x 103 plg	TRANSITO REMANENTE	TRANSITO UN AÑO	FACTOR DE CRECIMIENTO	VIDA REMANENTE EN AÑOS	REFUERZO REQUERIDO DE C.A. EN (cm)		
							n = 5 años	n = 7 años	n = 10 años

PARA DEFLEXIONES OBTENIDAS CON FWD, LA DEFLEXION CON VIDA BENKELMAN ES = 1.61*FWD
 *EAL= No de repeticiones de carga equivalente de 8.2 Ton. 18-Ene-11

Carretera: DURANGO - LIM EDOS DGO /SIN
 Tramo: 178+000 - 184+000
 Km : 1
 Origen: _____

CALCULO DEL REFUERZO POR DEFLEXIONES (METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO)

DATOS				
TDPA (vehículos)	1,377	No CARRILES	2	
TASA DE CRECIMIENTO	3.00%			
PERIODO DE DISEÑO (años)	5	10	7	15
COEFICIENTE DE DISTRIBUCION	0.50	C CARRIL	1.00	
A2	74.200	C3	3.700	
A'2	0.000	C4	0.000	
B2	3.800	T3S2	7.200	
B3	0.000	T3S3	3.700	
C2	5.800	T3S2R4	1.100	

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION VEHICULAR	NUMERO DE VEHICULOS	FACTOR DE CARGA	FACTOR DE CRECIMIENTO				EAL 5 años	EAL 7 años	EAL 10 años	EAL 15 años
A2	0.742	188466	0.0002	5.309	11.46	7.662	18.6	198.00	285.76	427.53	693.61
A'2	0.000	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B2	0.038	9549	7.191	5.309	11.46	7.662	18.6	384580.58	526184.49	787229.39	1277195.20
B3	0.000	0	1.822	5.309	11.46	7.662	18.6	0.00	0.00	0.00	0.00
C2	0.058	14576	5.0188	5.309	11.46	7.662	18.6	388372.55	560522.48	838602.78	1360543.01
C3	0.037	9298	2.156	5.309	11.46	7.662	18.6	106431.73	153608.64	229815.28	372850.62
C4	0.000	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T3S2	0.072	18094	4.509	5.309	11.46	7.662	18.6	433145.07	625140.86	935278.92	1517389.67
T3S3	0.037	9298	3.518	5.309	11.46	7.662	18.6	173867.36	250647.12	374995.43	608389.84
T3S2R4	0.011	2784	3.489	5.309	11.46	7.662	18.6	51205.23	73902.45	110566.12	179381.66
	0.995							1.52E+06	2.19E+06	3.28E+06	5.32E+06

Cálculo de la vida remanente

km a km	CUERPO	dc x 103 plg	TRANSITO REMANENTE	TRANSITO UN AÑO	FACTOR DE CRECIMIENTO	VIDA REMANENTE EN AÑOS	REFUERZO REQUERIDO DE C.A. EN (cm)			
							n = 5 años	n = 7 años	n = 10 años	
182		40.00	627259.7222	2.86E+05	2.19E+00	2.16	5	6.0	6.5	8.5

PARA DEFLEXIONES OBTENIDAS CON FWD. LA DEFLEXION CON VIDA BENZELMAN ES = 1.61*FWD
 *EAL= No de repeticiones de carga equivalente de 8.2 Ton.

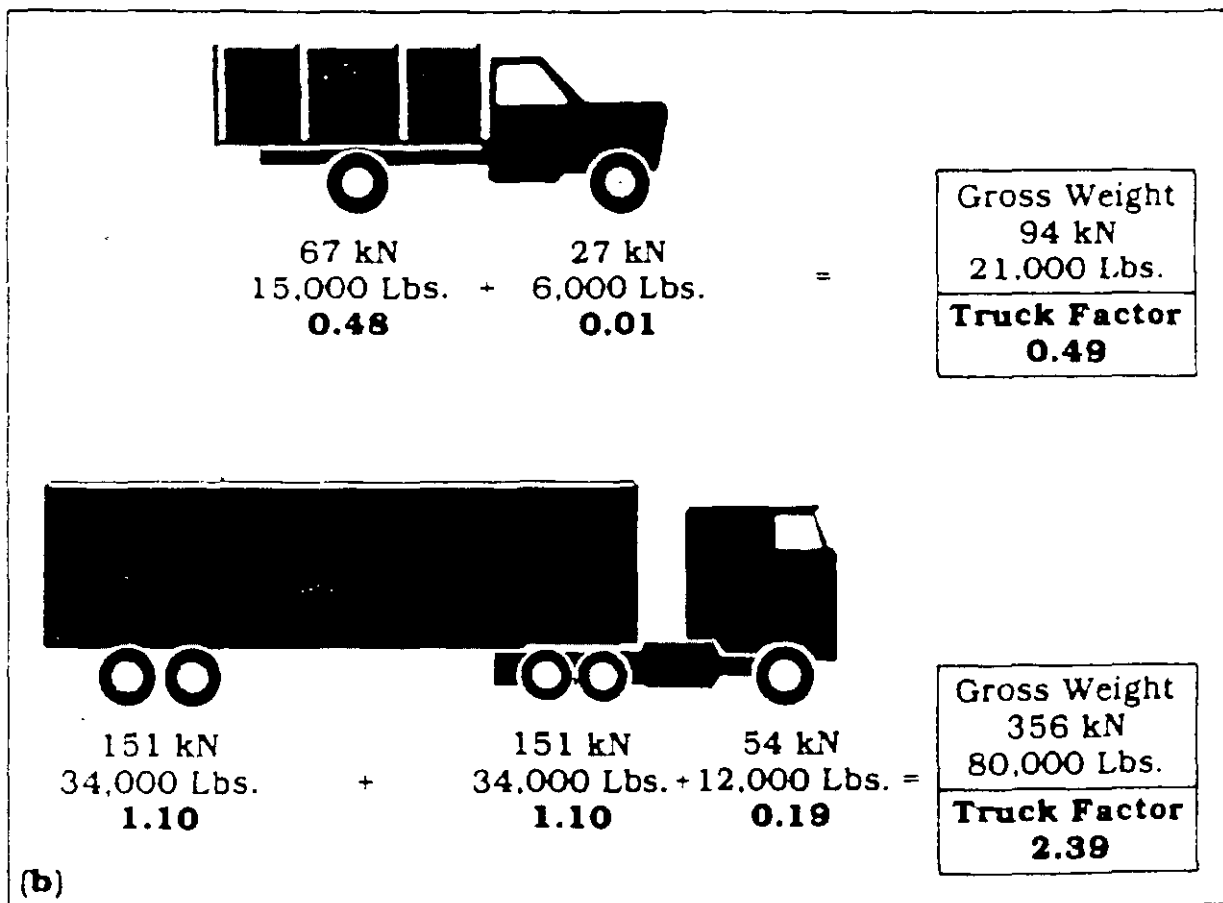
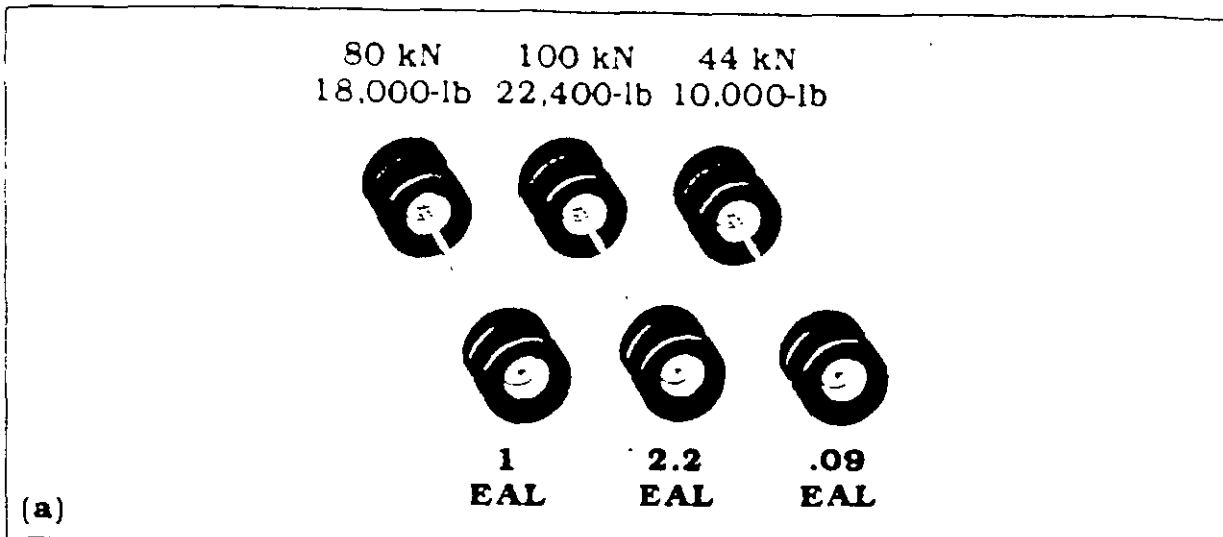


Figure IV-1. Load Equivalency Factors

TABLE IV-4 LOAD EQUIVALENCY FACTORS*

Gross Axle Load		Load Equivalency Factors		
kN	lb	Single Axles	Tandem Axles	Tridem Axles
4.45	1 000	0.00002		
8.9	2 000	0.00018		
17.8	4 000	0.00209	0.0003	
26.7	6 000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8 000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10 000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12 000	0.189	0.014	0.003
62.3	14 000	0.360	0.027	0.006
71.2	16 000	0.623	0.047	0.011
80.0	18 000	1.000	0.077	0.017
89.0	20 000	1.51	0.121	0.027
97.9	22 000	2.18	0.180	0.040
106.8	24 000	3.03	0.260	0.057
115.6	26 000	4.09	0.364	0.080
124.5	28 000	5.39	0.495	0.109
133.4	30 000	6.97	0.658	0.145
142.3	32 000	8.88	0.857	0.191
151.2	34 000	11.18	1.095	0.246
160.1	36 000	13.93	1.38	0.313
169.0	38 000	17.20	1.70	0.393
178.0	40 000	21.08	2.08	0.487
187.0	42 000	25.64	2.51	0.597
195.7	44 000	31.00	3.00	0.723
204.5	46 000	37.24	3.55	0.868
213.5	48 000	44.50	4.17	1.033
222.4	50 000	52.88	4.86	1.22
231.3	52 000		5.63	1.43
240.2	54 000		6.47	1.66
249.0	56 000		7.41	1.91
258.0	58 000		8.45	2.20
267.0	60 000		9.59	2.51
275.8	62 000		10.84	2.85
284.5	64 000		12.22	3.22
293.5	66 000		13.73	3.62
302.5	68 000		15.38	4.05
311.5	70 000		17.19	4.52
320.0	72 000		19.16	5.03
329.0	74 000		21.32	5.57
338.0	76 000		23.66	6.15
347.0	78 000		26.22	6.78
356.0	80 000		29.0	7.45
364.7	82 000		32.0	8.2
373.6	84 000		35.3	8.9
382.5	86 000		38.8	9.8
391.4	88 000		42.6	10.6
400.3	90 000		46.8	11.6

*From Appendix D of AASHTO Guide for Design of Pavement Structures American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. 1936.

Note: kN converted to lb are within 0.1 percent of lb shown