

T-944

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



"LIBRAMIENTO VIAL DE LA CIUDAD DE TULA, HGO."

T E S I S

que para obtener el Título de :

I N G E N I E R O C I V I L

p r e s e n t a :

SANTIAGO MEDA CANCINO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE INGENIERIA

MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-112

Al Pasante señor SANTIAGO HEDA CANCINO,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta - Dirección propuso el Profesor Ing. Salvador Canales de la Parra, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"LIBRAMIENTO VIAL DE LA CIUDAD DE TULA, HGO."

1. Antecedentes
2. Proyecto
3. Diseño del pavimento
4. Procedimientos de construcción y control de calidad

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 11 de junio de 1979
EL DIRECTOR



ING. JAVIER JIMENEZ ESCRIBU

L
JJE/OBLH/ser

"LIBRAMIENTO VIAL DE LA CIUDAD DE TULA, HGO."

I N D I C E.

| | | | |
|-----------|---|---|----|
| CAPITULO. | 1 | ANTECEDENTES. | 1 |
| CAPITULO. | 2 | PROYECTO. | 3 |
| CAPITULO. | 3 | DISEÑO DEL PAVIMENTO. | 5 |
| CAPITULO. | 4 | PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION Y CONTROL DE CALIDAD. | 65 |

CONTENIDO TESIS.

| | PAG. |
|---|------|
| ANTECEDENTES. | 1 |
| PROYECTO. | 3 |
| METODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS. GENERALIDADES. | 5 |
| CARGA EQUIVALENTE Y POR RUEDA. | 7 |
| METODO DE DISEÑO DE LA SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS. | 14 |
| METODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL METODO - DE LA SAHOP. Y POR EL METODO PRELIMINAR DESARROLLADO POR - EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. | 20 |
| METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N. - A.M. | 28 |
| METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO DE E.U.A. | 38 |
| METODO DE DISEÑO DE LA A.A.S.H.O. | 53 |
| RESUMEN Y CONCLUSIONES DE LOS METODOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ANALIZADOS. | 61 |
| PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION Y CONTROL DE CALIDAD. | 65 |

CAPITULO I

ANTECEDENTES.

La población de Tula, Hgo., está ubicada al poniente de la capital del Estado y se comunica por medio de los caminos PACHUCA-TLAHUELILPA-TEPEJI y Autopista (México-Querétaro)-TULA.

En Tula son famosas sus fábricas de cemento gris y blanco siendo las principales La Tolteca y Cruz Azul, ocupa el primer lugar como productor de cemento; cuenta también con una planta termo-eléctrica y una moderna refinería de petróleo; además se cuenta con un Distrito de Riego. El pavimento de las principales calles ha fallado y se ha destruído, debido al gran aumento de tránsito en la población, principalmente de vehículos pesados, de donde se pensó construir un libramiento vial para evitar el paso de los vehículos pesados por la población.

La Junta Local de Caminos del Estado de Hidalgo, incluyó en su programa de obras de carreteras urbanas la construcción del libramiento vial de Tula, con lo que se brindará una vía rápida de los vehículos que transitan de las plantas de cemento hacia el centro y a la Capital de la República.

LIBRAMIENTO.

Definición. Relocalización de una carretera evitando el paso por la población.

Uso. Lo emplea el tránsito de gran itinerario y el tránsito local lo usa como vía rápida.

Efectos. En el futuro, con el crecimiento de la población constituyen, conjuntamente con las radiales la vialidad principal, por lo que en general se desarrollan en forma de anillos periféricos.

Desarrollo. Generalmente se construyen por etapas, tanto en longitud y en sección transversal como los entronques y todo el equipamiento urbano.

Estudios. Se emplea información cartográfica elaborada por DETENAL y otros organismos, como cartas topográficas, geológicas, catastrales, uso del suelo, edafológicas, uso potencial, climas, mapas urbanos así como fotografías aéreas.

A PARTIR
DE ESTA
PAGINA

FALLA
DE
ORIGEN.

CAPITULO 2

P R O Y E C T O.

PROYECTO

La finalidad del libramiento vial de Tula es de evitar el tránsito por la población, ya que tiene un T.P.D.A.=3010 en el entronque Tula-Tepaji-Jorobus y un T.P.D.A.=2350 en el entronque Tula-Tlahualipan.

El libramiento se construirá en tres etapas como se puede apreciar en la planta (fig. 1). En la primera etapa se construirá un primer cuerpo con un ancho de corona de 11.00 mts. ancho de carpeta de 7.50 mts. y acotamientos de 1,75 mts.; en la segunda etapa se construirá el segundo cuerpo con un ancho de corona de 11.00 mts. y en la tercera etapa se construirá una franja central de 6.00 mts., jardinería y banquetas.

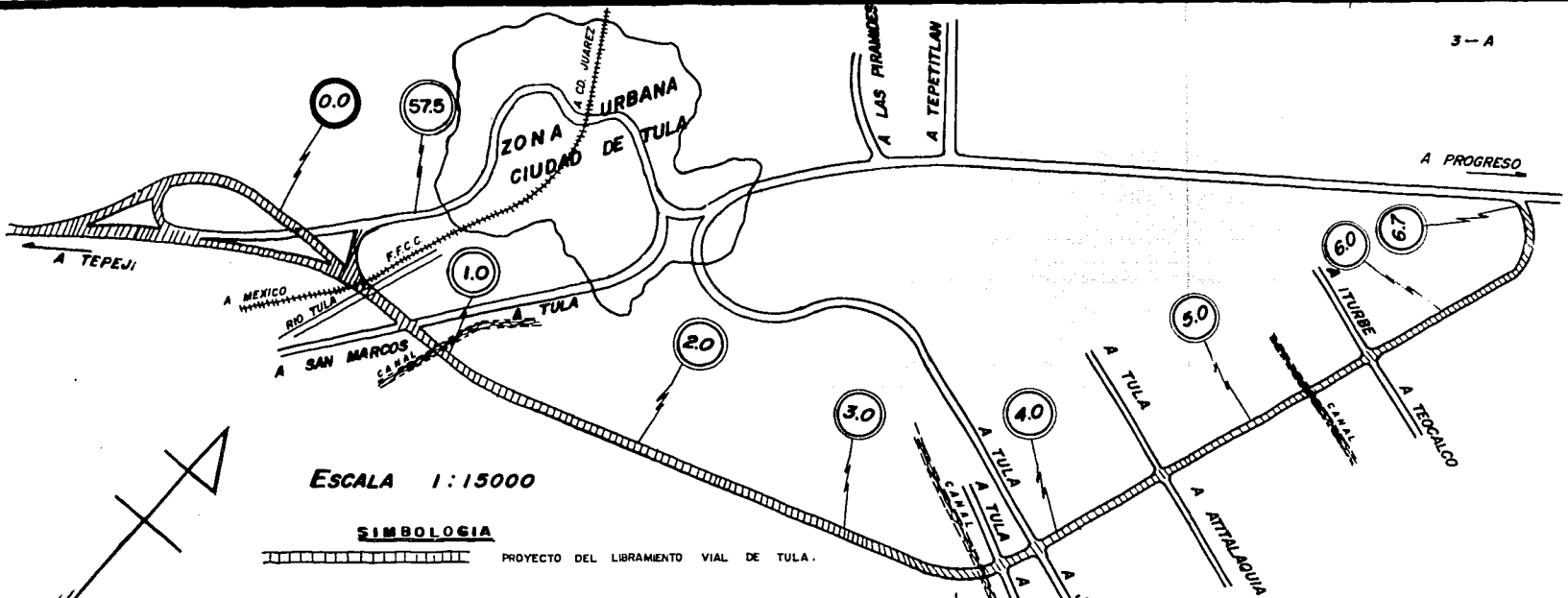
El libramiento tendrá una longitud de 6,7 kms. y 3,9 kms. de longitud de acceso en las ramas, teniendo una longitud total de 10,6 kms.

CARACTERISTICAS REGIONALES

El libramiento se desarrollará del km. 0+000 al km. 2+400 en un lomerío fuerte que cambia a suave y de la estación 2+400 a la 6+700 en terreno sensiblemente plano, horizontal.

La región está formada por materiales originados en el cenozoico superior clástico y el terciario continental y representadas por rocas sedimentarias del tipo clástico de origen aluvial y lacustre como son las margas y calizas. También se encuentran rocas ígneas extrusivas fuertemente erosionadas, como son basaltos, andesitas y materiales piroclásticos.

La zona es cruzada por el río Tula y el gran canal del desagüe de la Cd. de México.

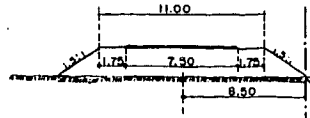


ESCALA 1:15000

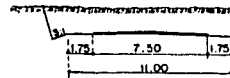
SIMBOLOGIA



PROYECTO DEL LIBRAMIENTO VIAL DE TULA.



PRIMERA ETAPA



PRIMERA ETAPA

LIBRAMIENTO VIAL DE TULA

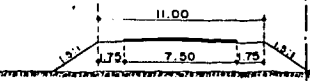
| | |
|---------------------------------|-----------------|
| LONGITUD DE LIBRAMIENTO | 6.7 Kms. |
| LONGITUD DE ACCESO EN LAS RAMAS | 3.9 Kms. |
| LONGITUD TOTAL | 10.6 Kms. |
| COSTO TOTAL | \$35'800,000.00 |

SEGUNDA ETAPA

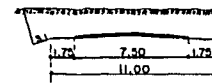
SEGUNDA ETAPA

CARECTERISTICAS GENERALES

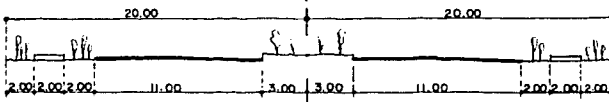
| | |
|-----------------------------|---|
| VELOCIDAD DE PROYECTO | 80 Km/hr. |
| ANCHO DE CORONA | 11.00 mts. |
| ANCHO DE CARPETA | 7.50 mts. |
| GRADO DE CURVATURA - MAXIMO | 8% EN EL LIBRAMIENTO 68% EN LAS RAMAS. |
| PENDIENTE PROMEDIO | 2% |
| PENDIENTE MAXIMA | 5% |



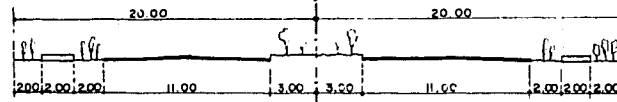
TERCERA ETAPA



TERCERA ETAPA



SECCION DE CONSTRUCCION EN TERRAPLEN



SECCION DE CONSTRUCCION EN CORTE

FIG. No. 1.0

ESCALA 1:250

| |
|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO |
| FACULTAD DE INGENIERIA |
| TESIS PROFESIONAL |
| PLANTA DEL LIBRAMIENTO VIAL DE TULA |
| SANTIAGO MEDA CANCINO FEBRERO 1979 |

El clima prevaleciente es el subtropical de altura tipo mexicano, con temperatura media anual de 18°C y variación térmica mayor de 5°C. El régimen de lluvias es de verano y parte de otoño con precipitación anual del orden de 600 mm.

ESTUDIOS

Se realizó la exploración de los materiales a lo largo de la línea de trazo, mediante la ejecución de sondeos a cielo abierto; en estos se tomó material para realizar ensayos de laboratorio. Además se localizaron los bancos de préstamo para la construcción del cuerpo de Terraplén, capa subrasante y pavimento.

En los materiales del terreno natural el laboratorio efectuó ensayos de clasificación y calidad, en los de capa subrasante además de los anteriores, porter modificada al 90 y 95% del peso volumétrico seco máximo y en los de pavimento la determinación del porcentaje óptimo de material asfáltico.

Se efectuó estudio de origen y destino; fijando el volumen promedio diario anual (V.P.D.A.) de vehículos para los entronques con mayor tránsito, así como la composición del tránsito.

| | | |
|-----------|-------------------------|----------------|
| ENTRONQUE | TULA - TEPEJI - JOROBAS | 3010 Vehículos |
| A = 65% | B = 10% | C = 25% |
| ENTRONQUE | TULA - TLAHUALIPAN | 2350 Vehículos |
| A = 71% | B = 7% | C = 22% |

Con estos datos, considerando un periodo de diseño de 10 años y una tasa de crecimiento de 8% anual, se calculó el número de ejes equivalentes a 8.2 ton. (18000 lbs.) que se acumularán en el pavimento.

CAPITULO. 3

DISEÑO DEL PAVIMENTO.

A. METODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS

A.1. GENERALIDADES

Los conceptos del proyecto de pavimentos flexibles para carreteras son diferentes de las de aeropuertos principalmente en el número de repeticiones de carga equivalentes y el ancho del pavimento, las cargas aplicadas a carreteras son considerablemente menores que para el caso de aeropuertos.

El tipo de carretera dependerá del número de repeticiones de carga que ocurrirán durante la vida del pavimento, como puede ser el caso en que una carretera secundaria podrá tener un tránsito normal de 60 a 500 vehículos por día (T.P.D.A.) en tanto que en una carretera principal de tránsito intenso podrán circular de 7,000 a 16,000 vehículos por día; no obstante, muchos de los vehículos que circulan son automóviles y camiones ligeros que no afectan apreciablemente la vida del pavimento, los camiones pesados integran del 20 al 40% del volumen total de tránsito.

El comportamiento de un pavimento esta influenciado por el número de repeticiones de carga que debe de resistir, no obstante las experiencias han demostrado que una o dos aplicaciones de carga pueden producir la falla del pavimento, estos casos se presentan durante el periodo de deshielo o de primavera cuando el deshielo es acompañado de lluvias intensas.

Los métodos de diseño que existen o se utilizan en los pavimentos flexibles, hasta la fecha para determinar espesores de las distintas capas de un pavimento para una aeropista o un camino distan de ser satisfactorios ya que todas parten de hipótesis más o menos lógicas, pero establecen parámetros de resistencia, condiciones de frontera y criterios de falla que no estan comprobados experimentalmente, excepto en condiciones de pruebas muy particulares. Los métodos de diseño de espesores tienen como base una prueba de

laboratorio o bien un conjunto de pruebas, que se supone que sirven como índice para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras que deben de existir entre el comportamiento de los materiales, en el laboratorio y en la estructura.

Las pruebas de laboratorio nos sirve como un índice de ciertas características de los materiales y deberán utilizarse sólo como guía al diseñar el pavimento; es decir que el proyectista deberá analizar cuidadosamente los resultados de laboratorio, con base en su experiencia y establecer así los parámetros de diseño que considere más adecuados, teniendo presente sus características, tales como el tipo de carretera, tránsito, clima, condiciones regionales, vida de proyecto, así como las condiciones económicas.

En la técnica de los pavimentos existen muy rígidas especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en carpetas, bases y sub-bases; estas especificaciones se refieren a granulometría, contenido de finos, compactación, resistencia al desgaste y al intemperismo, adherencia con el asfalto, etc.

Los métodos de diseño actualmente son de tres tipos a saber:

1. Consideraciones teóricas y semiteóricas que además utilizan valores apropiados de correlación
2. Procedimientos semiempíricos basados en pruebas arbitrarias.
3. Proyectos basados en clasificaciones del suelo, apoyados únicamente en la observación y en la experiencia.

A.2) CARGA EQUIVALENTE POR EJE Y POR RUEDA

Ningún método de diseño en uso toma en cuenta el tránsito que circula por un camino ya que es sumamente variado en lo que se refiere al tipo de vehículos; de hecho, es normal proyectar los pavimentos flexibles de las carreteras para que sean capaces de resistir la carga transmitida por una sola rueda idealizada; en primer lugar se necesita escoger un vehículo como representativo del tránsito; éste es generalmente el más pesado o el más frecuente, en tanto que en aeropuertos es común que el seleccionado sea el avión cuyo tren de aterrizaje transmita la carga más pesada. Además se necesita que para llegar a la carga de diseño, que represente el efecto global será además preciso establecer una equivalencia entre la carga transmitida por el arreglo de las llantas del vehículo elegido y la carga ideal.

Para llegar a la carga equivalente se han seguido generalmente dos criterios: buscar la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales que el sistema de llantas del vehículo o a la que produzca las mismas deformaciones.

El espesor requerido de pavimento flexible es igual a una constante por la raíz cuadrada de la carga total de la rueda simple; el valor de K depende de la presión de inflado y del esfuerzo normal vertical admisible, es decir: $Z = K \sqrt{P}$ (1)

La Fig. 2; nos muestra que la carga total de las dos llantas es $2P_1$; la distancia entre las ruedas es S_d centro a centro y "d" entre las caras interiores. El efecto de las dos llantas empieza a superponerse apreciablemente a la profundidad $d/2$ bajo la superficie de rodamiento, la superposición de los esfuerzos de las dos llantas es prácticamente total a la profundidad $2S_d$, es decir, que en un punto colocado bajo ese nivel actuaría

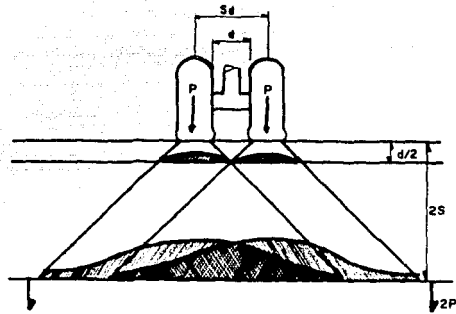


FIG. 2.0 INFLUENCIA DE UN SISTEMA DUAL EN LO QUE SE REFIERE A ESFUERZOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTAGO MEDA CANGICO

FEBRERO 1979

un esfuerzo igual al que se tendría si en la superficie y en el centro del espacio de carga, actuara una fuerza única $2P_1$.

Se supone por un momento que entre las profundidades $d/2$ y $2S$ la variación de la carga que produce un esfuerzo dado a una cierta profundidad es lineal. Un punto colocado entre la superficie y la profundidad $d/2$ es actuado por un esfuerzo debido a la carga P_1 ; un punto colocado mas abajo de $2S$ sufre un esfuerzo debido a la carga $2P_1$; un punto intermedio entre $d/2$ y $2S$, se concluye que en este método, tendrá un esfuerzo debido a una carga proporcionalmente intermedia a los valores de P_1 y $2P_1$.

La ecuación (1) puede escribirse.

$$\text{Log } Z = \frac{\text{Log } P}{2} + \text{Log } K$$

de donde la relación lineal entre carga y profundidad que se supuso arriba es incorrecta, pero tal relación si existe entre los logaritmos, por lo tanto se deduce el siguiente método gráfico para calcular la carga simple equivalente a cualquier sistema dual, en el cual se construirá una gráfica con profundidad en escala logarítmica, contra carga de rueda única que produce a tal profundidad el mismo esfuerzo que el sistema dual dado en escala logarítmica. El punto de la carga P y espesor $d/2$ representa la situación en que cada carga del sistema dual actúa por separado, siendo por lo tanto P_1 la carga que actúa únicamente; el punto de coordenadas $(2P_1, 2S)$ representa el nivel en que el esfuerzo resultante de la superposición se hace total carga $2P_1$. Uniendo esos dos puntos con una recta se tiene el lugar geométrico de los puntos en que una sola carga iguala al esfuerzo de las dos reales. De donde la carga equivalente a cualquier profundidad Z se obtiene llevando por este valor una vertical hasta la recta trazada y viendo la carga correspondiente a ese punto.

Para ilustrar todo lo anterior lo estudiaremos analizando el Libramiento - Vial de Tula.

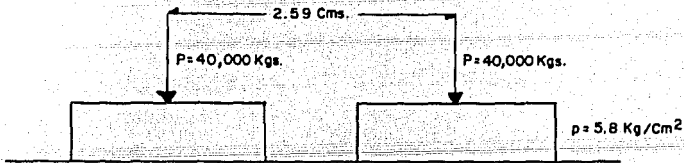
Determinar la carga equivalente empleando el criterio anterior tanto para huella circular como elíptica y para el caso de 2 y cuatro ruedas.

Se diseñó un pavimento para soportar a una carga en dos y cuatro ruedas - y el espesor obtenido fué de 140 cms.

La carga aplicada en cada rueda fué de 40,000 Kgs.

La presión en las llantas es de $p = 5.8 \text{ Kg/cm}^2$.

La separación entre ruedas es de 2.59 mts. centro a centro.



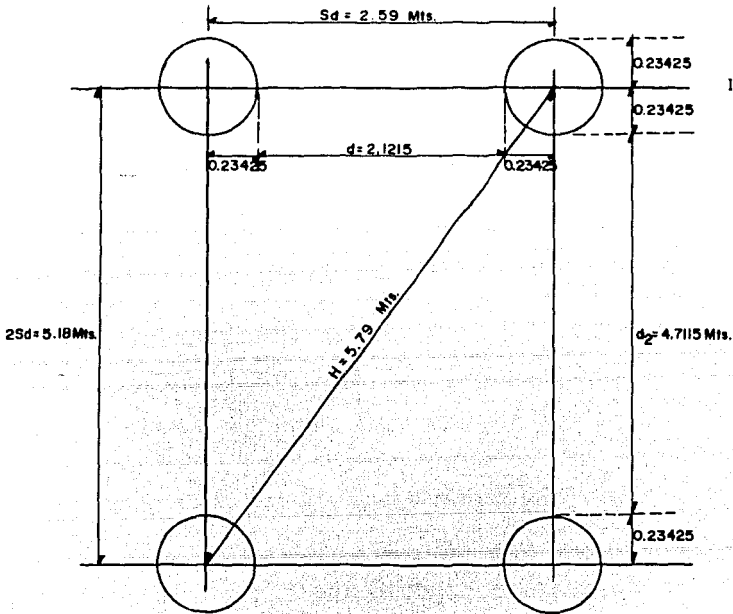
$$\text{Area} = \frac{P}{p} = \frac{40,000 \text{ kg.}}{5.8 \text{ kg/cm}^2} = 6896.55 \text{ cm}^2.$$

Suponiendo huella circular.

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{sustituyendo valores.}$$

$$r = \sqrt{\frac{6896.55}{3.1416}} = 46.85 \text{ de donde} \quad r = a = 46.85 \text{ cms.}$$



$$d = Sd - r = 2.59 - 0.4685 = 2.1215 \text{ mts.}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{2.1215}{2} = 1.060 \text{ mts.}$$

$$Sd = 2.59 \text{ mts.}$$

$$2Sd = 5.18 \text{ mts.}$$

$$H = \sqrt{2.59^2 + 5.18^2} = 5.79 \text{ mts.}$$

$$H = 5.79 \text{ mts.}$$

$$2H = 11.58 \text{ mts.}$$

$$P = 40,000 \text{ kgs.}$$

$$2P = 80,000 \text{ kgs.}$$

$$4P = 160,000 \text{ kgs.}$$

De donde las coordenadas son para el caso de 2 ruedas.

$$\text{Punto A} = \left(\frac{d}{2}; P \right) = (1.060; 40,000)$$

$$\text{Punto B} = (2 Sd; 2P) = (5.18 ; 80,000)$$

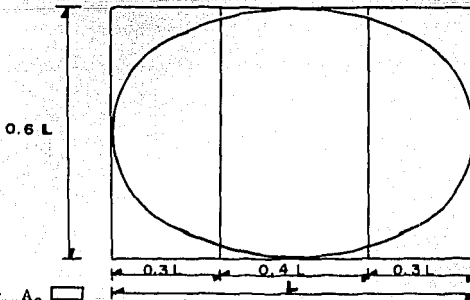
Las coordenadas para el caso de 4 ruedas son:

$$\text{Punto A} = \left(\frac{d}{2}; P \right) = (1,060 ; 40,000)$$

$$\text{Punto B} = (2H; 4P) = (11.58; 160,000)$$

En la hoja logarítmica (Fig.3) se puede apreciar el caso tanto para dos y cuatro ruedas para huella circular; la carga equivalente para el caso de -- dos ruedas es de 46,000 kgs. y la carga equivalente para el caso cuatro ruedas es de 48,000 kgs. para un espesor de 140 cms.

Para el caso de huella elíptica, una de las cosas que necesitamos determinar -- es el área de la huella.



$$A = A_1 \bigcirc + A_2 \square$$

$$A = \pi (0.3L)^2 + 0.4 \times 0.6 L^2$$

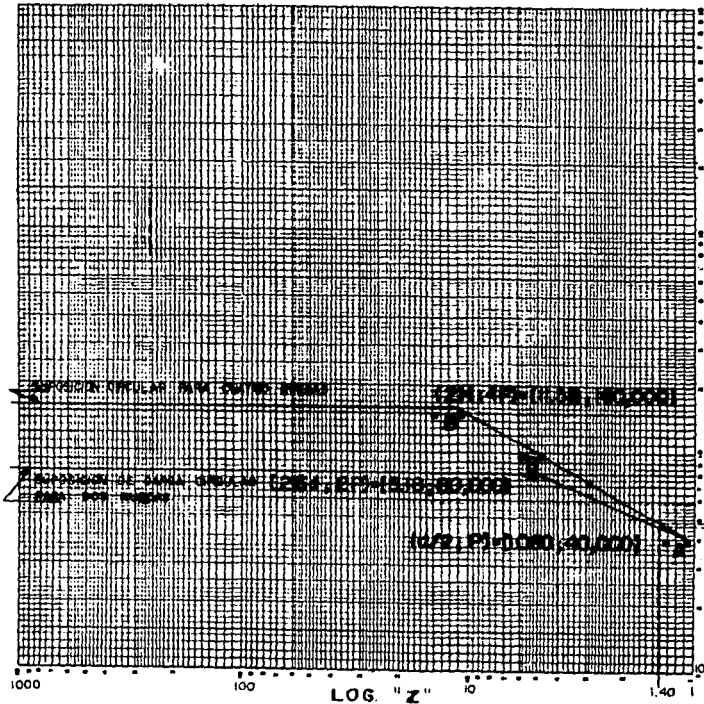
$$A = 0.09\pi L^2 + 0.24 L^2 = 0.2837 L^2 + 0.24 L^2 = 0.5227 L^2$$

$$\text{Area de la huella} = A = 0.523 L^2$$

$$\text{Ancho de la Huella} = 0.6 L$$

de donde:

$$A = \frac{P}{p} = \frac{40000 \text{ kgs.}}{5.8 \text{ kg/cm}^2} = 6896.55 \text{ cms.}$$



1,000,000

LOG. "P"

160,000

80,000

40,000
40,000

FIG. No. 3

1000

100

LOG. "Z"

1.40
1

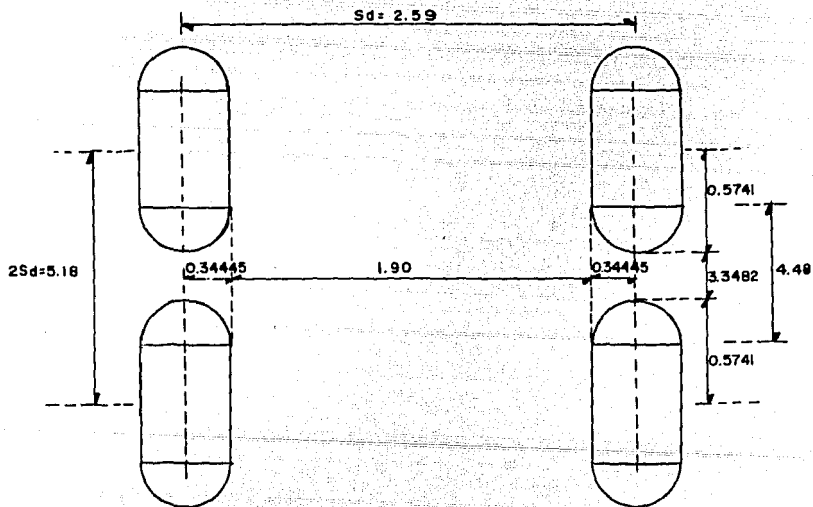
| | |
|---|--------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | |
| FACULTAD DE INGENIERIA | |
| TESIS PROFESIONAL | |
| SANTIAGO NEDA CANCIO | FEBRERO 1979 |

$$A = 0.523 L^2 \quad ; \text{ despejando } L$$

$$L = \sqrt{\frac{A}{0.523}} = \sqrt{\frac{6896.55}{0.523}} = 114.83 \text{ cms.}$$

$$\text{Ancho de la huella} = 0.6L = 0.6 \times 114.83 = 68.89 \text{ cms.}$$

$$H = \sqrt{2.59^{-2} + 5.18^{-2}} = 5.79 \text{ mts.}$$



ACOTACIONES EN METRO.

$$d = Sd - \text{Ancho de la huella} = 2.59 - 0.6889 = 1.90$$

$$0.5L = 0.5 (114.83) = 57.41$$

$$5.18 - 0.3L - 0.3L = 5.18 - 0.35 - 0.35 = 4.48 \text{ mts.}$$

$$d = 1.90 \text{ mts.}$$

$$\frac{d}{2} = 0.95 \text{ mts.}$$

$$H = 5.79 \text{ mts.}$$

$$2H = 11.58 \text{ mts.}$$

$$P = 40,000 \text{ kgs.}$$

$$2P = 80,000 \text{ kgs.}$$

$$4P = 160,000 \text{ kgs.}$$

$$2Sd = 5.18 \text{ mts.}$$

De donde las coordenadas son para el caso de 2 ruedas:

$$\text{Punto A} = \left(\frac{d}{2}; P \right) = (0.95; 40,000)$$

$$\text{Punto B} = (2Sd; 2P) = (5.18; 80,000)$$

Las coordenadas para el caso de 4 ruedas son:

$$\text{Punto A} = \left(\frac{d}{2}; P \right) = (0.95; 40,000)$$

$$\text{Punto B} = (2H; 4P) = (11.58; 160,000)$$

En la hoja logarítmica (Fig.4.) se puede apreciar el caso - tanto para dos y cuatro ruedas para huella elíptica; la carga equivalente para el caso de dos ruedas es de 47,000 kgs., y la carga equivalente para el caso de cuatro ruedas es de 50,000 kgs. para un espesor de 1.40 mts.

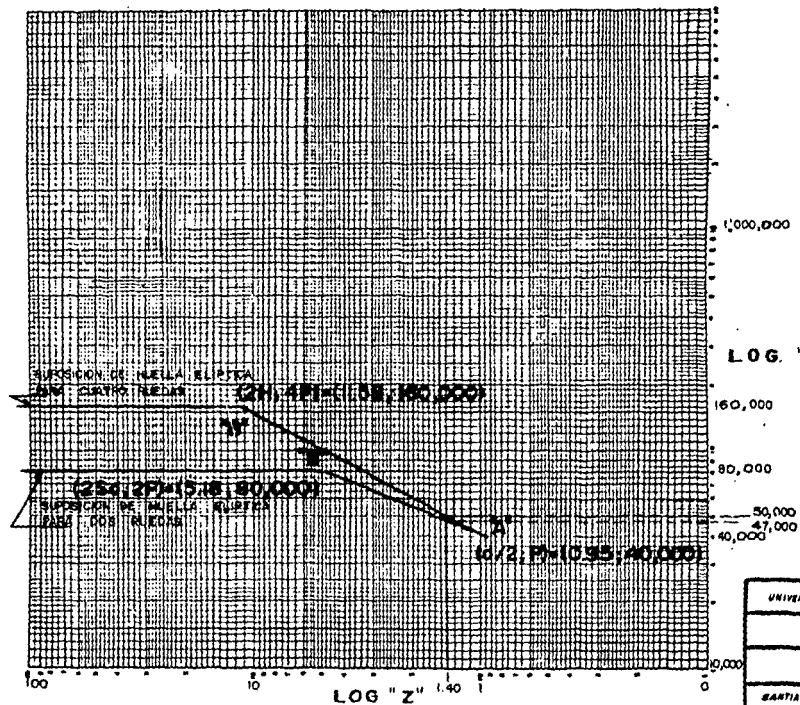


FIG No. 4

| |
|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO |
| FACULTAD DE INGENIERÍA |
| TESIS PROFESIONAL |
| SANTIAGO NEDE CÁNCIGO FEBRERO 1976 |

B). MEDIDO DE DISEÑO DE LA SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.

Una de las principales desventajas de la gráfica de diseño de este método es precisamente el hecho de tener un número muy limitado de variable de proyecto; toma unicamente dos variables que hace intervenir que son:

1. La intensidad de tránsito
2. La resistencia a la penetración de los materiales (V.R.S.)

1. Determinación de la Intensidad de Tránsito

Para determinar los volúmenes de tránsito se utilizan como fuentes los datos obtenidos de los Estudios de origen y destino; los aforos por muestreo y los aforos continuos en estaciones permanentes. Los Estudios de Origen y Destino nos sirve para conocer como su nombre lo indica el lugar donde se originan los viajes y el destino que tendrán los mismos y así poder tener un panorama general del comportamiento y deseos del usuario de los caminos; los aforos por muestreo y los aforos continuos en estaciones permanentes.

Existen varios métodos para hacer los estudios, de los cuales a continuación se mencionan algunos: método de encuesta directa a conductores, método de la tarjeta postal, encuesta a domicilio, método de identificación de placas etc. Dependiendo del método utilizado se podrán conocer diferentes parámetros de la corriente del tránsito como por ejemplo el número y tipo de viajes realizados en las diferentes rutas hacia puntos comunes, motivo de los viajes, composición vehicular, tiempo de recorrido promedio por tipo de vehículo, promedio de pasajeros por vehículo. pasajeros/kilómetro, tipo de producto transportado, etc. Cuando dichos estudios se llevan a cabo en zonas rurales, se obtiene información sobre centros productores y consumido

ros conociendo así el grado de interrelación que existe entre dichos centros. De los datos derivados de estos estudios se pueden identificar las necesidades de los usuarios para trasladarse de un lugar a otro, así como el funcionamiento de las rutas existentes, por lo tanto los datos que se obtienen son indicadores de las condiciones de operación del sistema vial existente; asimismo son útiles para el planeamiento de las nuevas vías, para la planeación del transporte público así como el designar cuales deben ser las áreas terminales para los diferentes tipos de transporte.

La variación de las composiciones de tránsito y el crecimiento de los volúmenes de tránsito en la red de carreteras, se ha tenido la necesidad de que se instalen estaciones de aforo con la finalidad de que registren un tránsito promedio diario con base al período de una semana, el cual relacionado con estaciones maestras, dará como resultado un muestreo razonablemente cercano al tránsito promedio diario anual.

En diversos tramos de la red se han instalado estaciones permanentes provista de contadores automáticos, cuya finalidad es registrar las variaciones y comportamiento de las corrientes de tránsito durante todo el año.

En la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas se están utilizando dos tipos de contadores: los neumáticos que detectan el número de ejes que pasan y cuyas lecturas se llevan a cabo cada 24 horas, y los eléctricos que registran durante lapsos de una hora el número de vehículos que cruzan por la estación; en estos dos tipos de contadores el conteo de vehículos los clasifican en (A) vehículos ligeros, (B) autobuses y (C) vehículos pesados.

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos en las casetas de cobro funcionan como estaciones maestras, ya que registran los volúme-

nes de tránsito, así como su composición vehicular, y nos permite conocer las variaciones estacionales.

De los estudios anteriores, se obtienen los siguientes datos, tanto para caminos nuevos, como para mejoramiento de los existentes:

Volúmen de Tránsito. Es el número de vehículos que pasan por un punto durante un período dado; dentro de estos se mencionan el tránsito promedio y puede ser: diario, semanal, anual es decir (T.P.O.S.) y (T.P.D.A.) y el volúmen Horario de Proyecto (V.H.P.) que es en base de una hora que sirve para fijar las características de proyecto.

Densidad de Tránsito. Es el número de vehículos que se encuentran en una cierta longitud de camino en un instante dado.

Tránsito Generado. Es el volúmen de tránsito que se origina por la construcción o mejoramiento de una carretera y/o por el desarrollo de la zona por donde cruza.

Tránsito Desviado o Inducido. Es la parte de volúmen de tránsito que circulaba antes por otra carretera y cambia su itinerario para pasar por la que se construye o se mejora.

2. Resistencia a la Penetración de los Materiales (V.R.S.).

La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas ha utilizado el sistema modificado de valor relativo de soporte para valuar la resistencia de la subrasante, estas pruebas deberán efectuarse siempre en condiciones de humedad cercanas a las más desfavorables que se considera pueda alcanzar el material para una compactación de proyecto o existente. La resistencia de la subrasante tiene fuertes variaciones estacionales, la mayor parte de las fallas se producen durante la época de lluvias o inmediatamente después; por lo consiguiente las diferentes capas del pavimento tam

bién se ven afectadas notablemente por la temperatura y la precipitación.

La prueba de valor relativo de soporte para diferentes grados de compactación, se refiere esencialmente a una prueba de proyecto, es decir, que los resultados obtenidos con ella al hacer la prueba en materiales provenientes de cortes, préstamos o bancos, deberán ser comprobados posteriormente en el material que forma la estructura ya construida.

El criterio modificado de valor relativo de soporte únicamente determina el espesor total de pavimento o el espesor de pavimento arriba de una capa determinada, presuponiendo un solo tipo de falla por cortante, sin embargo hay que tener presente otros casos que nos pueden ocasionar fallas como pueden ser: Expansión, consolidación del suelo de cimentación, deflexiones elásticas; en las carpetas de concreto asfáltico, la falla puede producirse por tensión debida a esfuerzos radiales.

Para la determinación de espesores de un pavimento flexible se utiliza la gráfica de la Fig. No. 5, en esta gráfica solo puede calcularse el espesor total de base más sub-base, en donde la finalidad de este criterio de diseño únicamente trata de prevenir fallas en la subrasante.

La Fig. No. 5, está en función del número diario de vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 toneladas métricas, en un solo sentido, y las variables que intervienen con él: Valor relativo de soporte (V.R.S.) y la intensidad de tránsito.

La manera de utilizar la Fig. No. 5 para obtener los espesores de base más sub-base es de la siguiente manera:

- 1). Se localiza el V.R.S., en la escala horizontal.
- 2). Se sube una vertical sobre el punto anterior obtenido, hasta

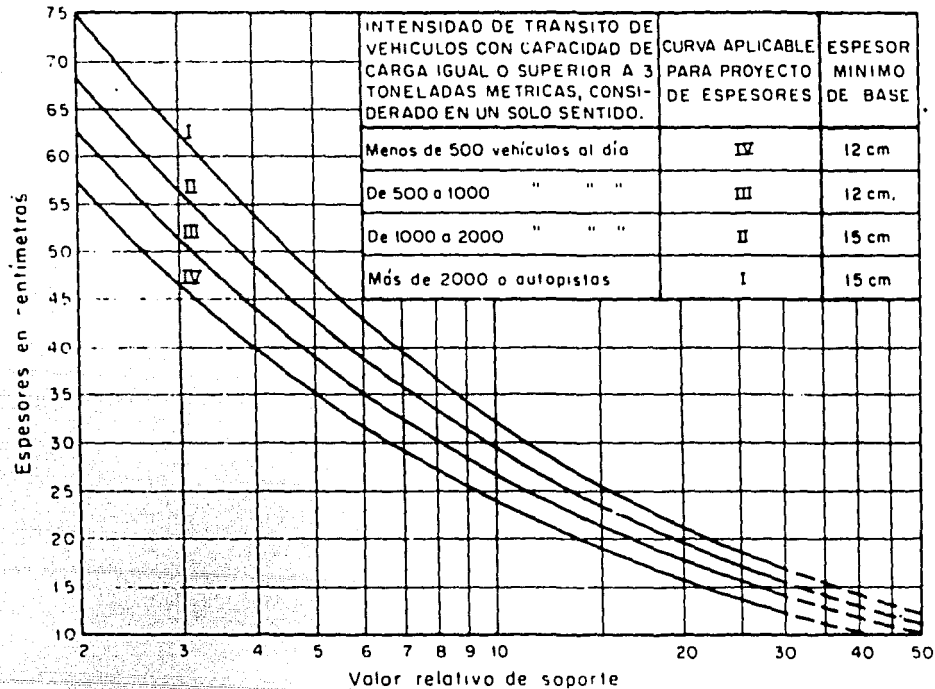


Fig. 5 Curvas para calcular el espesor mínimo de sub-base más base, en pavimentos flexibles para caminos en función del V.R.S. de la sub-rasante

cortar la curva seguida por el tránsito de proyecto.

- 3). Por el punto de corte, se lleva una horizontal hasta interceptar la escala vertical, en donde se lee el espesor de base más sub-base.

Para determinar el espesor de carpeta asfáltica se hace de una manera empírica, basado en las experiencias obtenidas al construirse caminos. El espesor de la capa depende principalmente de la intensidad del tránsito, estructura de los materiales, condiciones climatológicas de la región, con todo lo anterior y según las experiencias del Ingeniero el espesor de la carpeta puede variar desde carpeta construida por el sistema de riegos hasta carpeta de concreto asfáltico.

Método de Diseño de la S.A.H.O.P.

Calcular el espesor del pavimento para el libramiento vial de Tula con una intensidad de tránsito de 3010 vehículos con una composición vehicular de A=65%; B=10% y C=25%, con peso mayor de 3 toneladas; si el V.R.S. de proyecto del material que forma la capa subrasante es de 34%.

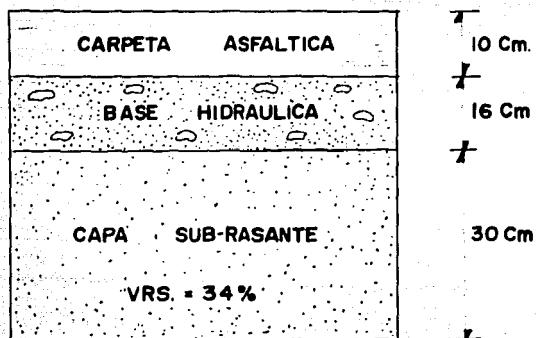
Tránsito=3010 vehículos/día es mayor que 2000 vehículos/día se utilizará la curva I

de la gráfica; (Fig. No. 5)

Espesor de Base + Sub-Base = 16 cms.

El espesor de carpeta asfáltica depende principalmente de la intensidad del tránsito, que en nuestro caso es relativamente alta de donde el espesor de carpeta asfáltica= 10 cms.

La Sección sería:



C). METODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL METODO DE LA S.A.H. U.P. Y POR EL METODO PRELIMINAR DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.

Con la finalidad de analizar el procedimiento actual de diseño de pavimentos flexibles, utilizados por la Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Pùblicas, ésta patrocina un programa de revisión al Instituto de Ingenieria de la U.N.A.M.

Con base en la información experimental de los tramos de prueba y el comportamiento de algunas carreteras en servicio se asignaron parámetros complementarios a cada una de las cuatro curvas de la Fig. No. 5, como se habia explicado una de las principales desventajas de está gráfica de diseño es el hecho de tener un número muy limitado de variables de proyecto.

De acuerdo con los estudios realizados y analizando los datos experimentales obtenidos por el Instituto de Ingenieria se juzga que existen dos aspectos muy importantes que deben tomarse en cuenta en las gráficas preliminares propuestas:

Los caminos con bajo tránsito tienen a quedar sobrediseñados.

Los caminos con alto tránsito posiblemente tengan tendencia a quedar subdiseñados.

ANALISIS DE TRANSITO

Con el fin de considerar la vida de proyecto del pavimento, se recomienda utilizar como referencia el eje sencillo de 8.2 toneladas (18,000 lbs) y los coeficientes de equivalencia deducidos de la prueba AASHO. De la Fig.No.6, se obtienen los coeficientes de conversión para ejes sencillos o ejes en

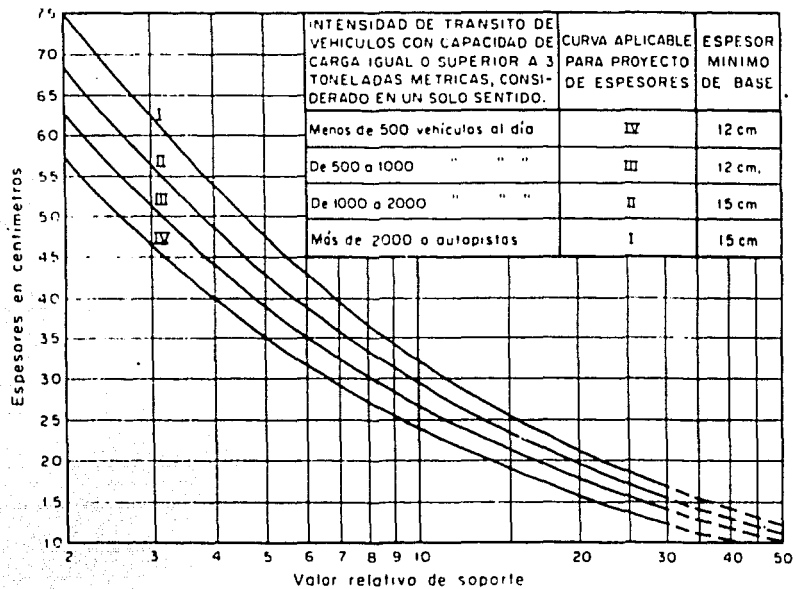


Fig. 5 Curvas para calcular el espesor mínimo de sub-base más base, en pavimentos flexibles para caminos en función del V.R.S. de la sub-rasante

tándem de acuerdo con las fórmulas que se muestran en la Fig. No. 6, y en la Fig. No. 7, aparecen coeficientes de conversión de ocho diferentes vehículos, tipos de vehículos en función de ejes sencillos equivalentes de 8,2 toneladas, obtenidos para las condiciones particulares del país.

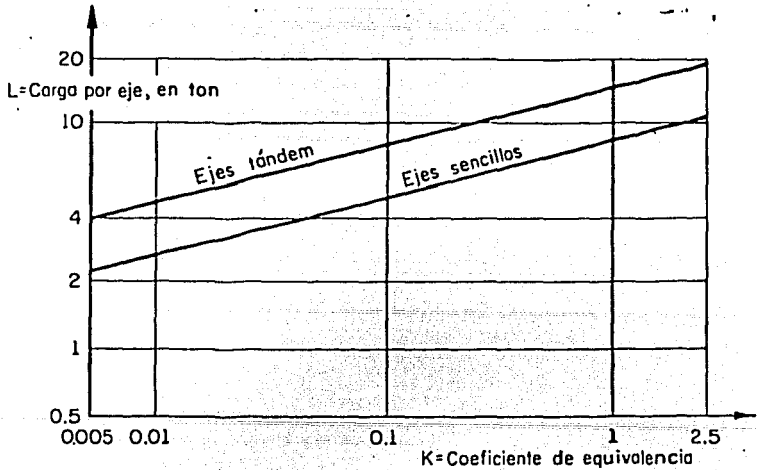
La información de la Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas en cuanto a volumen de tránsito y tasa de crecimiento anual en las diferentes carreteras, es muy completa y permite la aplicación inmediata de criterio de tránsito equivalente.

El Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. sugiere mejorar las estimaciones relativas a la carga transportada y distribución por eje, sencillo o tándem por medio de:

- a) Determinar cargas por eje mediante pesadoras portátiles, ya sea durante los estudios de origen y destino o mediante muestreo al azar.
- b) Diferenciar los vehículos de tres ejes (C3 y T2-S1 en la Fig.7), pues no se hace dicha distinción en las estadísticas actuales y, para fines de diseño del pavimento, aunque pueden transportar la misma carga, sus efectos son bastantes distintos.

CLIMA

Las condiciones climáticas y regionales influyen notablemente en el comportamiento de un pavimento, para las condiciones de nuestro país, donde no existe en forma notable el problema de congelación y deshielo, el factor más importante es el contenido de agua de equilibrio, o el contenido de agua más desfavorable cuando las variaciones estacionales sean de importan-



- 1 $K_{\text{tándem}} = \left(\frac{L_T}{15}\right)^4$
- 2 $K_{\text{sencillo}} = \left(\frac{L_S}{8.2}\right)^4$
- 3 Para igualdad de daño $L_T = 1.8 L_S$

Fig. 6 Coeficientes de equivalencia de carga

NOTA

K_v : Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío

K_c : Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado.

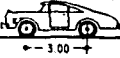

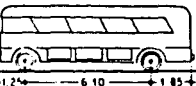
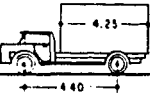
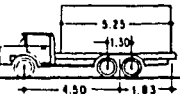
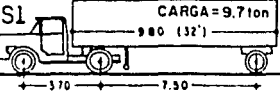
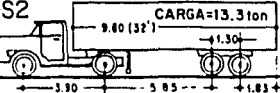
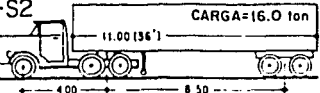
| | W_{VAC} | K_V | W_{CARG} | K_C |
|--|-----------|--------|------------|--------|
| A_p | | | | |
| 1  | 0.9 | 0.0001 | 1.0 | 0.0002 |
| 2 | 0.9 | 0.0001 | 1.0 | 0.0002 |
| 3 | — | — | — | — |
| Σ | 1.8 | 0.0002 | 2.0 | 0.0004 |
| A_c | | | | |
| 2  CARGA=2.5 ton | 1.2 | 0.0005 | 1.6 | 0.0014 |
| 2 | 1.2 | 0.0005 | 3.3 | 0.0260 |
| 3 | — | — | — | — |
| Σ | 2.4 | 0.0010 | 4.9 | 0.0274 |
| B | | | | |
| 3  25 PASAJEROS | 3.0 | 0.0180 | 4.2 | 0.0690 |
| 2 | 7.0 | 0.5310 | 8.3 | 1.0500 |
| 3 | — | — | — | — |
| Σ | 10.0 | 0.5490 | 12.5 | 1.1190 |
| C₂ | | | | |
| 4  CARGA=5.1 ton | 1.5 | 0.0011 | 2.5 | 0.0086 |
| 2 | 2.7 | 0.0118 | 6.8 | 0.4730 |
| 3 | — | — | — | — |
| Σ | 4.2 | 0.0129 | 9.3 | 0.4816 |
| C₃ | | | | |
| 5  CARGA=9.7 ton | 1.7 | 0.0018 | 2.6 | 0.0100 |
| 2 | 5.2 | 0.0144 | 14.0 | 0.7600 |
| 3 | — | — | — | — |
| Σ | 6.9 | 0.0162 | 16.6 | 0.7700 |
| T₂-S₁ | | | | |
| 6  CARGA=9.7 ton | 2.5 | 0.0085 | 3.0 | 0.0180 |
| 2 | 3.6 | 0.0370 | 8.0 | 0.9059 |
| 3 | 3.0 | 0.0180 | 7.8 | 0.8186 |
| Σ | 9.1 | 0.0635 | 18.8 | 1.7425 |
| T₂-S₂ | | | | |
| 7  CARGA=13.3 ton | 3.5 | 0.0331 | 4.0 | 0.0560 |
| 2 | 4.0 | 0.0560 | 8.5 | 1.1600 |
| 3 | 3.8 | 0.0100 | 12.1 | 0.4300 |
| Σ | 11.3 | 0.0991 | 24.6 | 1.6460 |
| T₃-S₂ | | | | |
| 8  CARGA=16.0 ton | 3.5 | 0.0331 | 3.9 | 0.0510 |
| 2 | 5.4 | 0.0168 | 13.0 | 0.5640 |
| 3 | 5.0 | 0.0124 | 13.0 | 0.5640 |
| Σ | 13.9 | 0.0623 | 29.9 | 1.1790 |

Fig. 7 Conversión de vehículos a ejes equivalentes

cia.

El Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. recomienda utilizar el sistema de KÖPPEN - GEIGER, Fig. No. 8, en el cual realiza una zonificación de las condiciones de contenido de agua de equilibrio de acuerdo a las características del país, subdividiendo la república en tres grandes zonas, A, B y C, que corresponden a los climas representativos del país.

Mediante el empleo de las Fig. 9 y 10 se obtienen diseños adecuados de pavimentos, los cuales se pueden adaptar de una manera más precisa a las condiciones particulares de diferentes carreteras en cuanto a:

- Vida de Proyecto
- Tipo de Tránsito
- Tasa de crecimiento anual
- Estructuración más Económica

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO

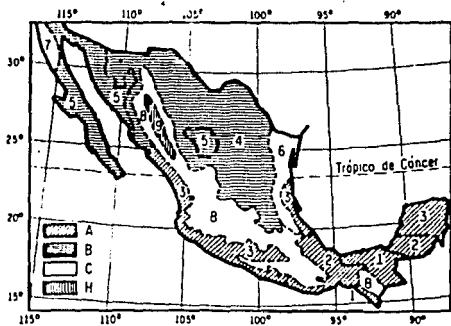
A continuación se describen los pasos para el diseño de espesores del pavimento en estudio:

1. Cálculo del tránsito para el período de diseño.

Para obtener el tránsito se requiere lo siguiente:

- 1.1) Del tránsito promedio diario anual (T.P.D.A.), la tasa de crecimiento anual y la vida de proyecto, calcular el incremento anual del tránsito mezclado que se tendrá año con año, hasta completar el período de diseño.

- 1.2) Calcular el tránsito mezclado en un solo sentido



PRIMERA LETRA

A, C, D - Suficiente calor y precipitación para el crecimiento de árboles grandes

A - Climas tropicales. Todas las temperaturas medias mensuales mayores de 18°C

B - Climas secos. Fronteras determinadas mediante los gráficos T-R

C - Climas templado-cálidos. Temperatura media del mes más frío entre 18° y -3°C

D - Climas de nieve. Temperatura media del mes más cálido mayor de 10°C, del mes más frío menor de -3°C

E - Climas polares. Temperatura media del mes más cálido menor de 10°C

SEGUNDA LETRA

S - Clima estepario*

W - Clima desértico*

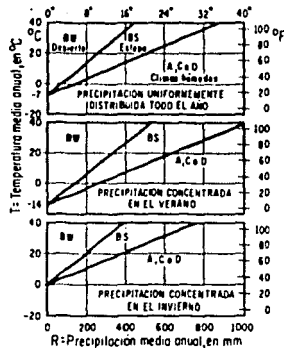
I - Suficiente precipitación todos los meses

U - Clima de nieve, a pesar de una estación seca

1 - Tiempo seco en verano

2 - Tiempo seco en invierno

* Fronteras determinadas por gráficos T-R. Solo se usó en comparación con la primera letra B



TERCERA LETRA

a - Temperatura media del mes más cálido, mayor de 22°C

b - Temperatura media del mes más cálido, menor de 22°C

(por 3 meses cuatro meses tienen medias mayores de 10°C)

c - Meses de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C

d - Igual que c, pero la media del mes más frío menor de -3°C

h - Seco y caliente. Temperatura media anual mayor de 18°C

l - Seco y frío. Temperatura media anual mayor de 18°C

m - Clima de montaña. Estrecho, tipo alpino

| CLIMAS | | | | REGIMEN PLUVIOMÉTRICO | PRECIPITACION ANUAL en mm | TEMPERATURA DATOS TÍPICOS ANUAL MENSUAL en °C | CIUDADES REPRESENTATIVAS |
|--------|-----------------|-----|---|--|------------------------------|---|--|
| A | TROPICAL | Afa | 1 | Ecuatorial, tipo amazónica calorosa regular | 2000 a 3000 | 23.0 28.0 21.0 | Yushimame, Coahuacancan, Tepic |
| | | Ama | 2 | Subecuatorial, tipo sabana calorosa regular | 1000 a 2500 | 24.9 27.6 20.8 | Torre Blanca, Cd del Carmen, Salina Cruz, Córdoba, Orizaba |
| | | Awq | 3 | Tropical, tipo savana variaciones térmicas | inferior a 2500 | 27.1 28.6 23.6 | Yucruera, Acapulco, Manzanillo, Mazatlán, Morelia, Chetumal, Campeche |
| B | SECO | Bsk | 4 | Esteparia, tipo savana o tipo sima Calorosa o templada media, oscilaciones térmicas variables | 100 a 500 | 18.9 21.8 12.4 | Tarasa, Sotillo, Manzanera, Laredo, Guaymas, Monterrey |
| | | Bwh | 5 | Desértica, tipo sabana extrema | 60 a 200 | 23.0 30.8 17.4 | Cuervo Ciénegas, Sta Rosalita Mexcala, La Paz |
| C | SUB TROPICAL | Cfa | 6 | Subtropical mediterránea con un flujo de humedad tipo clima caloroso media, nivel térmico alto | Aprox a 1000 | 23.5 29.0 16.4 | Matamoros, Ciudad Victoria, Tampala |
| | | Csb | 7 | Mediterránea, tipo portuñal templada media, variaciones bajas y calientes | 400 a 700 | 16.6 20.4 13.0 | Ensenada, Zaragoza |
| | | Cwh | 8 | Subtropical de altura, tipo meso- clima Templado regular | 300 a 1000 | 15.5 18.5 12.5 | México, Guadalupe, Puebla, León, Aguascalientes, Zacatecas, San Cristóbal de las Casas, Oaxaca |
| H | DE MONTAÑA | H | 9 | De montaña, extrema tipo alpino | — | 10.5 13.5 5.5 | Ciudad Guerrero, Coahuacancan, Tehuacan, El Salto |

Fig. 8 Clasificación de climas, basado en el sistema Köppen-Geiger

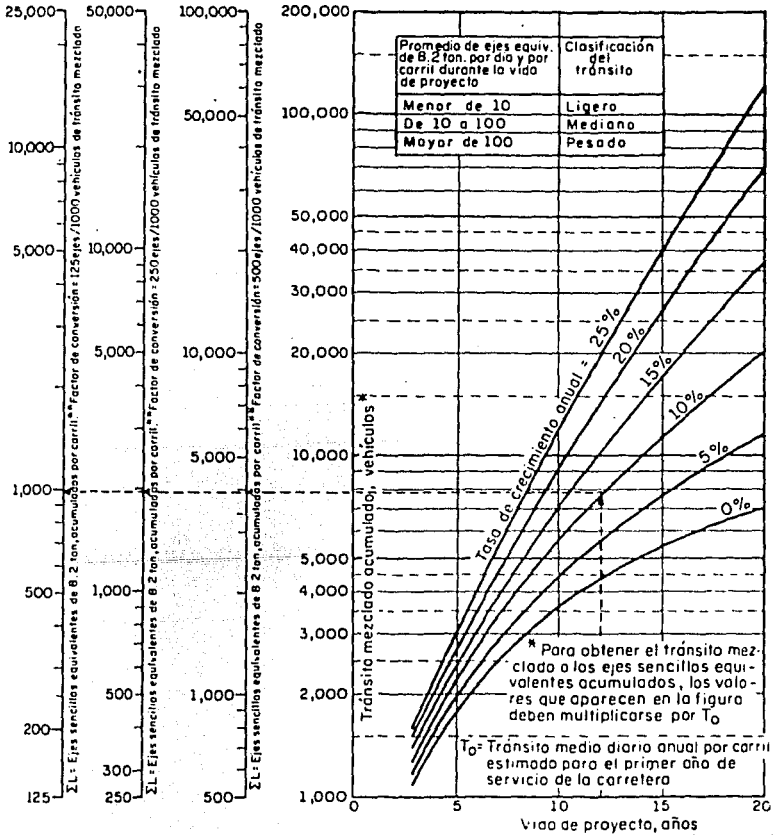


Fig. 9 Gráfica para estimar el tránsito equivalente, en función del tránsito mezclado inicial

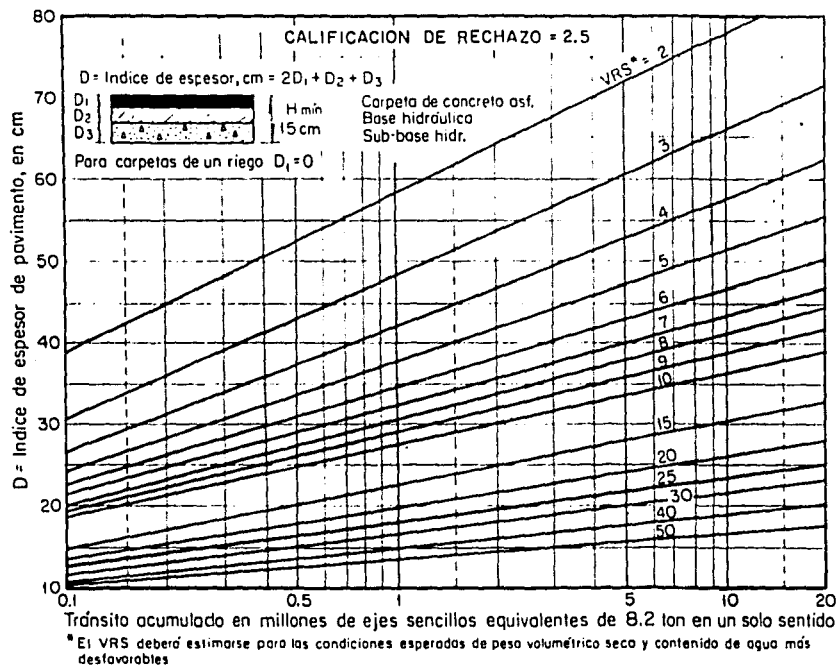


Fig. 10 Gráfica preliminar para diseño de pavimentos flexibles de carretera

$$\frac{I.P.D.A.}{2} \times 365 = \text{Tránsito en un solo sentido}$$

- 1.3) Calcular el número anual de vehículos de cada tipo, de acuerdo con los porcentajes en que se clasifique el tránsito, según (A), vehículos ligeros, (B), autobuses, (C), vehículos pesados de dos o más ejes.
- 1.4) Transformar a ejes equivalentes de la Fig. No. 7 se obtienen los coeficientes de equivalencia K_c o K_v .
- 1.5) Calcular la suma parcial (por año), de ejes equivalentes (ΣL).
- 1.6) Calcular la suma total de ejes equivalentes para el período de diseño (ΣTL).

2. Determinación de espesores del pavimento.

Para obtener el espesor del pavimento en estudio se efectúan los siguientes pasos:

- 2.1) Entrando a la gráfica de la Fig. No. 10, en el eje horizontal con la suma total de ejes equivalentes ΣTL , levantar una vertical por ese punto hasta cortar la curva que corresponda al valor relativo del soporte (V.R.S.) de proyecto.
- 2.2) Con el punto anterior en donde se corta, llevar una horizontal hasta interceptar el eje vertical, donde leemos el valor del índice de espesor, D.

Con base en la información experimental del extranjero y datos de los tramos de prueba, el índice de espesor se consideró igual a:

$$D = D_1 + D_2 + D_3$$

Donde:

D_1 = Espesor de carpeta de concreto asfáltico

D_2 = Espesor de Base Hidráulica

D_3 = Espesor de Sub-base

En el caso de pavimentos con carpetas de un riego, el índice de espesor es numéricamente igual al espesor de base más sub-base.

Calcular el espesor del pavimento del libramiento vial de Tula, en el que el VRS del material que formará la capa subrasante es de 34%; el volumen promedio diario anual (V.P.D.A.) es de 3010 vehículos en dos sentidos, clasificados en A, B y C con 65%, 10% y 25%, respectivamente del total y una tasa de crecimiento anual de 8%, se diseñará para una vida de proyecto de 10 años. El vehículo tipo C es el conocido como T2 - S1, con carga de 9.7 toneladas.

SOLUCION

1). Cálculo del tránsito equivalente para el período de Diseño.

1.a) Cálculo del incremento anual del tránsito mezclado.

V.P.D.A. = 3010 Vehículos en 1978

Tasa de crecimiento anual = 8%

Vida de Proyecto = 10 años

Para 1979

$3010 \times 1.08 = 3251$ vehículos

Para 1980

$$3251 \times 1.08 = 3511 \text{ veh\u00edculos}$$

Etc.

1.b) C\u00e1lculo del tr\u00e1nsito mezclado en un solo sentido .

Para 1978

$$\frac{3010}{2} \times 365 = 549,325$$

Para 1979

$$\frac{3251}{2} \times 365 = 593,307$$

Etc.

1.c) C\u00e1lculo de los diferentes tipos de veh\u00edculos, de acuerdo con los porcentajes de clasificaci\u00f3n del tr\u00e1nsito A, B y C.

Datos:

$$A = 65\% \quad B = 10\% \quad C = 25\%$$

Veh\u00edculos A en un solo sentido:

$$A = 0.65 \times \text{Tr\u00e1nsito en un solo sentido}$$

Veh\u00edculos B en un solo sentido:

$$B = 0.10 \times \text{Tr\u00e1nsito en un solo sentido}$$

Veh\u00edculos C en un solo sentido:

$$C = 0.25 \times \text{Tr\u00e1nsito en un solo sentido.}$$

Para 1978:

$$A = 0.65 \times 549,325 = 357,061$$

$$B = 0.10 \times 549,325 = 54,932$$

$$C = 0.25 \times 549,325 = 137,331$$

Para 1979:

$$A = 0.65 \times 593,307 = 385,649$$

$$B = 0.10 \times 593,307 = 59,331$$

$$C = 0.25 \times 593,307 = 148,327$$

Etc.

1.d) Transformación a ejes equivalentes de la Fig. 7, se obtienen los coeficientes de equivalencia Kc:

$$KcA = 0.0004$$

$$KcB = 1.1190$$

$$KcC = 1.7425$$

Para 1978:

$$A \times Kc A = 357,061 \times 0.0004 = 142.82$$

$$B \times Kc B = 54,932 \times 1.1190 = 61,468.91$$

$$C \times Kc C = 137,331 \times 1.7425 = 239,299.26$$

Para 1979:

$$A \times Kc A = 385,649 \times 0.0004 = 154.26$$

$$B \times Kc B = 59,331 \times 1.1190 = 66,391.39$$

$$C \times Kc C = 148,327 \times 1.7425 = 258,459.79$$

Etc.

1.e) Suma parcial (ΣL)

Para 1978:

$$142.82 + 61,468.91 + 239,299.26 = 300,910.99$$

Para 1979:

$$154.26 + 66,391.39 + 258,459.79 = 325,005.44$$

Etc.

1.f) Suma total de ejes equivalentes para el período de diseño
(ΣTL)

$$\Sigma TL = \Sigma L_1 + \Sigma L_2 + \Sigma L_3 + \Sigma L_4 + \dots + \Sigma L_n$$

$$\Sigma TL = 5'008,831.00$$

En la tabla No. 1 se muestran los valores obtenidos para el período de diseño de 10 años y el total anterior de 5'008,831.00 ejes equivalentes.

2) Determinación de espesores de pavimento

$$\Sigma TL = 5'008,831.00$$

$$VRS = 34\%$$

Entrando a la Fig. No. 10 obtengo el valor de índice de espesor, D

$$D = \text{Índice de espesor, Cm} = 2D_1 + D_2 + D_3$$

$$D = 19 \text{ cms.}$$

$$D = 2D_1 + D_2 + D_3$$

$$D = 5 + 4 + 5$$

Una alternativa sería:



Otra alternativa seria:

$$D = 5 + 9 = 14 \text{ cms.}$$



TABLA No. 1

TABLA DE CALCULO PARA TRANSITO FUTURO

| AÑO | AÑO | VFDA | $\frac{VPDA \times 365}{2}$ | A | B | C | 0,0004A | 1,1190B | 1,7425C | ΣL |
|-----|------|------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|
| 0 | 1978 | 3010 | 549,325 | 357,061 | 54,932 | 137,331 | 142,82 | 61,468,91 | 239,299,26 | 300,910,99 |
| 1 | 1979 | 3251 | 593,307 | 385,649 | 59,331 | 148,327 | 154,26 | 66,391,39 | 250,459,79 | 325,005,44 |
| 2 | 1980 | 3511 | 640,757 | 416,492 | 64,076 | 160,189 | 166,60 | 71,01,04 | 279,129,33 | 350,996,97 |
| 3 | 1981 | 3792 | 692,040 | 449,826 | 69,204 | 173,010 | 179,93 | 77,439,28 | 301,469,92 | 379,089,13 |
| 4 | 1982 | 4095 | 747,337 | 485,769 | 74,734 | 186,834 | 194,31 | 83,627,35 | 325,558,24 | 409,379,90 |
| 5 | 1983 | 4423 | 807,197 | 524,678 | 80,720 | 201,799 | 209,87 | 90,325,68 | 351,634,75 | 442,170,30 |
| 6 | 1984 | 4776 | 871,620 | 566,553 | 87,162 | 217,905 | 226,62 | 97,534,28 | 379,699,46 | 477,460,36 |
| 7 | 1985 | 5159 | 941,517 | 611,986 | 94,152 | 235,379 | 244,79 | 105,356,08 | 410,147,90 | 515,748,77 |
| 8 | 1986 | 5571 | 1'016,707 | 660,859 | 101,671 | 254,177 | 264,34 | 113,769,84 | 442,933,42 | 556,937,60 |
| 9 | 1987 | 6017 | 1'098,102 | 713,766 | 109,810 | 274,525 | 285,51 | 122,877,39 | 478,359,81 | 601,522,71 |
| 10 | 1988 | 6498 | 1'185,885 | 770,825 | 118,588 | 296,471 | 308,33 | 132,699,97 | 516,600,71 | 649,609,01 |

ΣL = 5'008,831,00

D) METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.

La Secretaría de Obras Públicas patrocina un programa de investigación sobre diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras; con el fin de obtener mejores métodos de diseño en la construcción y reconstrucción.

Este método establece la necesidad de realizar un cambio básico de criterio; es decir normalmente se habla de diseño del pavimento el cual está constituido por un sistema de capas múltiples: carpeta, base y sub-base, apoyadas sobre las capas inferiores es decir la subrasante, parte inferior del terraplen y suelo de cimentación, lo anterior supone implícitamente que la subrasante es la capa crítica y no hay posibilidad de falla en las demás capas que constituyen la carretera; por lo tanto da lugar en muchos casos a estructuras inadecuadas, ya que la subrasante no es necesariamente la capa más débil.

Se parte de la hipótesis de que la carretera más económica es aquella que tiene una resistencia relativa uniforme en todas sus capas y llega a la falla funcional cuando ha soportado el número acumulado de aplicaciones de carga equivalente (ΣL) determinadas para la vida de proyecto del camino. Si la resistencia relativa no es uniforme en las diferentes capas de la estructura, se supone que la capa de resistencia mínima determina la vida de servicio de la carretera.

El método se basa en una generalización teórica de los datos experimentales obtenidos en la pista circular del Instituto y en los tramos experimentales de Zalinás e Izúcar.

La falla por fatiga de una capa en la superficie de la carretera, se parte de la hipótesis de que existe una relación lineal entre el logaritmo de la

resistencia ($\log \widehat{VRS}$) y el logaritmo del número acumulado de ejes equivalentes de 8,2 ton ($\log \Sigma L$)

Se emplean los conceptos de capacidad de carga en suelos cohesivos y la teoría de distribución de esfuerzos verticales de Boussinesq, deducida para una placa estática, circular, flexible, apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico, isótropo e homogéneo.

Las gráficas de diseño que se utilizan en este método se han desarrollado con base en el valor relativo de soporte crítico esperado en el lugar (\widehat{VRS}_2), de donde debe elegirse un grado de confianza compatible con la importancia de la carretera.

En la actualidad todos los procedimientos en uso tienen deficiencias y la estimación del valor de diseño se basa generalmente en la experiencia del ingeniero, el siguiente paso para mejorar el criterio de diseño en el futuro, consistirá en el desarrollo de técnicas más precisas que las actuales para estimar la resistencia crítica esperada en el campo en diferentes etapas durante la vida de proyecto de el camino.

Uno de los objetivos que se analizó fué el método de prueba a seguir; se decidió conservar la técnica de valor relativo de soporte de California (VRS o CBR), las razones que fundamentaron la decisión son:

- a) La prueba del VRS de campo es un indicador de resistencia última que es susceptible de análisis teórico.
- b) El método CBR es el de mayor difusión en el mundo.
- c) La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas tiene mucha experiencia en su aplicación.

d) El equipo es económico y de fácil manejo en el campo.

Las variables que intervienen en el diseño de un pavimento flexible se pueden clasificar en:

- a) Variables ESTRUCTURALES. Comprenden características de cada una de las capas que constituye la carretera, como espesores, deformabilidad y resistencia.
- b) Variable DE CARGA. Comprende los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera.
- c) Variables DE CLIMA Y CONDICIONES REGIONALES. Comprende las características de los materiales que constituyen la carretera dependen de la temperatura, nivel freático, régimen de precipitación, topografía de la región.
- d) Variables de CONSERVACION. Una buena conservación garantiza que las variaciones en las características constructivas de los materiales sean mínimas.

El criterio del Instituto de Ingeniería se limita al aspecto estructural; para una aplicación adecuada del método de diseño deben analizarse diferentes alternativas en donde el ingeniero a través de su experiencia puede elegir la más conveniente.

El número de variables de diseño es muy alto a saber:

- a) Coeficiente de daño ESTRUCTURAL por eje o por vehículo, ya sean cargados o vacíos.
- b) Composición del tránsito, tomando en cuenta tipo y peso de vehículos
- c) Vida de proyecto de la carretera
- d) Tasa de crecimiento anual de tránsito

- e) Factores de equivalencia estructural (a_1, a_2) para el caso de carpetas asfálticas y bases estabilizadas con asfalto u otros materiales como cal o cemento
- f) Valores relativos de soporte mínimos requeridos para cada una de las diferentes capas.
- g) Coeficiente de variación del VRS en el campo para dada una de las diferentes capas.
- h) Nivel de confianza establecido para el análisis del VRS, para cada una de las diferentes capas.
- i) Dos gráficas de diseño de espesores (Fig. 15 y 17), con diferentes coeficientes de seguridad a la falla funcional de la carretera.

El criterio de diseño estructural de pavimentos no se limita exclusivamente a las gráficas para el proyecto de espesores como frecuentemente se su pone; comprende tres aspectos fundamentales que deben estar correlacionados entre sí para que el procedimiento sea aplicable:

- a) especificaciones de materiales, procedimientos y tolerancias de construcción, normas de construcción, niveles de aceptación o rechazo, factores de seguridad.
- b) Métodos de pruebas para obtener indicadores estándar sobre clasificación o resistencia de materiales, uniformidad de construcción, etc.
- c) Gráficas y tablas que relacionen de una manera explícita el mayor número de variables de diseño que puedan valuarse en la práctica a través de procedimientos debidamente normalizados.

Como ya se explicó en el método de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas solo puede calcularse el espesor de base más sub-base; es decir, el criterio de diseño solo trata de prevenir fallas en la subrasante. En cambio el método del Instituto de Ingeniería sustituye este concep

to empleando la idea de espesor equivalente y recomendando el valor relativo de soporte que se requiere a cualquier profundidad para un determinado volumen acumulado de tránsito equivalente.

En la actualidad sobre conocimientos de diseño de pavimentos flexibles no se dispone de una teoría que permita predecir, de manera adecuada, el comportamiento de la carretera bajo condiciones generales; ya que hay deficiencias a la determinación precisa de los parámetros de los materiales, así como en el cambio de esos parámetros respecto al tiempo y condiciones climáticas.

Este método utiliza factores teóricos o empíricos de conversión, el tránsito mezclado real de la carretera se transforma a ejes sencillos equivalentes de 8.2 toneladas.

Los coeficientes de daño para vehículos típicos en la red, calculados teóricamente con la fig. 12 y coinciden notablemente con los valores empíricos obtenidos en la prueba AASHO. Fig. 6.

| VEHICULO TIPO | COEFICIENTE DE DAÑO CARGADO | |
|---------------|-----------------------------|-------|
| | INSTITUTO Z = 15 CM. | AASHO |
| AP | 0.00 | 0.00 |
| AC | 0.04 | 0.03 |
| B | 1.15 | 1.12 |
| C2 | 0.47 | 0.48 |
| C3 | 0.68 | 0.77 |
| T2-S1 | 1.74 | 1.74 |
| T2-S2 | 1.57 | 1.65 |
| T3-S2 | 1.30 | 1.18 |

Las gráficas de diseño que se presentan están limitadas al caso típico de las estructuras empleadas en México, donde el espesor de las carpetas de concreto asfáltico rara vez excede 7.5 cms., y las demás capas de la carretera están constituidas por materiales granulares o suelos finos estabilizados mecánicamente a través de compactación, cuando se tiene carpetas asfálticas muy gruesas, varían las hipótesis de diseño y deberán tomarse en cuenta los esfuerzos radiales que pueden producir fallas por fatiga a la tensión en el concreto asfáltico.

A continuación se presentan las gráficas y tablas de diseño que se utilizan en este método.

Fig. 11 Gráfica para estimar coeficientes de daño por tránsito, con relación al eje sencillo equivalente de 8.2 Ton. (18000 lbs; $p=5.8$ kg/cm², $a=15$ cm.)

Fig. 12 Coeficientes de daño por tránsito para vehículos típicos

Fig. 13 Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

Fig. 14 Tabla para el cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton.

Fig. 15 Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible. Nivel de rechazo 2.5, en la escala 0-5 de índice de servicio actual. Condiciones normales.

Fig. 16 Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible. Nivel de rechazo 2.5, en la escala 0-5 de índice de servicio actual. Condiciones normales.

Fig. 17 Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible. Nivel de rechazo de 2.0 - 2.5 en la escala 0-5 de índice

ce de servicio actual. Aplicable a caminos secundarios en condiciones favorables. Gráfica general, equivalente a la Fig. 15 pero con menor coeficiente de seguridad a la falla funcional.

Fig. 18 Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible. Nivel de rechazo 2.0 - 2.5 en la escala 0-5 de índice de servicio actual. Aplicable a caminos secundarios en condiciones favorables. Gráfica simplificada, útil para diseño rutinario, equivalente a la porción amplificada de la Fig. 17.

Diseño del pavimento flexible del libramiento vial de Tula empleando el método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Nivel de Rechazo = 2.5

$n = 10$ años (período de diseño)

$t = 8\%$ Tasa de crecimiento anual del tránsito

Dos carriles

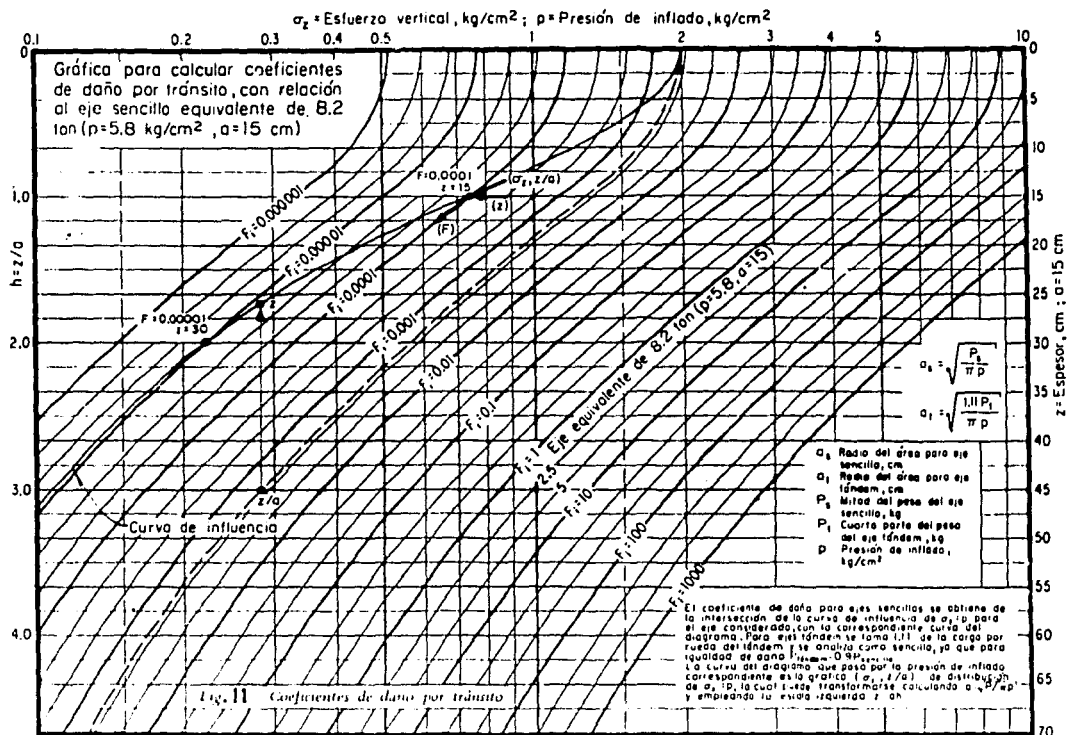
Nivel de confianza = 0.80

Datos de tránsito diario en los dos sentidos en el entronque Tula-Tepeji a Tula - Jorobas

| | | |
|------|---------------------------------------|----------|
| 1956 | Automoviles diarios en ambos sentidos | (65 %) |
| 301 | Autobuses diarios en ambos sentidos | (10 %) |
| 753 | Vehículos tipo T2-S1 | (25 %) |

Datos de tránsito diario en los dos sentidos en el entronque Tula a Ilahuaplan

| | | |
|------|---------------------------------------|----------|
| 1668 | automóviles diarios en ambos sentidos | (71 %) |
| 165 | autobuses diarios en ambos sentidos | (7 %) |



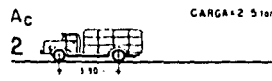
NOTA
 K_v - Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío
 K_C - Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado



| Características | | | |
|-----------------|----------|-----|-----|
| L | Pos. eje | W | B |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 1.0 | 0.0 | 2.0 |
| 2 | 1.0 | 0.0 | 2.0 |
| 3 | 2.0 | 1.0 | |

| Coeficientes de Jaula | | | |
|-----------------------|-------|--------|-------|
| Logano 3 | | | |
| z=0 | z=15 | z=22.5 | z=30 |
| 0.021 | 0.040 | 0.045 | 0.050 |
| 0.011 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |
| 0.006 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |

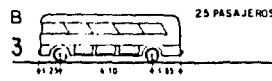
| Coeficientes de eje | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|
| Logano 3 | | | |
| z=0 | z=15 | z=22.5 | z=30 |
| 0.0021 | 0.0040 | 0.0045 | 0.0050 |
| 0.0011 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 0.0006 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |



| | | | |
|---|-----|-----|-----|
| 1 | 1.6 | 1.2 | 4.2 |
| 2 | 2.3 | 1.3 | 4.2 |
| 3 | | | |
| 4 | 4.9 | 2.4 | |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.011 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 0.011 | 0.040 | 0.010 | 0.010 |
| 0.006 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 0.034 | 0.041 | 0.011 | 0.010 |

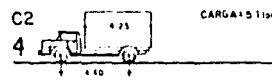
| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.017 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.034 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |



| | | | |
|---|------|------|-----|
| 1 | 4.2 | 3.0 | 5.8 |
| 2 | 6.3 | 5.0 | 5.8 |
| 3 | | | |
| 4 | 13.5 | 10.0 | |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.010 | 0.010 | 0.040 | 0.010 |
| 0.010 | 0.010 | 0.020 | 0.010 |
| 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |

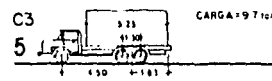
| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.010 | 0.040 | 0.010 | 0.001 |
| 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 0.010 | 0.040 | 0.010 | 0.001 |



| | | | |
|---|-----|-----|-----|
| 1 | 2.5 | 1.5 | 5.0 |
| 2 | 4.8 | 1.7 | 5.0 |
| 3 | | | |
| 4 | 9.3 | 4.2 | |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 0.04 | 0.015 | 0.048 | 0.011 |
| 0.04 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 0.04 | 0.043 | 0.040 | 0.043 |
| 0.04 | 0.015 | 0.048 | 0.011 |

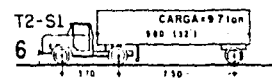
| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 0.04 | 0.001 | 0.040 | 0.000 |
| 0.04 | 0.015 | 0.040 | 0.000 |
| 0.04 | 0.015 | 0.040 | 0.000 |
| 0.04 | 0.001 | 0.040 | 0.000 |



| | | | |
|---|------|-----|-----|
| 1 | 2.6 | 1.7 | 5.0 |
| 2 | 14.0 | 5.3 | 5.0 |
| 3 | | | |
| 4 | 16.6 | 6.9 | |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 0.04 | 0.075 | 0.048 | 0.011 |
| 0.04 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 0.04 | 0.075 | 0.010 | 0.010 |
| 0.04 | 0.075 | 0.010 | 0.010 |

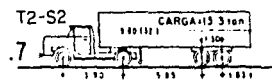
| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 0.04 | 0.004 | 0.041 | 0.000 |
| 0.04 | 0.040 | 0.010 | 0.000 |
| 0.04 | 0.040 | 0.010 | 0.000 |
| 0.04 | 0.004 | 0.011 | 0.000 |



| | | | |
|---|------|-----|-----|
| 1 | 3.0 | 2.3 | 5.8 |
| 2 | 8.0 | 3.0 | 5.8 |
| 3 | 7.8 | 3.0 | 5.8 |
| 4 | 10.8 | 9.1 | |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.040 | 0.015 | 0.027 |
| 0.0 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |

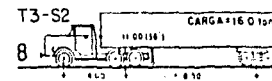
| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.010 | 0.040 | 0.010 |
| 0.0 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |



| | | | |
|---|------|------|-----|
| 1 | 4.0 | 3.2 | 5.8 |
| 2 | 8.3 | 4.0 | 5.8 |
| 3 | 12.1 | 3.6 | 5.8 |
| 4 | 24.6 | 11.1 | |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.110 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.040 | 0.010 | 0.010 |
| 0.0 | 0.110 | 0.010 | 0.010 |
| 0.0 | 0.110 | 0.010 | 0.010 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.000 | 0.040 | 0.010 |
| 0.0 | 0.110 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.110 | 0.010 | 0.010 |
| 0.0 | 0.110 | 0.010 | 0.010 |

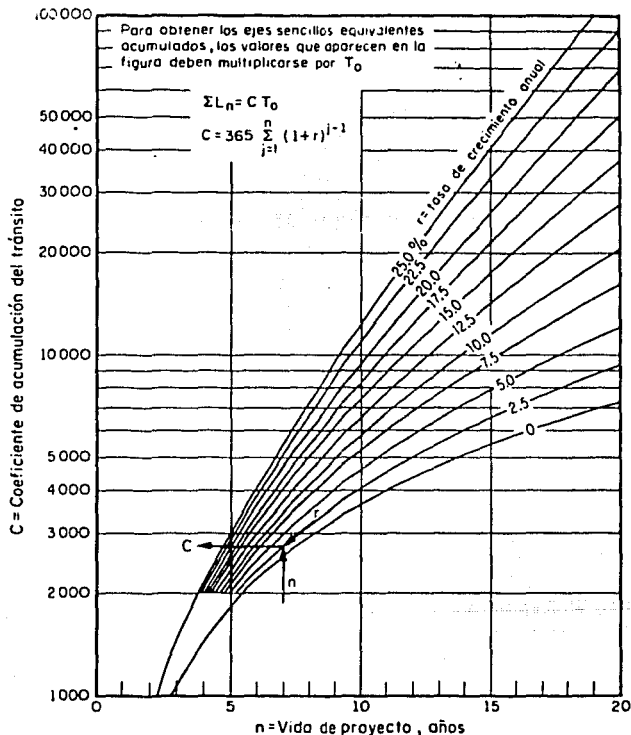


| | | | |
|---|------|------|-----|
| 1 | 5.9 | 3.0 | 5.8 |
| 2 | 13.0 | 5.6 | 5.8 |
| 3 | 13.0 | 5.0 | 5.8 |
| 4 | 24.6 | 11.8 | |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.100 | 0.010 | 0.025 |
| 0.0 | 0.100 | 0.040 | 0.020 |
| 0.0 | 0.100 | 0.040 | 0.040 |
| 0.0 | 0.100 | 0.040 | 0.040 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.000 | 0.010 | 0.010 |
| 0.0 | 0.100 | 0.011 | 0.017 |
| 0.0 | 0.100 | 0.010 | 0.010 |
| 0.0 | 0.100 | 0.011 | 0.022 |

Fig. 12 Coeficientes de Jaula por tramo para vehículos típicos



$\sum L_n$ tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

C coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r

T_0 tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

$$T_0 = \sum N_i F_i + \sum N_i' F_i'$$







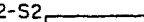

N_i, N_i' promedio diario por carril de vehículos tipo i (cargados o descargados, respectivamente), durante el primer año de servicio

F_i, F_i' coeficiente de daño relativo producido por cada viaje del vehículo i (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 ton

Fig. 13 Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

Carretero _____ Tramo _____ Fecha _____

Notas _____

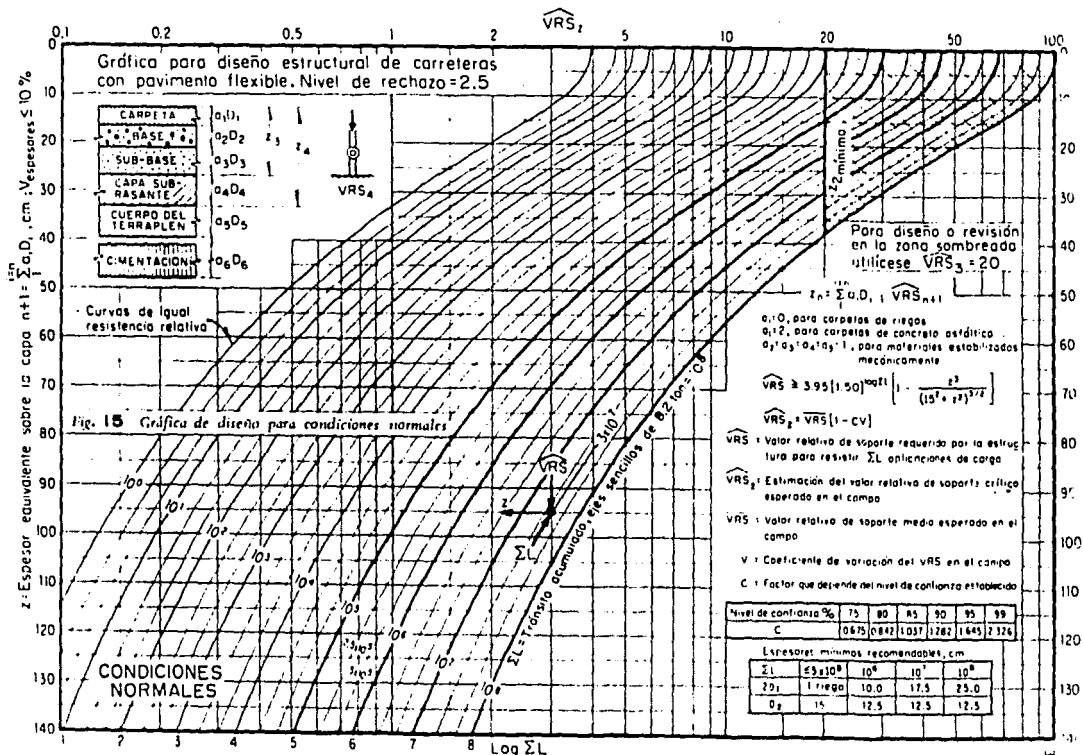
| TIPO DE VEHICULO | Número de vehículos en ambas direcciones | Coeficiente de distribución | Número de vehículos en el carril de proyecto | Coeficiente de vehículos cargados o vacíos | Número de vehículos cargados o vacíos por carril N _v , N _v ' | Coeficientes de daño por tránsito, F _v , F _v ' | | Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, N _F , N _F ' | | | | | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|--|----------------|---|---------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | z=0 cm | z=15 cm | z=0 cm | z=15 cm | | | | | | | | |
| A _p  | | | | C: V: | | 0.005 0.005 | 0 0 | | | | | | | | | | |
| A _c  | | | | C: V: | | 0.34 0.34 | 0.042 0.001 | | | | | | | | | | |
| B  | | | | C: V: | | 2.0 2.0 | 1.150 0.640 | | | | | | | | | | |
| C ₂  | | | | C: V: | | 0.88 0.88 | 0.465 0.027 | | | | | | | | | | |
| C ₃  | | | | C: V: | | 0.88 0.88 | 0.675 0.044 | | | | | | | | | | |
| T ₂ -S ₁  | | | | C: V: | | 3.0 3.0 | 1.740 0.140 | | | | | | | | | | |
| T ₂ -S ₂  | | | | C: V: | | 4.0 4.0 | 1.570 0.210 | | | | | | | | | | |
| T ₃ -S ₂  | | | | C: V: | | 5.0 5.0 | 1.300 0.150 | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES</td> <td>COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, D_o</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>N OTRAS</td> <td>30</td> </tr> </table> | | NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, D _o | 2 | 50 | 4 | 40 | N OTRAS | 30 | Total | | | | I _o , I _o ' : Tránsito equivalente inicial | | | |
| NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, D _o | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N OTRAS | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Años de servicio, n : _____ Tasa de crecimiento anual, r : _____ %

Coeficiente de acumulación del tránsito, C : _____

Tránsito acumulado, Σ_v n · C I_o : _____ Σ_v n' · C I_o' : _____

Fig. 14 Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton



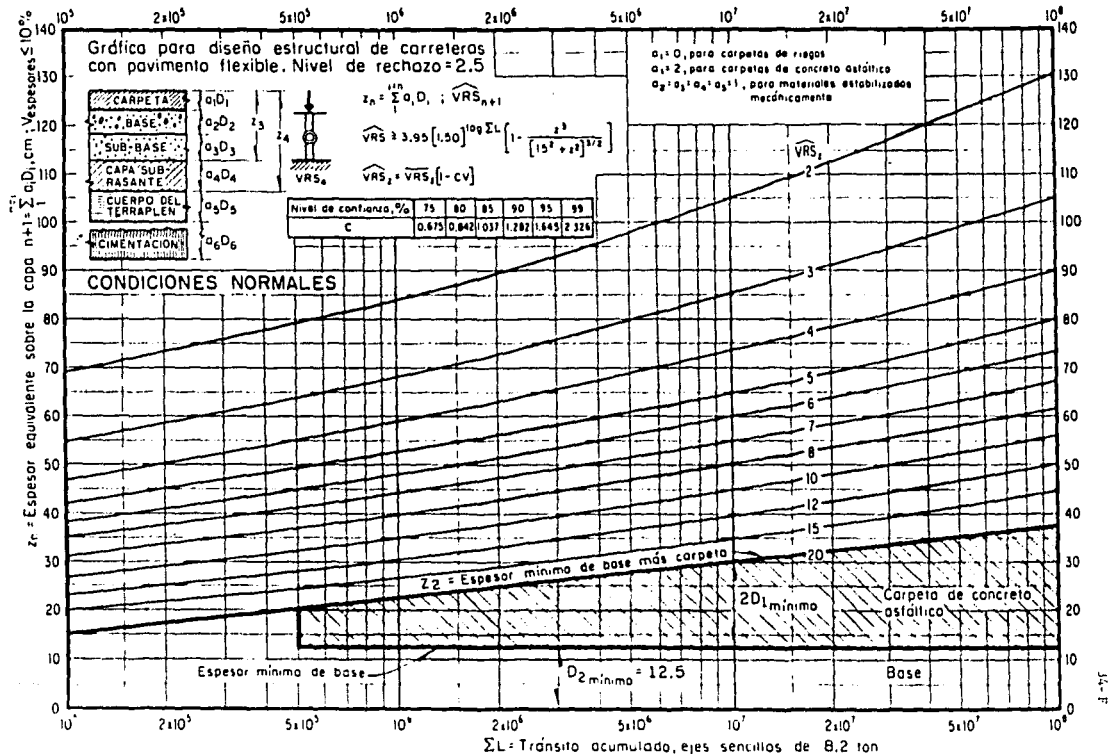
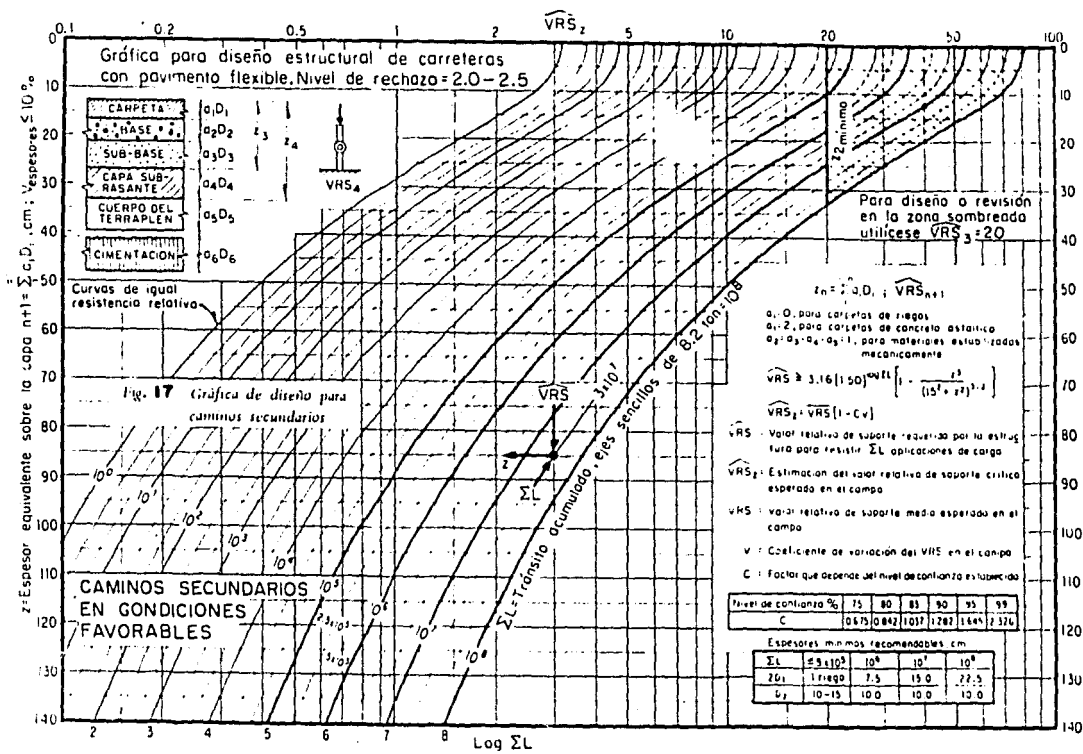


Fig. 16 Gráfica de diseño para condiciones normales



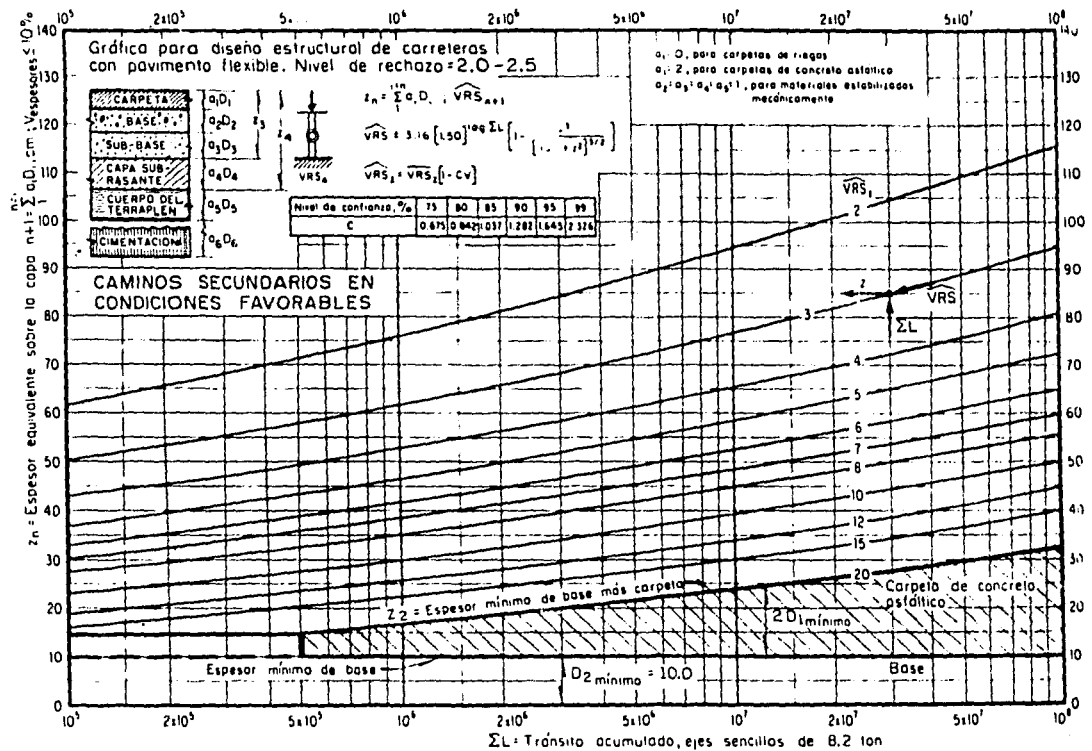


Fig. 10 Gráfica de diseño para caminos secundarios

517 vehículos tipo T2 - S 1 (22%)

Datos de los materiales

- Para el terreno natural el VRS = 5,5 %
- Para la subrasante el VRS = 34,0 %
- Para la sub-base el VRS = 110 %
- Para la base el VRS = 130 %

Solución:

Como primer paso debemos de obtener el coeficiente de acumulación del tránsito para 10 años de servicio y una tasa de crecimiento anual del 8 %.

$$C = 365 \sum_{J=1}^n (1+r)^{J-1}$$

Es decir:

$$C_0 = 365 (1+0.08)^0 = 365.00$$

$$C_1 = 365 (1+0.08)^1 = 394.20$$

$$C_2 = 365 (1+0.08)^2 = 425.74$$

Etc.

| C | r = 0,08 |
|-----------------|------------|
| C ₀ | 365,00 |
| C ₁ | 394,20 |
| C ₂ | 425,74 |
| C ₃ | 459,79 |
| C ₄ | 496,58 |
| C ₅ | 536,30 |
| C ₆ | 579,21 |
| C ₇ | 625,54 |
| C ₈ | 675,59 |
| C ₉ | 729,64 |
| C ₁₀ | 788,01 |
| $\sum C$ | = 6,075,20 |

También podemos obtener el coeficiente de acumulación del tránsito por medio de la figura 13; entrando en la figura con una vida de proyecto de 10 años y subiendo una vertical hasta interceptar la tasa de crecimiento anual de 8%, a partir de este punto trazar una paralela al eje horizontal hasta cortar el eje vertical donde se leerá el C = 5750; tomaremos el más crítico de C = 6075.20

A continuación para el diseño del pavimento se toma el VPDA el más crítico que es el entronque Tepeji - Tula - Jorobas. De acuerdo a la determinación

del número de ejes equivalentes se tiene que en la superficie de rodamiento se tendrán 8'717,244 y a 15 cms. por abajo 5'079,597.

Características de los materiales

| | | | | |
|---------------------|---|--------------------------|---|--------|
| Cuerpo de Terrapien | = | $\widehat{\text{VRS}}_Z$ | = | 5.5 % |
| Subrasante | = | $\widehat{\text{VRS}}_Z$ | = | 34.0 % |
| Sub - base | = | $\widehat{\text{VRS}}_Z$ | = | 110 % |
| Base | = | $\widehat{\text{VRS}}_Z$ | = | 130 % |

De la fig. 15 vemos que los espesores mínimos recomendables son:

$$\sum L_n = 8'717,244 \approx 10^6$$

$$20_1 = 10 \text{ cms} \quad D_1 = 5.0 \text{ cms.}$$

$$D_2 = 12.5 \text{ cms. Base}$$

Según la gráfica de la Fig. 15 para caminos principales aplicando la suma de ejes equivalentes de 8'717,244 y el VRS = 34% se tiene un índice de espesor de 20 cms.

El espesor necesario que requiere el terreno natural para soportar el V.P.D. A. con un VRS = 5.5 % y con la suma de ejes equivalentes de 8'717,244 se tiene un índice de espesor de 63 cms.

De donde el espesor de pavimento queda:

Carpeta asfáltica tipo de

| | |
|----------------------|----------------|
| Mezcla en el lugar | 10 cms. |
| Base hidráulica | 13 cms. |
| Sub- base hidráulica | 10 cms. |
| Subrasante | <u>30 cms.</u> |
| Cuerpo de terrapien | 63 cms. |

Carretero Libramiento Vial de Tula Tramo Icopeji-Tula-Jarobas Fecha _____
 Notas T.P.D.A. en 1978 = 3010 Composición A=65% B= 10% C = 25%















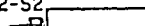

| TIPO DE VEHICULO | Número de vehículos en ambas direcciones | Coeficiente de distribución | Número de vehículos en el carril de proyecto | Coeficiente de vehículos cargados o vacíos | Número de vehículos cargados o vacíos por carril N, N' | Coeficientes de daño por tránsito, F., F' | | Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, N.F., N.F' | |
|---|--|-----------------------------|--|--|---|---|---|--|---------|
| | | | | | | z:0 cm | z:15 cm | z:0 cm | z:15 cm |
| Ap  | 1956 | 0.50 | 978 | C: 1.0 | 978 | 0.005 | 0 | 4.89 | 0.00 |
| V: 0.0 | | | | 0 | | 0.005 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| Ac  | | | | C: | | 0.34 | 0.042 | | |
| V: | | | | | | 0.34 | 0.001 | | |
| B  | 301 | 0.50 | 151 | C: 1.0 | 151 | 2.0 | 1.150 | 302.00 | 173.65 |
| V: 0.0 | | | | 0 | | 2.0 | 0.640 | 0.0 | 0.00 |
| C2  | | | | C: | | 0.88 | 0.465 | | |
| V: | | | | | | 0.88 | 0.027 | | |
| C3  | | | | C: | | 0.88 | 0.675 | | |
| V: | | | | | | 0.88 | 0.044 | | |
| T2-S1  | 753 | 0.50 | 376 | C: 1.0 | 376 | 3.0 | 1.740 | 1129.00 | 654.24 |
| V: 0.0 | | | | 0 | | 3.0 | 0.140 | 0.00 | 0.00 |
| T2-S2  | | | | C: | | 4.0 | 1.570 | | |
| V: | | | | | | 4.0 | 0.210 | | |
| T3-S2  | | | | C: | | 5.0 | 1.300 | | |
| V: | | | | | | 5.0 | 0.150 | | |
| NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES | | 3010 | Total | 1505 | T_0, T_0' : tránsito equivalente inicial | | 1434.89 | 827.89 | |
| COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, % | | | | | Años de servicio, n: <u>10</u> Tasa de crecimiento anual, r: <u>8</u> % | | | | |
| 2 | 50 | | | | Coeficiente de acumulación del tránsito, C: <u>5078.20</u> | | | | |
| 4 | 40-50 | | | | Tránsito acumulado, $\sum_{i=1}^n C_i T_0$: <u>11712.244</u> | | $\sum_{i=1}^n C_i T_0'$: <u>5160.497</u> | | |
| n o más | 50-40 | | | | | | | | |

Fig. 14. Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Carretera Libramiento Vial de Tula Tramo Tula-Jarabás-Tlanauapán fecha _____
 Notas T.P.D.A. en 1978 = 2350 Composición A = 71% B = 7% C = 22%

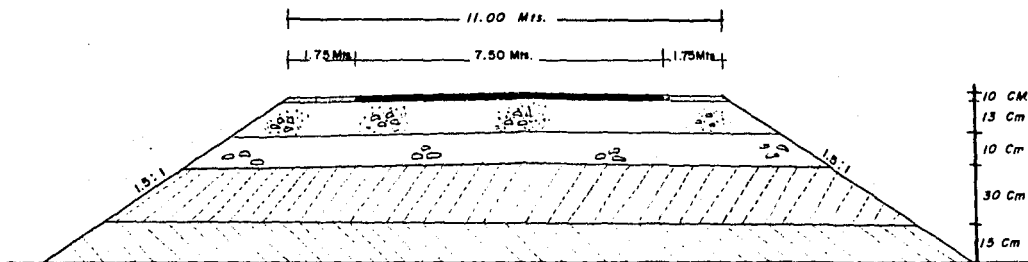
| TIPO DE VEHICULO | Número de vehículos en ambas direcciones | Coeficiente de distribución | Número de vehículos en el carril de proyecto | Coeficiente de vehículos cargados o vacíos | Número de vehículos cargados o vacíos por carril N, N' | Coeficientes de daño por tránsito, F, F' | | Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, N.F., N.F.' | | | | | | | | |
|--|---|---|---|--|--|--|---------|---|---------|------|-------|------|--|--|--------|--------|
| | | | | | | z:0 cm | z:15 cm | z:0 cm | z:15 cm | | | | | | | |
| A _p  | 1668 | 0.5 | 834 | C: 1.0 | 834 | 0.005 | 0 | 4.17 | 0.00 | | | | | | | |
| | | | | V: 0.00 | 0.0 | 0.005 | 0 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | |
| A _c  | | | | C: | | 0.34 | 0.042 | | | | | | | | | |
| | | | | V: | | 0.34 | 0.001 | | | | | | | | | |
| B  | 165 | 0.5 | 82 | C: 1.0 | 82 | 2.0 | 1.150 | 164.00 | 94.30 | | | | | | | |
| | | | | V: 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.640 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | |
| C ₂  | | | | C: | | 0.88 | 0.465 | | | | | | | | | |
| | | | | V: | | 0.88 | 0.027 | | | | | | | | | |
| C ₃  | | | | C: | | 0.88 | 0.675 | | | | | | | | | |
| | | | | V: | | 0.88 | 0.044 | | | | | | | | | |
| T ₂ -S ₁  | 517 | 0.5 | 259 | C: 1.0 | 259 | 3.0 | 1.740 | 777.00 | 450.66 | | | | | | | |
| | | | | V: 0.0 | 0.0 | 3.0 | 0.140 | 0.0 | 0.00 | | | | | | | |
| T ₂ -S ₂  | | | | C: | | 4.0 | 1.570 | | | | | | | | | |
| | | | | V: | | 4.0 | 0.210 | | | | | | | | | |
| T ₃ -S ₂  | | | | C: | | 5.0 | 1.300 | | | | | | | | | |
| | | | | V: | | 5.0 | 0.150 | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES</td> <td>COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>40 - 50</td> </tr> <tr> <td>6 o más</td> <td>30 - 40</td> </tr> </table> | | NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, % | 2 | 50 | 4 | 40 - 50 | 6 o más | 30 - 40 | 2350 | Total | 1175 | I_0, I_0' : Tránsito equivalente inicial | | 945.17 | 544.96 |
| NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES | COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, % | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 40 - 50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 o más | 30 - 40 | | | | | | | | | | | | | | | |

Años de servicio, n: 10 Tasa de crecimiento anual, r: 8 %
 Coeficiente de acumulación del tránsito, C: 6075.20
 Tránsito acumulado, $\sum_{i=1}^n C I_0$: 5742,096.70 $\sum_{i=1}^n C I_0'$: 3130,741

Fig. 14 Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

SECCION ESTRUCTURAL TIPO

31-C



- CARPETA ASFALTICA TIPO MEZCLA EN EL LUGAR**
- BASE HIDRAULICA**
- SUB-BASE HIDRAULICA**
- CAPA SUB-RASANTE**
- CAPA DE TRANSICION**

CARRETERA LIBRAMIENTO VIAL DE TULA **TRAMO** UNICO

SUB-TRAMO UNICO **ORIGEN** TULA, HIDALGO

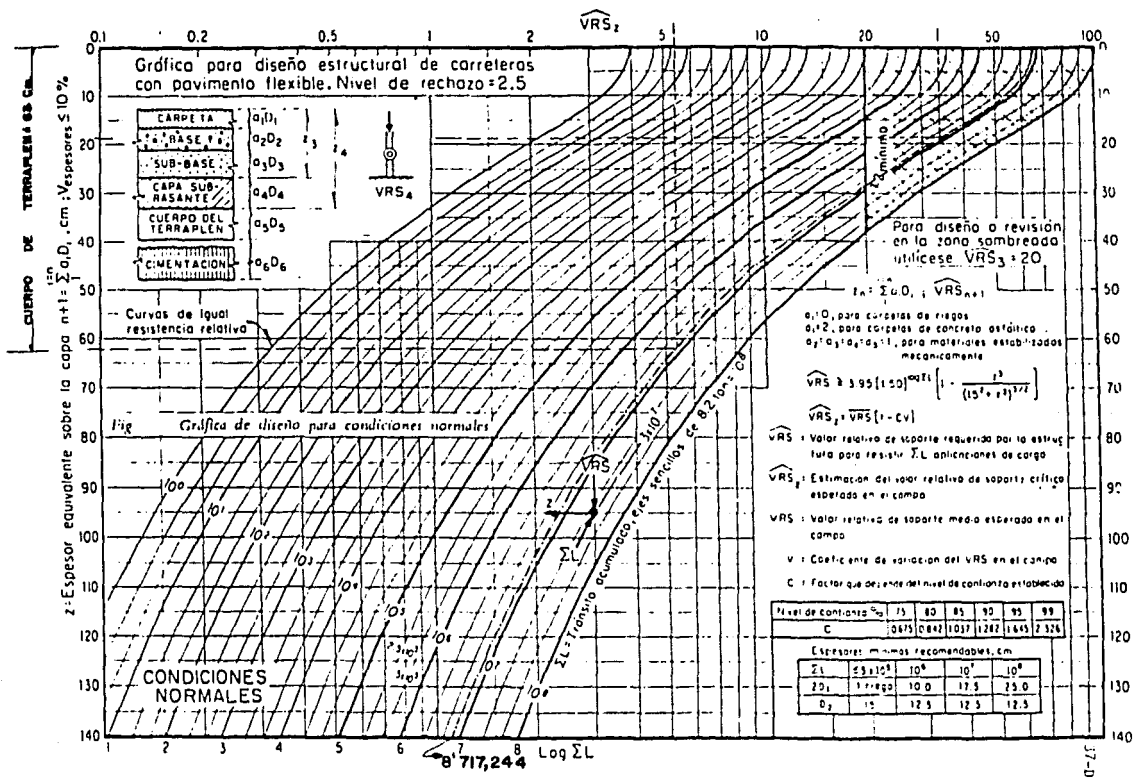
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO MEDA CANGINO

MARZO 1979



E) METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO DE E.U.A.

La metodología de diseño propuesta por el Instituto del Asfalto consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento de acuerdo con una particular manera de estimar el volumen de tránsito a preveer, con algún parámetro que representa la resistencia y deformabilidad del material de apoyo o de terracería.

El Instituto del Asfalto, considera la estructura de los pavimentos asfálticos compuesta de una carpeta de concreto asfáltico y una o más capas de base asfáltica, soportadas por el suelo natural del lugar es decir la subrasante; en algunos casos se incluyen en la estructura del pavimento, capas denominadas "Sub-base", "Mejoramiento de subrasante".

Las estructuras son diseñadas y construidas para soportar volúmenes de tránsito pesado, ya que al incrementar el espesor, las cargas por rueda se pro pagan en áreas más grandes, produciendo reducción de la intensidad de las cargas al llegar a la subrasante que las soporta, sin producir daño.

En la Fig. No. 19(a) la carga por rueda W , se trasmite a la superficie del pavimento con una presión P_0 , aproximadamente uniforme.

En la Fig No. 19 (b) se ilustra la manera general en que la presión vertical decrece con el espesor P_0 a P_1 .

Anteriormente se dijo que la estructura depende de un espesor apropiado y de un buen control de calidad de los materiales empleados en el pavimento.

En la Fig. 20 se muestra la carga de la rueda W , deforma la estructura del pavimento y causa en él esfuerzos de compresión y tensión.

El Instituto del Asfalto llama "Pavimentos Asfálticos en todo su espesor" a

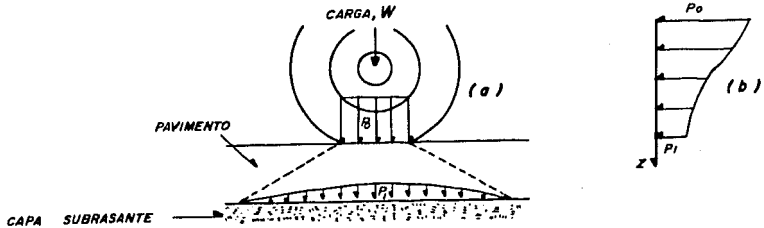


FIG. Núm. 19

PROPAGACION DE LA CARGA A TRAVES DEL PAVIMENTO

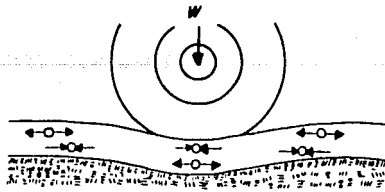


FIG. Núm. 20

DEFLEXION DEL PAVIMENTO PROVOCADA POR ESFUERZOS DE TENSION Y COMPRESION

| |
|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO |
| FACULTAD DE INGENIERIA |
| TESIS PROFESIONAL |
| SANTIAGO MEDA CANGINO ABRIL 1979 |

aquéllos en que para todas las capas arriba de la subrasante o mejoramiento de la subrasante se emplea mezcla asfáltica.

Los principales factores que deben tomarse en cuenta para el diseño estructural de los pavimentos asfálticos, son:

- a) Condiciones del tránsito dentro del período de diseño
- b) Disponibilidad de materiales de construcción para la capa subrasante y el pavimento.
- c) Factores regionales de adversidad debido a condiciones climáticas que pueden afectar al pavimento durante su operación o servicio
- d) Evaluación de resistencia de los materiales que forma la capa subrasante.
- e) Cálculo de espesores e integración de la estructura del pavimento.

El tránsito en las calles y carreteras varía de acuerdo con el número de vehículos y a la magnitud de las cargas.

La repetición de las cargas del tránsito es un factor importante en el diseño estructural de un pavimento, debido a la variación infinita de las condiciones de tránsito, la repetición de las cargas pueden ser expresadas mediante un común denominador que se requiere para la aplicación de los nomogramas del Instituto del Asfalto.

El Instituto del Asfalto llama a ese común denominador Número de Tránsito para Diseño (DTN).

Para la predicción de volúmenes de tránsito inicial y futuro así como las cargas para precisar el diseño se establece con base en estudios previos de tránsito, económicos, sociales, etc.

El Instituto del Asfalto emplea términos especiales en la determinación del Número de Tránsito de Diseño (DTN) a saber:

1. CARRIL DE DISEÑO: El carril en el que se presenta el máximo número de ejes equivalentes de 8.2 ton. (18000 lbs.)
2. PERIODO DE DISEÑO: Se refiere a un período de diseño de 20 años, sin embargo puede llegar a otros períodos de diseño cuando se ha llegado al final de la vida útil cuando el índice de servicio del pavimento llega a ser 2.5
3. NUMERO DE TRANSITO PARA DISEÑO (DTN): Es el número promedio diario de ejes equivalentes de 18000 lbs. estimado para el carril de diseño, durante el período de diseño.
4. EJES EQUIVALENTES DE 18000 LBS: Solicitaciones en el comportamiento del pavimento bajo cualquier combinación de cargas por ejes de diferentes magnitudes, igualados al número de ejes de 18000 lbs.
5. TRANSITO DIARIO INICIAL (IDT): Es el número diario medio de vehículos que se han de esperar en el camino durante el primer año de su operación, con base en datos de aforos y clasificación del tránsito, determinación del porcentaje de vehículos pesados.
6. NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN): Es el número promedio diario de ejes equivalentes de 18000 lbs. esperado en el carril de diseño durante el primer año.

El Instituto de Asfalto clasifica el tránsito en:

LIGERO: Condiciones de tránsito en la que resulta un número de tránsito para diseño (DTN) menor de 10

MEDIO: Número de tránsito para diseño (DTN) entre 10 y 100

PESADO: Número de tránsito para diseño (DTN) superior a 100

El criterio que sigue el Instituto del Asfalto para el cálculo del Número de Tránsito para Diseño (DTN) y el Número de Tránsito Inicial (ITN) es el siguiente.

- A. Estimar el número promedio diario de vehículos esperado durante el primer año en que se abre al tránsito la carretera después de terminada; este valor es el Tránsito Diario Inicial (IDT).
- B. Estimar el porcentaje de camiones pesados, A, en los datos de aforo y clasificación del tránsito.
- C. Determinar el porcentaje de camiones pesados, B, en el carril de diseño (una sola dirección), estos porcentajes se proponen en la siguiente tabla No. 2

PORCENTAJE DEL TOTAL DEL TRANSITO DE VEHICULOS PESADOS EN DOS DIRECCIONES QUE DEBERA DE CONSIDERARSE EN EL CARRIL DE DISEÑO:

TABLA No. 2

| Número Total de Carriles en la Carretera | Porcentaje de Camiones a considerar en el carril de Diseño |
|--|--|
| 2 | 50 |
| 4 | 45 (Rango de 35 - 48) |
| 6 o mas | 40 (Rango de 25 - 48) |

- D. Estimar el número de camiones pesados en el carril de diseño (una sola dirección) se calcula mediante la fórmula siguiente:

Número de Camiones Pesados

En el carril de diseño

$$N = (IDT) \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$$

En donde:

A = Porcentaje de camiones pesados en dos direcciones.

B = Porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño.

E. Estimar el promedio del peso bruto de los camiones pesados.

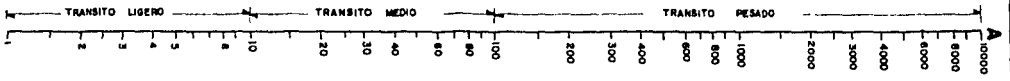
F. Determinación de la carga máxima legal por eje.

G. Con los datos de los incisos anteriores, se obtiene el Número de Tránsito Inicial (ITN), haciendo uso del nomograma de la Fig. 21, de la siguiente manera:

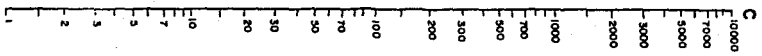
- 1). Entrar en el nomograma con el dato de la escala "D"
 - 2). Localizar el dato de camiones pesados en el carril de diseño sobre la escala "C"
 - 3). Unir estos dos puntos por una recta, deberá prolongarse hasta cortar al eje "B" que es la línea pivote
 - 4). Fijar en el eje "E" el límite de carga legal para eje sencillo preva-
leciente
 - 5). Unir con una recta el punto de la línea pivote con el de la escala "E"
y esa línea deberá prolongarse hasta el eje "A" sobre el que podrá
leerse el Número de Tránsito Inicial (ITN)
- H. Cuando el resultado del Número de Tránsito Inicial (ITN) es igual o menor de 10 y cuando el número de automóviles y camiones ligeros esperados para el uso de la carretera, es grande, el (ITN) requiere una corrección

MONOGRAMA DE ANALISIS DE TRANSITO

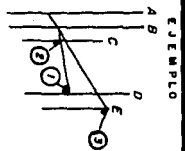
NUMERO INICIAL DE TRANSITO (ITN)



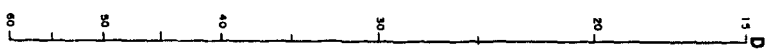
LINEA PIVOTE



NUMERO DE CAMIONES PESADOS
(PROMEDIO DIARIO EN EL CARRIL DE DISEÑO)



PROMEDIO APROXIMADO DEL PESO DE LOS CAMIONES PESADOS, MILES DE .LBS.



CARGA LIMITE EN EJES SENCILLO, MILES DE .LBS.

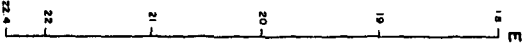


FIG. No. 21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 SANTIAGO MEZA CAMACHO
 ABRIL 1979

ción; dicha corrección se hace usando la fig. 22 de la siguiente manera:

- 1). Entrar a la gráfica en la escala horizontal, en un punto que represente el volumen Diario de Automóviles y camiones ligeros en el carril de diseño.
- 2). Por el punto anterior se levanta una vertical hasta cortar la curva que representa el valor del (ITN), no corregido.
- 3). Del punto anterior, trazar una paralela al eje horizontal hasta cortar el eje vertical donde se leerá el (ITN) corregido.

I. Establecer el período de diseño, el Instituto del Asfalto fija un período de diseño de 20 años.

J. Estimación del Incremento Anual del Tránsito; en México se considera un incremento anual entre el 5 y el 10 por ciento, mientras que en los Estados Unidos este incremento es del orden de 3 a 5 %.

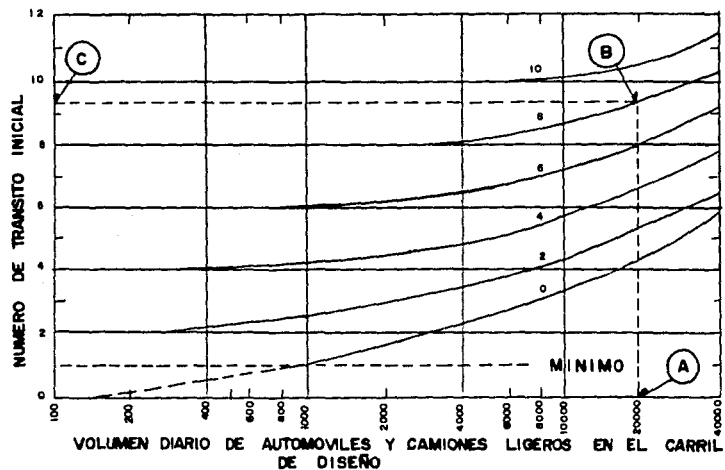
K. Con el período de diseño y el incremento anual de tránsito se entra a la tabla No. 3, en la cual obtenemos un factor de corrección para el (ITN).

L. Multiplicando el número de Tránsito Inicial (ITN) por el factor de corrección, obteniendo el número de tránsito para diseño (DTN) es decir:

$$DTN = (ITN) \times \text{FACTOR DE CORRECCION}$$

La evaluación de los parámetros de resistencia del material que forma la subrasante, el Instituto del Asfalto utiliza cualquiera de los siguientes métodos a saber:

- a) Prueba de placa
- b) Valor soporte de California (CBR) ó valor relativo de soporte



GRAFICA PARA CORREGIR EL NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN) POR VOLUMEN DE AUTOMOVILES O VEHICULOS LIGEROS

FIG. No. 22

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO MEDA CANGINO

ABRIL 1979

(VRS)

c) Valor de Resistencia

El valor de resistencia de la capa subrasante para el diseño se define como el valor de resistencia igual o menor que el 90% de todos los datos obtenidos en las pruebas efectuadas en el material o en el tramo y se obtiene de la siguiente forma:

- I). Ordenar numéricamente todos los valores obtenidos en las pruebas.
- I.1) Tabular los valores de las pruebas, comenzar con el más pequeño y calcular para cada cambio en el valor, el porcentaje del total de pruebas que son iguales o mayores que ese valor.
- I.2) Dibujar en ejes coordenados la gráfica por ciento igual o mayor Vs. valores de resistencia; ubicar en la gráfica los puntos dados por la tabla y trazar la curva promedio.
- I.3) Partiendo del 90%, trazar una horizontal hasta interceptar la curva y bajar una vertical hasta cortar el eje horizontal, el cual nos dará el valor de Resistencia de Proyecto.

El Instituto del Asfalto para el cálculo de los espesores de pavimentos utiliza los nomogramas de las Figs. Nos. 23 y 24. Los espesores así obtenidos son exclusivamente de concreto asfáltico.

El Instituto del Asfalto recomienda los espesores mínimos de concreto asfáltico que deben colocarse en la carpeta del pavimento cuando se utilizan bases asfálticas, de acuerdo al número de tránsito para diseño (DTII). Estos valores aparecen en la tabla No. 4.

(VRS)

c) Valor de Resistencia

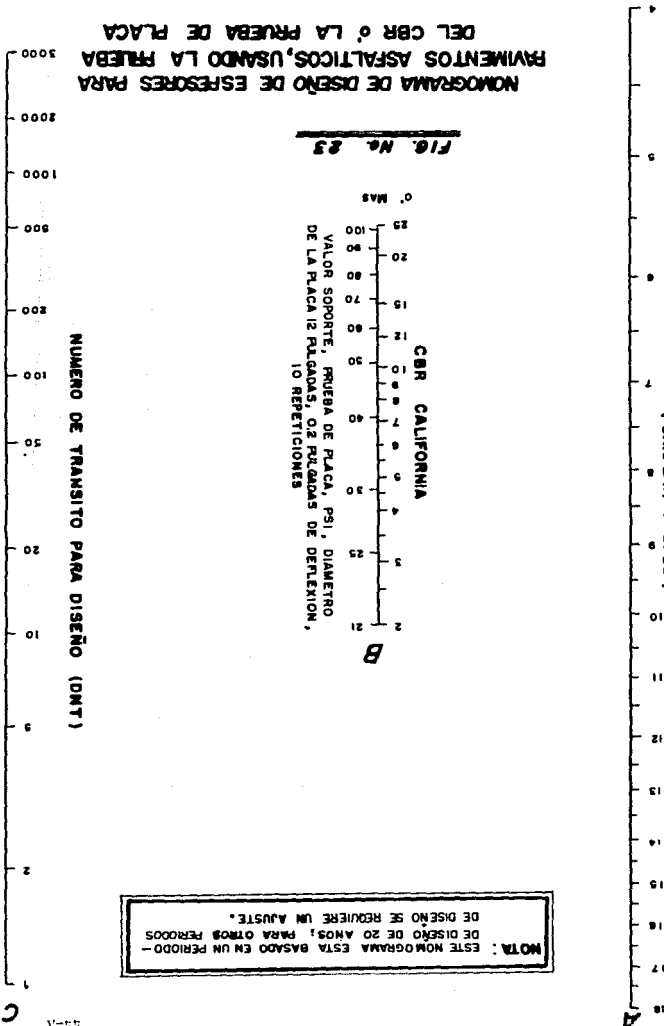
El valor de resistencia de la capa subrasante para el diseño se define como el valor de resistencia igual o menor que el 90% de todos los datos obtenidos en las pruebas efectuadas en el material o en el tramo y se obtiene de la siguiente forma:

- I). Ordenar numéricamente todos los valores obtenidos en las pruebas.
 - I.1) Tabular los valores de las pruebas, comenzar con el más pequeño y calcular para cada cambio en el valor, el porcentaje del total de pruebas que son iguales o mayores que ese valor.
 - I.2) Dibujar en ejes coordenados la gráfica por ciento igual o mayor Vs. valores de resistencia; ubicar en la gráfica los puntos dados por la tabla y trazar la curva promedio.
 - I.3) Partiendo del 90%, trazar una horizontal hasta interceptar la curva y bajar una vertical hasta cortar el eje horizontal, el cual nos dará el valor de Resistencia de Proyecto.

El Instituto del Asfalto para el cálculo de los espesores de pavimentos utiliza los nomogramas de las Figs. Nos. 23 y 24. Los espesores así obtenidos son exclusivamente de concreto asfáltico.

El Instituto del Asfalto recomienda los espesores mínimos de concreto asfáltico que deben colocarse en la carpeta del pavimento cuando se utilizan bases asfálticas, de acuerdo al número de tránsito para diseño (DTI). Estos valores aparecen en la tabla No. 4.

ESPESOR TOTAL EN PULGADAS DE CONCRETO ASFALTICO ARRIBA DE LA SUBRASANTE, TA
(CARPETA Y BASE)



NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO LA PRUEBA DEL CBR o LA PRUEBA DE PLACA

FIG. No. 23
CBR CALIFORNIA
VALOR SOPORTE, PRUEBA DE PLACA, PSI, DIAMETRO DE LA PLACA 12 PULGADAS, 0.2 PULGADAS DE DEFLEXION, 10 REPETICIONES

NOTA: ESTE NOMOGRAMA ESTA BASADO EN UN PERIODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS; PARA OTROS PERIODOS DE DISEÑO SE REQUIERE UN AJUSTE.

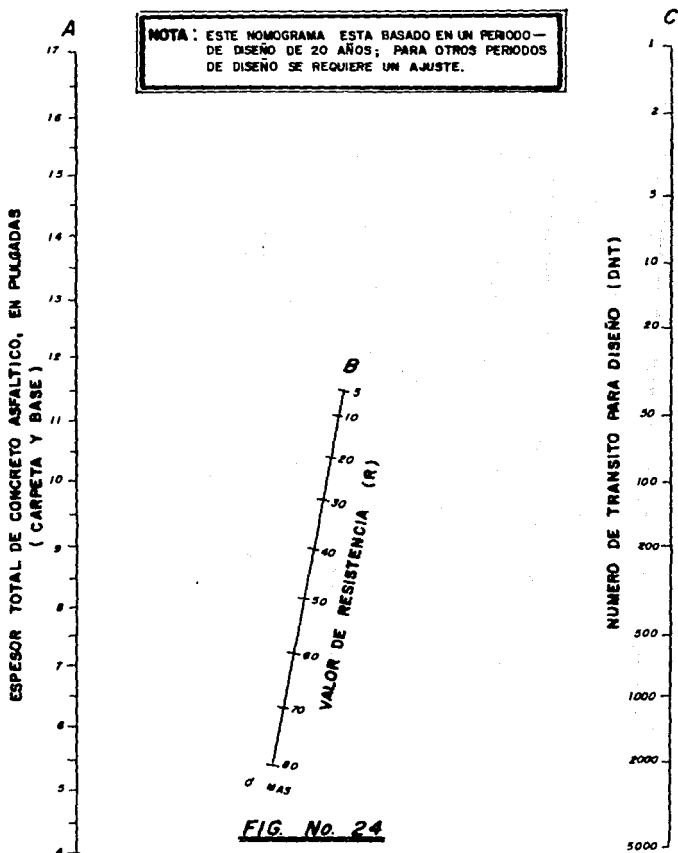


FIG. No. 24

**NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES
PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, —
USANDO EL VALOR DE RESISTENCIA
(R)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

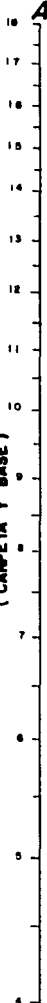
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

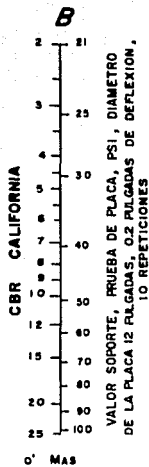
SANTIAGO MEDA CANCINO

ABRIL 1979

A
 ESPOSOR TOTAL EN PULGADAS DE CONCRETO ASFALTICO ARRIBA DE LA SUBRASANTE, TA
 (CARPETA Y BASE)



NOTA: ESTE NOMOGRAMA ESTA BASADO EN UN PERIODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS; PARA OTROS PERIODOS DE DISEÑO SE REQUIERE UN AJUSTE.



C
 NUMERO DE TRANSITO PARA DISEÑO (DNT)

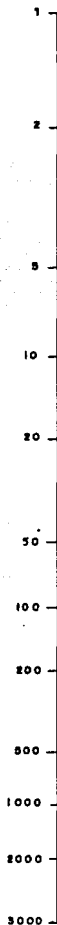


FIG. No. 23

NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO LA PRUEBA DEL CBR ó LA PRUEBA DE PLACA

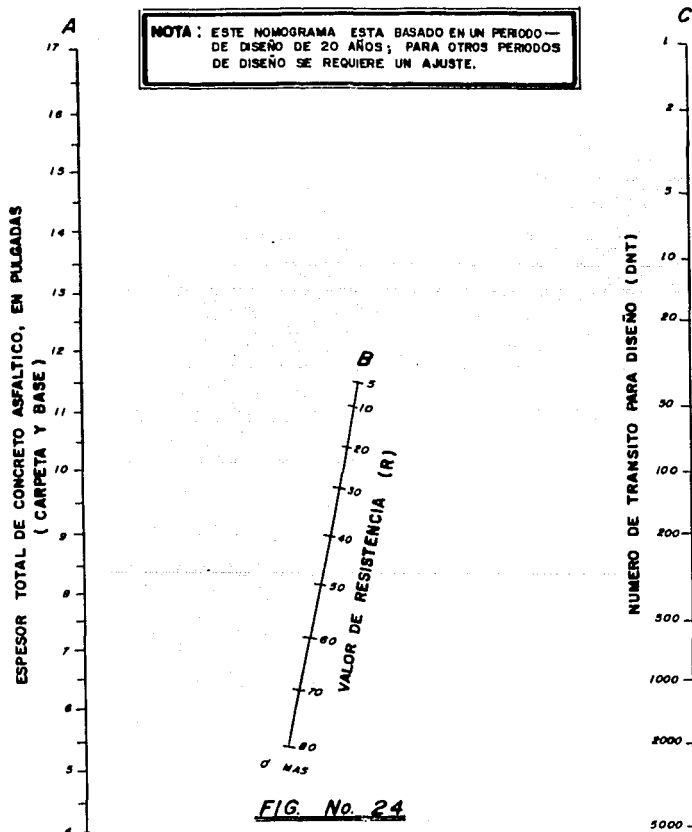


FIG. No. 24

NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES
PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, —
USANDO EL VALOR DE RESISTENCIA
(R)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO NEDA CANCINO

ABRIL 1979

TABLA No. 3 FACTORES DE CORRECCION PARA EL NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN)

| Período de Diseño en Años (n) | Tasa de Crecimiento anual, Por ciento (r) | | | | | |
|---------------------------------------|---|------|------|------|------|-------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 1 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 2 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 4 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.23 |
| 6 | 0.30 | 0.32 | 0.33 | 0.35 | 0.37 | 0.39 |
| 8 | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.50 | 0.53 | 0.57 |
| 10 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.66 | 0.72 | 0.80 |
| 12 | 0.60 | 0.67 | 0.75 | 0.84 | 0.95 | 1.07 |
| 14 | 0.70 | 0.80 | 0.92 | 1.05 | 1.21 | 1.40 |
| 16 | 0.80 | 0.93 | 1.09 | 1.28 | 1.52 | 1.80 |
| 18 | 0.90 | 1.07 | 1.28 | 1.55 | 1.87 | 2.28 |
| 20 | 1.00 | 1.21 | 1.49 | 1.84 | 2.29 | 2.86 |
| 25 | 1.25 | 1.60 | 2.08 | 2.74 | 3.66 | 4.92 |
| 30 | 1.50 | 2.03 | 2.30 | 3.95 | 5.66 | 8.22 |
| 35 | 1.75 | 2.50 | 3.68 | 5.57 | 8.62 | 13.55 |

$$\text{Factor} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

TABLA No. 4 ESPESORES MINIMOS PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES ASFALTICAS.

| Número de Tránsito de Diseño (NTD) | Espesor Mínimo (TA) (Pulg.) |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Tránsito Ligero menor de 10 | 4 |
| Tránsito Medio de 10 a 100 | 5 |
| Tránsito Pesado de 100 a 1000 | 6 |
| Tránsito Pesado mayor de 1000 | 7 |

Estos espesores mínimos de pavimento de concreto asfáltico se pueden convertir a espesor de un pavimento asfáltico que están formados por carpeta asfáltica, base hidráulica y sub-base. La secuencia es la siguiente:

- 1). Al espesor total de concreto asfáltico T_A , se le resta el espesor de la carpeta, T_c , que varia de acuerdo con la clasificación del tránsito para el cual se proyecte; estos espesores son:

| CLASIFICACION DE TRANSITO | ESPESOR (T_c) |
|---------------------------|-------------------|
| Tránsito ligero | 2" (5.08 cm) |
| Tránsito Medio | 3" (7.62 cm.) |
| Tránsito Pesado | 4" (10.16 cm.) |

Así obtenemos:

$$T_A - T_c = T_{BA}$$

Donde:

$$T_{BA} = \text{Espesor de base de Concreto Asfáltico}$$

- 2). Para convertir este espesor de base de concreto asfáltico a espesor de base hidráulica y sub-base, se recomienda los siguientes coeficientes de equivalencia en la siguiente tabla No. 5.

| TABLA No. 5 FACTORES DE EQUIVALENCIA ENTRE CAPAS CONVENCIONALES Y CAPAS DE CONCRETO ASFALTICO, EN CUANTO A ESPESOR. | |
|---|----------------------------|
| CAPAS CONVENCIONALES | FACTOR DE EQUIVALENCIA(Sr) |
| Bases Asfálticas de arena, mezclas en planta | 1.3 |
| Bases Asfálticas elaboradas con asfaltos líquidos o Emulsiones | 1.4 |
| Bases granulares de buena calidad (base hidráulica) | 2.0 |
| Base granular de baja calidad (sub-base) | 2.7 |

De esta manera obtenemos que:

$$T_{BH} = T_{BA} \times Sr$$

Donde:

T_{BH} = Espesor de base hidráulica.

T_{BA} = Espesor de base de concreto asfáltico.

Sr = Factor de equivalencia.

Diseño del pavimento flexible del libramiento vial de Tula empleando el método del Instituto del Asfalto de E.U.A.

Nivel de Rechazo = 2.5

n = 10 años período de diseño

t = 8% tasa de crecimiento anual del tránsito.

Dos carriles

Nivel de confianza = 0.80

Datos de tránsito diario en los dos sentidos en el entronque Tula-Tepeji a
Tula - Jarobas

| | | |
|------|---------------------------------------|--------|
| 1956 | automóviles diarios en ambos sentidos | (65%) |
| 301 | autobuses diarios en ambos sentidos | (10%) |
| 753 | vehículos T2 - S1 | (25%) |

Datos de tránsito diario en los dos sentidos en el entronque Tula a Tlahualipan

| | | |
|------|---------------------------------------|--------|
| 1668 | automóviles diarios en ambos sentidos | (71%) |
| 165 | autobuses diarios en ambos sentidos | (7%) |
| 517 | vehículos tipo T2 - S1 | (22%) |

Datos de los materiales

| | |
|-------------------------|-------------|
| Para el terreno natural | VRS = 5.5% |
| Para el subrasante | VRS = 34 % |
| Para la sub-base | VRS = 110 % |
| Para la base | VRS = 130 % |

Solución:

Como primer paso debemos de obtener el número de tránsito diario para el periodo de diseño de 10 años.

Número de camiones pesados
en el carril de diseño

$$= (IDT) \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$$

Donde:

- IDT = Tránsito diario inicial
- A = Por ciento de camiones pesados en ambas direcciones en nuestro caso tomamos el más crítico que es el del entronque Tula - Tepeji - Jorobas que es de 25% respecto al volumen total del tránsito.
- B = Por ciento de camiones pesados en el carril de diseño, de la Tabla No. 2, permite calcular "B" como nuestro caso es de dos carriles, por lo tanto obtenemos B = 50

$$\text{Número de camiones pesados en el carril de diseño} = (\text{IDT}) \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} = 3010 \times \frac{25}{100} \times \frac{50}{100} = 376$$

Utilizando el nomograma de análisis del tránsito Fig.21 como se ha dicho que se recomienda utilizar como referencia el eje sencillo de 8,2 Ton. (18000 lbs), en nuestro caso el peso promedio aproximado que se espera es de 40,000 tons. Siguiendo los pasos que se indican en el inciso "G" leemos el valor del (ITN) = 295.

Como el (ITN) es mayor de 10 no necesita corrección por automóviles y camiones ligeros.

El período de Diseño es de 10 años, con una tasa de crecimiento anual de 8% y con estos valores y usando la Tabla No. 3, obtenemos el factor de corrección al (ITN) = 0.72, es decir:

$$\text{factor} = \frac{(1 + r)^n - 1}{20 \cdot r}$$

$$\text{factor} = \frac{(1 + 0.08)^{10} - 1}{20 (0.08)} = \frac{2.158 - 1}{1.6} = \frac{1.158}{1.6} = 0.72$$

El número de Tránsito para diseño (DTN), para el período de diseño de 10 años será:

DTN = ITN X Factor de corrección

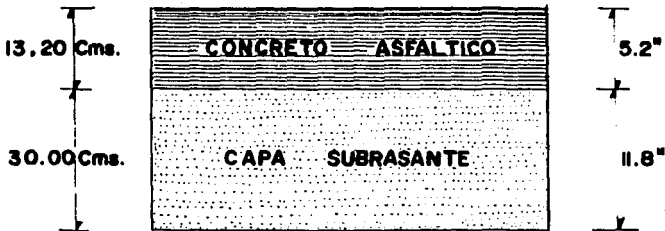
DTN₁₀ = 295 x 0.72 = 212

CBR de Proyecto = 34%

DTN = 212

El espesor de concreto asfáltico que leemos en el nomograma Fig. 23 con el valor de CBR = 34% en la escala "B" y el valor del DTN = 212 en la escala "C", uniendo el punto "B" y "C" por una recta y prolongándola hasta cortar la escala "A" se lee $T_A = 5.2"$

De donde la sección con espesor total de concreto asfáltico quedaría:



Para obtener el espesor mínimo de concreto asfáltico que el Instituto del Asfalto recomienda es la que se muestra en la Tabla No. 4, leemos el espesor total de concreto asfáltico $T_A = 6"$ para un DTN = 212.

Este espesor del concreto asfáltico T_A , lo podemos convertir a un espesor de un pavimento asfáltico, restandole el espesor de la carpeta T_c , que varía según la clasificación del tránsito para el cual se proyecte; en nuestro caso tenemos una composición del tránsito medio con un espesor $T_c = 3"$ (7.62 cm.), así obtenemos el T_{BA} = espesor de base de concreto asfáltico.

$$T_{BA} = T_A - T_c$$

$$T_{BA} = 6'' - 3'' = 3''$$

Tenemos ya entonces:

$$T_c = 3''$$

$$T_{BA} = 3''$$

Para encontrar el espesor de base hidráulica (T_{BH}) se obtiene multiplicando el espesor de la base asfáltica (T_{BA}) por un factor de equivalencia (S_r)

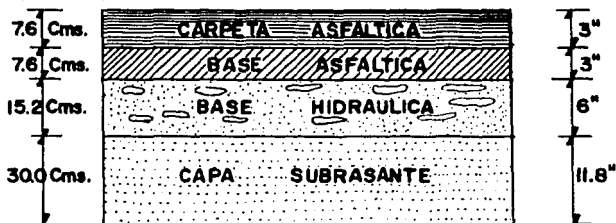
Tabla No. 5; es decir,

si $S_r = 2.0$ para base granular de buena calidad

$$T_{BH} = T_{BA} \times S_r$$

$$T_{BH} = 3'' \times 2.0 = 6.0''$$

La sección quedaría:

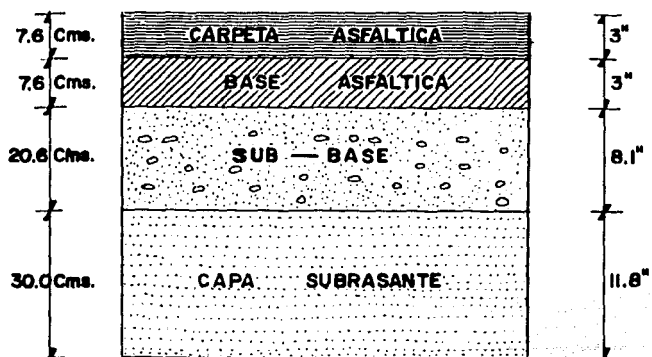


Si tenemos el caso en que $S_r = 2.7$ para base granular de mala calidad (sub-base); entonces se tiene:

$$T_{sB} = T_{BA} \times S_r$$

$$T_{sB} = 3'' \times 2.7 = 8.1''$$

la sección quedaria:



F) METODO DE DISEÑO DE LA AASHO.

AASHO (American Association of State Highway Officials).

En el diseño de pavimentos flexibles el método de la AASHO es una de las pruebas más extensas.

La Secretaría de Obras Públicas patrocina su estudio en el año de 1962 al Instituto de Ingeniería realizando una serie de investigaciones con el fin de establecer criterios aplicables al diseño de pavimentos flexibles en México, estando limitados por una serie de parámetros correspondientes a las condiciones de Ottawa Illinois, E.U.A. en donde se realizó la investigación.

Las contribuciones más importantes del método AASHO de la investigación es:

- a) Calificaciones e índice de Servicio actuales, con calificación en una escala de cero (intransitable) a cinco (excelente) los cuales nos determinan la vida del pavimento y nos determinan la falla funcional de pavimento. En México el nivel de rechazo es igual o menor de 2.0; y el nivel de aceptación es superior a 2.5.
- b) Coeficientes de equivalencia de carga en función del tránsito acumulado en el pavimento para los diferentes tipos de ejes.
- c) Comportamiento del pavimento que nos permiten determinar el número de ejes que produce la falla funcional del pavimento, el índice de comportamiento es el logaritmo del número acumulado de cargas equivalentes que hacen llegar al pavimento hasta la calificación de rechazo.
- d) Índice de espesor o espesor del pavimento, el cual permite es-

timar la resistencia de conjunto de las diferentes capas de carpeta, base y sub-base. El método de la AASHO propone la siguiente fórmula para el cálculo del espesor del pavimento.

$$S_N = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + a_4 D_4 + \dots + a_n D_n$$

Donde:

S_N = Espesor del pavimento

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = Coeficientes de equivalencia de calidad de las diferentes capas.

$D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ = Espesores de equivalencia

El método de la AASHO está limitado a las condiciones particulares de la prueba realizada y su aplicación es de carácter cualitativo.

En prueba de la AASHO se dedujo que 1" de concreto asfáltico equivale a 3" de base de piedra triturada en cuanto a la estructura del pavimento.

Las variables que intervienen en este método para el comportamiento del pavimento son:

- Variables estructurales
- Variables de Carga
- Variables de clima y condiciones regionales
- Variables de conservación.

Además de estas variables en programas de investigación deben hacerse intervenir todas las variables que se consideren.

En la prueba AASHO, los conceptos de tránsito equivalente, calificación, resistencia, espesor del pavimento fundan valiosos argumentos de diseño que

deben considerarse para las condiciones de México.

Diseño del pavimento flexible del libramiento vial de Tula empleando el método de la AASHO

nivel de rechazo = 2.5

n = 10 años periodo de diseño

t = 8 % tasa de crecimiento anual del tránsito

Dos carriles

Nivel de confianza = 0.80

Datos de Tránsito diario en los dos sentidos en el entroke Tula-Tepeji a Tula-Jorobas.

| | | |
|------|---------------------------------------|----------|
| 1956 | automóviles diarios en ambos sentidos | (65 %) |
| 301 | autobúses diarios en ambos sentidos | (10 %) |
| 753 | vehículos T2-S1 | (25 %) |

Datos de tránsito diario en los dos sentidos en el entronque Tula A Tlahueli pan

| | | |
|------|---------------------------------------|----------|
| 1668 | automóviles diarios en ambos sentidos | (71 %) |
| 165 | autobúses diarios en ambos sentidos | (7 %) |
| 517 | vehículos tipo T2 - S 1 | (22 %) |

Datos de los materiales

Para el terreno natural VRS = 5.5 %

Para la subrasante VRS = 34 %

Para la sub-base VRS = 110 %

Para la base VRS = 130 %

Solución:

Con los VRS para cada una de las capas; el número de vehículos diarios (DTN) obtenidos por el método del Instituto del Asfalto, el módulo de resistencia del concreto, factor regional y nivel de servicio, con todos estos antecedentes obtenemos el SN (espesor del pavimento), a saber:

| | | | | |
|-----------------|---|-------------------|---|-------|
| Terreno natural | = | \widehat{VRS}_z | = | 5.5 % |
| Subrasante | = | \widehat{VRS}_z | = | 34 % |
| Sub-base | = | \widehat{VRS}_z | = | 110 % |
| Base | = | \widehat{VRS}_z | = | 130 % |

Resistencia del concreto asfáltico = 4.3×10^5 lbs/pulg².

Factor regional = 1.0

Nivel de servicio = 2.5

DTN = 212 ejes equivalentes de 18000 lbs.

De donde:

$$S_n = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + a_4 D_4$$

Como primer paso debo de encontrar los valores de los coeficientes de equivalencia de calidad de las diferentes capas (a_1, a_2, a_3 y a_4)

$$\widehat{VRS}_z = 5.5$$

Entrando con este valor en la Fig. 25 con el valor del CBR = 5.5 y de este punto localizado, trazo una horizontal hasta cortar la línea del valor del soporte del suelo (S) siendo este valor de $S = 4.2$; una vez encontrado este valor y con la ayuda de la Fig. 26 con un nivel de servicio de 2.5 encuentro el número estructural corregido (SN) de la siguiente manera:

- 1) Entrar en la Fig. 26 con el valor soporte del suelo $S=4.2$.

- 2) Localizar el número de vehículos diarios DTN = 212
- 3) Unir estos dos puntos por una recta prolongándola hasta cortar la línea del número estructural (SN) siendo este valor SN=3.8
- 4) Con el valor del SN = 3.8, y el factor regional R = 1.0 uniendo estos dos puntos por una recta hasta cortar la línea del número estructural corregido (\overline{SN}) = 3.7

Para encontrar el coeficiente de equivalencia a_1 se deduce de la siguiente manera:

- 1) Con el valor de la resistencia del concreto $E = 4.3 \times 10^5$ entrando a la gráfica 27 (a) con este valor, una vez localizado trazar una horizontal hasta cortar el eje del coeficiente de equivalencia en donde se lee $a_1 = 0.43$

$\widehat{VRS}_{base} = 130$ entrando en la Fig. 27 (d) con el VRS = 130% con este valor localizado trazo una horizontal hasta cortar el coeficiente de equivalencia en donde se lee $a_2 = 0.142$

$\widehat{VRS}_{sub-base} = 110$ entrando en la Fig. 27 (b) con el VRS = 110% con este valor localizado trazo una horizontal hasta cortar el coeficiente de equivalencia en donde se lee $a_3 = 0.15$

$\widehat{VRS}_{subrasante} = 34\%$ entrando con este valor en la Fig. 27 (b) con el VRS= 34% con este valor localizado trazo una horizontal hasta cortar el coeficiente de equivalencia en donde se lee $a_4 = 0.11$

Resumiendo datos obtenidos:

$$S = 4.2$$

$$SN = 3.8$$

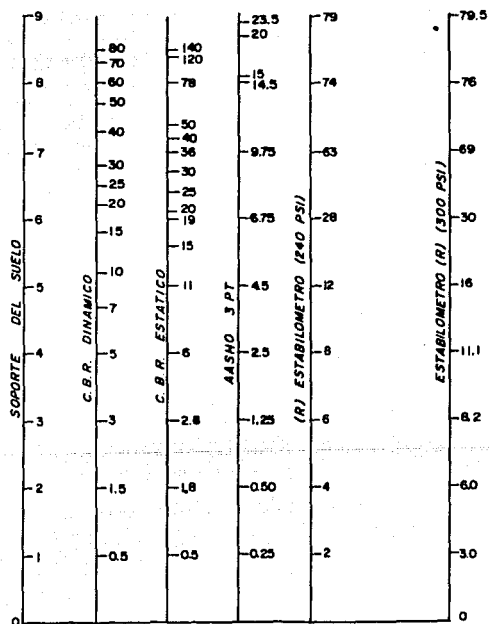


FIG. 25- CORRELACIONES DE VALORES DE SOPORTE DEL SUELO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

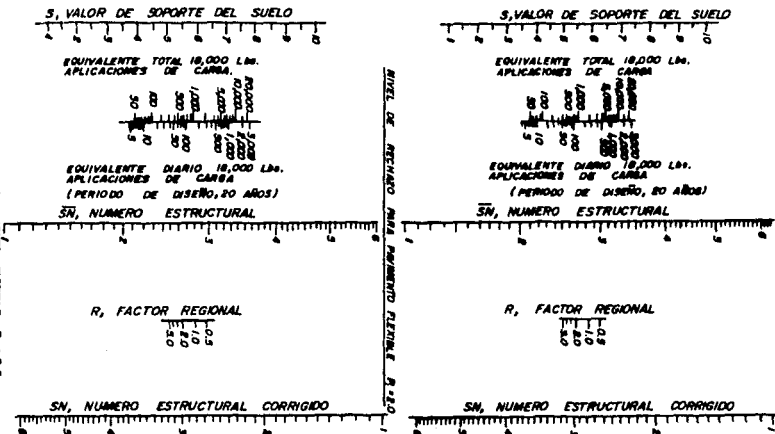
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO MEDA CANCINO

JUNIO 1979

NIVEL DE REFERENCIA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE A-1.1


FIG. 26.- AASHTO NOMOGRAMA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

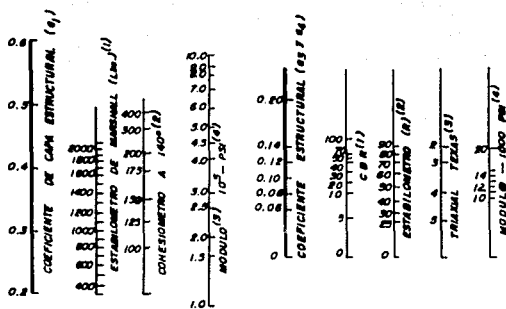
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO MEDA CANCINO

JULIO . 1979



(a) CARPETA ASFALTADA

(1) ESCALA DERIVADA POR TODAS LAS CORRELACIONES OBTENIDAS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO, ILLINOIS, LOUISIANA, NEW MEXICO Y WYOMING.

(2) ESCALA DERIVADA POR TODAS LAS CORRELACIONES OBTENIDAS DE CALIFORNIA Y TEXAS.

(3) ESCALA DERIVADA EN ESTE PROYECTO.

(4) MODULOS A 68° F.

(a)

(b) SUB-BASE

(1) ESCALA DERIVADA DE CORRELACIONES DE ILLINOIS.

(2) ESCALA DERIVADA DE CORRELACIONES OBTENIDAS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO, CALIFORNIA, NEW MEXICO Y WYOMING.

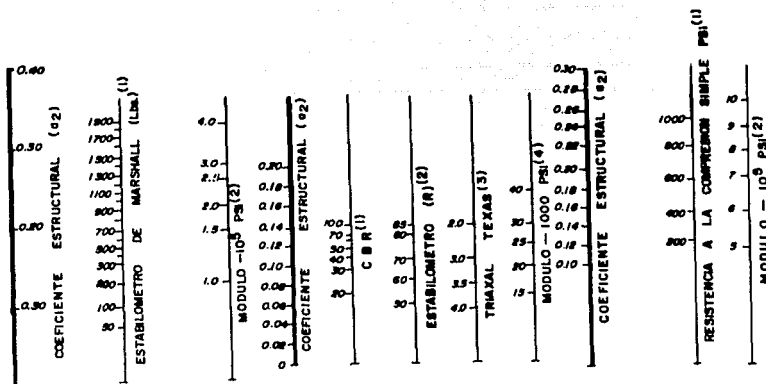
(3) ESCALA DERIVADA DE CORRELACIONES OBTENIDAS DE TEXAS.

(4) ESCALA DERIVADAS EN ESTE PROYECTO.

(b)

FIG. No. 27

| |
|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO |
| FACULTAD DE INGENIERIA |
| TESIS PROFESIONAL |
| SANTIAGO MEDA CANCINO JUNIO 1979 |



a₂ PARA BASES TRATADAS CON PRODUCTO ASFALTICO.

- (1) ESCALA DERIVADA POR CORRELACIONES OBTENIDAS DE ILLINOIS.
- (2) ESCALA DERIVADA EN ESTE PROYECTO
- (3) MODULO A 68° F.

(c)

a₂ PARA BASES GRANULARES

- (1) ESCALA DERIVADA POR TODAS LAS CORRELACIONES OBTENIDAS DE ILLINOIS.
- (2) ESCALA DERIVADA POR TODAS LAS CORRELACIONES OBTENIDAS DE CALIFORNIA, NUEVO MEXICO Y WYOMING.
- (3) ESCALA DERIVADA POR TODAS LAS CORRELACIONES OBTENIDAS DE TEXAS.
- (4) ESCALA DERIVADA EN ESTE PROYECTO.

(d)

a₂ PARA BASES TRATADAS CON CEMENTO.

- (1) ESCALA DERIVADA POR TODAS LAS CORRELACIONES DE ILLINOIS, LOUISIANA Y TEXAS.
- (2) ESCALA DERIVADA EN ESTE PROYECTO.

(e)

FIG. No. 27. - NOMOGRAMAS SUBERIDOS POR LA AASHO PARA COEFICIENTES DE CAPAS. (a) VARIACIONES EN a₁ CON PARAMETROS DE SUPERFICIE GRUESA; (b) VARIACION EN a₃ Y a₄ PARA SUB-BASE GRANULAR; (c) VARIACION EN a₂ PARA BASES TRATADAS CON PRODUCTO ASFALTICO; (d) VARIACION EN COEFICIENTE GRANULAR a₂ PARA BASES GRANULARES; Y (e) VARIACION EN a₂ PARA BASES TRATADAS CON CEMENTO PARAMETROS GRANULARES.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO MEDA CANGCO JUNIO 1979

$$\bar{SN} = 3.7$$

$$a_1 = 0.43$$

$$a_2 = 0.142$$

$$a_3 = 0.15$$

$$a_4 = 0.11$$

2) El siguiente paso es el cálculo de los espesores mínimos:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + a_4 D_4$$

a) espesor de concreto asfáltico:

VAS _{base=130} entrando a la Fig. 25 con el VAS = 130% se lee el valor del soporte del suelo $S = 9$; con este valor entrando a la Fig. 26 con un nivel de servicio = 2.5 y un DTN = 212 encuentro el SN = 1.9

De donde:

$$SN = a_1 D_1$$

$$D_1 = \frac{SN}{a_1} = \frac{1.9}{0.43} = 4.42''$$

$$D_1 = 4.42'' = 11.23 \text{ cms.}$$

b) espesor de base

VAS _{sub-base=110} entrando a la Fig. 25 con el VAS = 110% se lee el valor del soporte del suelo $S=9$; con este valor entrando a la Fig. 26 con un nivel de servicio = 2.5 y un DTN=212 encuentro el SN = 1.9

De donde:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

$$D_2 = \frac{S_n - a_1 D_1}{a_2} = \frac{1.9 - 0.43 (4.42)}{0.142} = \frac{1.9 - 1.9}{0.142} = 0.0$$

$$D_2 = 0.00$$

c) Espesor de Sub-Base

VRS subrasante = 34% entrando a la Fig. 25 con el VRS = 34% se lee el valor del soporte del suelo $S = 7.0$; con este valor entrando a la Fig. 26 con un nivel de servicio = 2.5 y un DTN = 212 encuentro el SN = 2.6

De donde:

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

$$D_3 = \frac{SN - a_1 D_1 - a_2 D_2}{a_3} = \frac{2.6 - (0.43 \times 4.42 + 0.142 \times 0.0)}{0.15} = \frac{2.6 - 1.9}{0.15} =$$

$$D_3 = \frac{0.70}{0.15} = 4.67''$$

$$D_3 = 4.67'' = 11.86 \text{ cms.}$$

d) Espesor de la subrasante

VRS Terreno natural = 5.5% entrando a la Fig. 25 con el VRS = 5.5 se lee el valor del soporte del suelo $S = 4.2$, con este valor entrando a la figura 26 con un nivel de servicio = 2.5 y un DTN = 212 encuentro el SN = 3.8

De donde:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + a_4 D_4$$

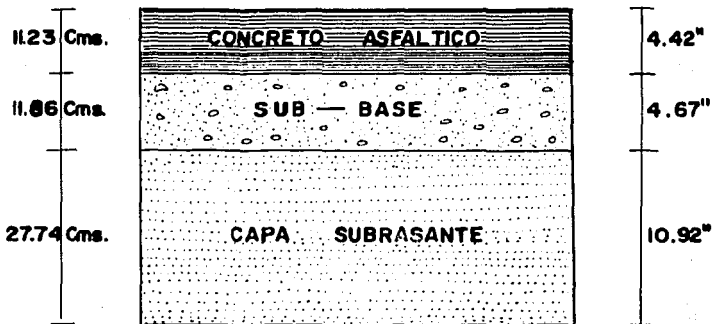
$$D_4 = \frac{SN - (a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3)}{a_4} = \frac{3.8 - (0.43 \times 4.42 + 0.142 \times 0.0 + 0.15 \times 4.66)}{0.11}$$

$$D_4 = \frac{3.8 - 1.90 - 0.70}{0.11} = \frac{1.201}{0.11} = 10.92''$$

$$D_4 = 10.92'' = 27.74 \text{ cms.}$$

Resumiendo:

| | | | |
|---------------------|------------------|-----------|--------------|
| Concreto Asfáltico | = D ₁ | = 4.42'' | = 11.23 cms. |
| Base | = D ₂ | = 0.00'' | = 0.00 cms. |
| Sub-base | = D ₃ | = 4.67'' | = 11.86 cms. |
| Subrasante | = D ₄ | = 10.92'' | = 27.74 cms. |
| Cuerpo de Terraplen | | | = 50.83 cms. |



RESUMEN Y CONCLUSIONES DE LOS METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ANALIZADOS ANTERIORMENTE.

| DISEÑO | Carpeta Asfáltica | Concreto Asfáltico | Base Alfáltica | Base Hidráu lica | Su- base | Subrasante | Espesor Total (cms.) |
|--|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|-------------|------------|----------------------------|
| Método SAHOP | 10 | | | 16 | | 30 | 56 |
| Método preli minar por el Inst. de Inge neria de la U.N.A.M. 1a. Alternativa | 10 | | | 4 | 5 | 30 | 49 |
| Método preli minar desarro llado por el Instituto de Ingenieria de la UNAM 2a. alternativa | 10 | | | 9 | | 30 | 49 |
| Método del Ins tituto de Inge neria de la UNAM | 10 | | | 13 | 10 | 30 | 63 |
| Método del Ins tituto del As falto de E.U.A. 1a. alternativa | | 13.20 | | | | 30 | 43.20 |
| Método del Ins tituto del As falto de E.U.A. 2a. alternativa | 7.6 | | 7.6 | 15.2 | | 30 | 60.4 |
| Método del Ins tituto del As falto de E.U.A. 3a. alternativa | 7.6 | | 7.6 | | 20.6 | 30 | 65.8 |
| Método AASHO | | 11.23 | | | 11.86 | 27.74 | 50.83 |

1) En conclusión el método de la SAHOP en la actualidad este método

ha permitido obtener pavimentos satisfactorios, teniendo las desventajas que las gráficas están en función del número diario de vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 tons., no permite tomar en cuenta la vida de proyecto del pavimento; solo existen cuatro niveles de tránsito de los cuales no toma en cuenta de una manera determinante la distribución real de cargas producidas por el tránsito mezclado; es decir que si el tránsito diario fuera de 700 camiones de 3 tons. o de 700 camiones pesados de más de 20 tons., el diseño estructural resultante sería el mismo en el cual el diseño nos tiende a que dar subdiseñados o sobrediseñados.

Por lo tanto por las muy pocas variables que toma en cuenta este método no es muy conveniente, teniendo la necesidad que para el futuro para el diseño de pavimentos flexibles económicos, se debe de tomar en cuenta otras variables como clima, condiciones regionales, diseño geométrico, vida de proyecto, materiales y procedimiento de construcción, etc.

- 2) Método preliminar desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. el espesor total de diseño es adecuado para las dos alternativas, teniendo el inconveniente en que el espesor de base y sub-base es muy pequeño, este método tiene la ventaja de que toma en cuenta más variables como: coeficiente de conversión para ejes sencillos o ejes en tandem, toma como referencia al eje sencillo de 8.2 ton (18000 lbs), calcula el tránsito equivalente para el período de diseño, calcula el tránsito mezclado en un solo sentido, cálculo del incremento anual del tránsito mezclado, cálculo de la suma total de ejes equivalentes para el período de diseño.

- 3) En el método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., se puede distinguir en la tabla que el espesor de diseño es igual al método del Instituto del Asfalto con un espesor de 65 cms., siendo el mayor de todos los métodos y los mas adecuados para el diseño ya que el número de variables de diseño es muy alto en el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

A saber: Coeficiente de daño estructural por ejes o por vehículo ya sean cargados o vacíos, la composición del tránsito, tasa de crecimiento anual del tránsito, vida de proyecto de la carretera, nivel de confianza para cada una de las capas; factores de equivalencia estructurales para el caso de carpetas asfálticas y bases estabilizadas; coeficiente de variación del VRS en el campo para cada una de las diferentes capas.

Este método es confiable y de aplicación simple, según la práctica y los estudios en desarrollo se podrán hacer ajustes que consideremos apropiados.

Por lo tanto para el diseño del libramiento vial de Tula éste es el más adecuado quedando la sección estructural tipo como se muestra en la Fig.28

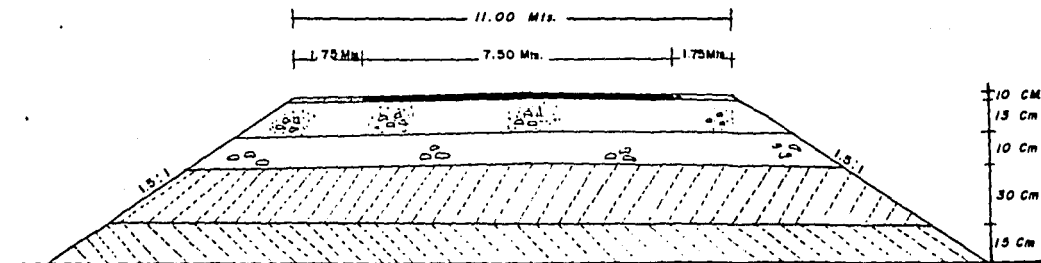
- 4) En el método del Instituto del Asfalto en la tercera alternativa de proyecto se podría tomar como adecuado teniendo el inconveniente en que la sub-base es de una base granular de baja calidad.

En todos estos métodos de diseño; mientras que el VRS de la subrasante sea de buena calidad el espesor de diseño será menor, lo contrario cuando tengamos un VRS de baja calidad el espesor de diseño sera mucho mayor.

- 5) En el método de la AASHO se podría tomar para el diseño con el inconveniente de que la superficie de rodamiento es de concreto

SECCION ESTRUCTURAL TIPO

V-19



- CARPETA ASFALTICA TIPO MEZCLA EN EL LUGAR**
- BASE HIDRAULICA**
- SUB-BASE HIDRAULICA**
- CAPA SUB-RASANTE**
- CAPA DE TRANSICION**

FIG. No. 28

CARRETERA LIBRAMIENTO VIAL DE TULA **TRAMO** UNICO

SUB-TRAMO UNICO **ORIGEN** TULA, HIDALGO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

SANTIAGO MEDA GARCINO

MARZO 1979

asfáltico y nuestro costo por Km. sería un poco mayor que en el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM., que es de carpe ta asfáltica.

CAPITULO 4

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION Y CONTROL DE CALIDAD.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE TERRACERIAS, PAVIMENTO Y CONTROL DE CALIDAD.

A) BANCOS DE MATERIALES

- 1) Para la construcción del cuerpo del terraplén se usarán los materiales siguientes:
Cortes en el subtramo km.0+000 a Km.2+400 y banco "Vindho"
- 2) Para la formación de la capa sub-rasante el banco "Vindho"
- 3) Para el pavimento, sub-base, base y carpeta, banco "Calera Bertrán"

CONCLUSIONES:

- a) Los materiales que se encuentran del km. 0+000 al km.2+400 presentan características adecuadas para construir el cuerpo de terraplén.

De la estación 2+400 a la 5+500 los materiales no reúnen las características necesarias para la construcción del terraplén.

- b) Al ser una zona semi-urbana no es factible tomar material de préstamo lateral.
- c) El material del banco "Vindho" es de buena calidad presentando características mecánicas adecuadas para construir la capa sub-rasante.
- d) El material del banco "Caleras Bertran" está formado por una roca caliza sana, de buena calidad para emplearse en la construcción del pavimento.

B) NORMAS DE CONSTRUCCION

En la construcción de las terracerías y el pavimento se regirán por las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas partes cuarta y Octava.

I. Terreno de Cimentación:

Antes de iniciar los trabajos se efectuará una roza y desentraice de las matas y pequeños arbustos que existen en el derecho de vía. A continuación se despalmará en la zona comprendida del Km. 0+000 al 3+000 un espesor medio de 30 cms. Del km. 3+100 al 6+700 el espesor mínimo será de 50 cms. al 90% de su peso volumétrico seco máximo (P.V.S.M.)

II. Terraplén.

En las partes bajas del subtramo que comprenden las estaciones 0+000 al 2+000 en las que aparece el nivel freático superficial, se colocarán fragmentos de roca de hasta 50 cms de diámetro a los que se les dará un tratamiento de bandeado; una vez que se establezca el terreno se procederá a la construcción del cuerpo del Terraplén.

Los materiales cuyo tratamiento sea de bandeado se colocarán en capas sencillamente horizontales con el espesor que permitan los fragmentos de mayor tamaño; en cada punto de la superficie de las capas se darán como mínimo 3 pasadas con equipo cuyo peso sea superior a 20 tons.; a la capa subyacente a la sub-rasante se dará también una pasada con equipo de rejilla de 15 ton.

Los materiales cuyo tratamiento sea de compactado se colocarán en capas sencillamente horizontales con espesor máximo de 50 cms al 90% de su peso volumétrico seco máximo. (P.V.S.M.)

En la capa de transición con espesor de 15 cms. se compactará al 95% de su P.V.S.M.

III. Cortes

- a) Se despalmará el sitio de los cortes ya que con los materiales producto de estos se formarán los terraplenes, la excavación en los cortes en material "C", se realizará hasta 30 cms. abajo de la línea de sub-rasante, con el fin de formar la cama con material compactable.
- b) Al terminar los cortes, no deberán quedar salientes de roca mayores de 15 cms. igualmente todas las piedras flojas y material suelto de los taludes, deberán ser removidos.

IV. Sub - Rasante

Tanto en terraplenes como en los cortes, se construirá con material del banco "Vindho", teniendo un espesor de 30 cms. y se compactará al 100% de su P.V.S.M.

V. Sub-Base

Se construirá una capa de su-base hidráulica de 10 cms. y en su construcción se empleará una mezcla, en peso, de los materiales de los bancos "Caleras Bertran" y "Vindho" en proporción de 70 - 30% respectivamente; a la mezcla efectuada en el tramé se le añadirá el agua necesaria para compactarla al 100% de su P.V.S.M.

VI. Base

Se construirá una capa de Base hidráulica con un espesor de 13 cms. compactada al 100% de su P.V.S.M. empleándose en su construcción material del banco

"Calera Bertran" el que tendrá un tamaño máximo de 3.8 cms. (1 1/2") terminada la base hidráulica y con la superficie seca, barrida, exenta de polvo, surcos u ondulaciones, se aplicará un riego de impregnación usando material asfáltico rebajado tipo FM-1 en cantidades aproximadas de 1.6 - lts/m², este riego comprende los taludes de la capa.

Previamente a la colocación de la carpeta se colocará un riego de liga usando material asfáltico del tipo FR-3 a razón de 0.6 lts/mts.² aproximadamente.

VII. Carpeta

Se construirá una carpeta asfáltica de 10 cms. compactas y será del tipo mezcla en el lugar y se elaborará con material del banco "Caleras Bertrán" que tendrá un tamaño máximo de 1.9 cms. (3/4") y el material asfáltico tipo FR-3.

La mezcla se efectuará en el tramo y se compactará al 95% de su P.V.S.M.- obtenido mediante la prueba de comprensión sin confinar.

Arriba de la superficie de la carpeta asfáltica se colocará un riego de sello usando material petreo tipo 3-A del banco "Calera Bertrán", (este riego de sello abarcará todo el ancho de corona) y material asfáltico FR-3.

BIBLIOGRAFIA.

La Ingeniería de suelos en las vías terrestres Vol.2

ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.

Principles of Pavement Design

Yoder, E.J.

Manual de proyecto geométrico de Carreteras.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

Diseño de pavimentos Flexibles. Comportamiento de tramos experimentales.

Santiago Corro. Publicación del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

No. 240. Patrocinada por la S.A.H.O.P.

Mecánica de Suelos. Tomo II

Juárez Badillo E. y Rico.
