

31
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A. Y EL PROPUESTO POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
LINO RAFAEL RODRIGUEZ ROJAS

ASESOR: ING. LEONARDO ALVAREZ LEON



NAUCALPAN DE JUAREZ, EDO. DE MEX.

1998

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

298170



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA Y ACTUARIA



SOBERANIDAD LA LEY
AVANZA

CAI-C-044-80.

SR. LINO RAFAEL RODRIGUEZ ROJAS,
Alumno de la carrera de Ingeniero Civil,
P r e s e n t e .

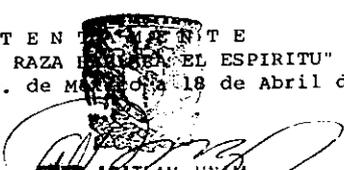
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 28 de febrero de 1980, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A. Y EL PROPUESTO POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"; el cual se desarrollará como sigue:

- I. Antecedentes de los métodos de diseño de pavimentos flexibles.
- II. Presentación del método del Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A.
- III. Presentación del método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.
- IV. Comparación de los dos criterios en un caso práctico.
- V. Conclusiones.

Asimismo, fue designado como Asesor de Tesis el Señor Ing. Miguel Quintero Nares, Profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico 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. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HA DE SER EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. de México, 18 de Abril de 1980.



ING. ALEJANDRO RAMÍREZ BECENA
Coordinador del Programa
de Ingeniería y Actuaría

A DIOS

POR DARME Y SER EL CONSTRUCTOR DE MI VIDA, POR SUS BENDICIONES Y POR TODAS LAS VECES EN QUE ACUDÍ A ÉL BUSCANDO AYUDA EN SITUACIONES DIFÍCILES Y EN LA SOLUCIÓN A MIS PROBLEMAS.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO.

A LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN.

POR LA OPORTUNIDAD QUE ME BRINDARON PARA LA REALIZACIÓN
DE MIS ESTUDIOS.

A MIS ASESORES

ING. LEONARDO ALVAREZ LEÓN

ING. MIGUEL A. QUINTERO NAREZ †

A MIS PADRES:

DON RUPERTO RODRÍGUEZ RIVERA

DOÑA FLORENTINA ROJAS COLÍN

CON INMENSO CARIÑO, ADMIRACIÓN
Y RESPETO, AGRADECIÉNDOLES QUE
CON SUS SACRIFICIOS, CONSEJOS Y
DESVELOS, LOGRARA LA TERMINACIÓN
DE MIS ESTUDIOS.

A MIS HERMANOS:

POR SU APOYO Y UNIÓN QUE
ME HAN BRINDADO.

A MI ESPOSA Y MIS HIJAS:
ELIZABETH CAL Y MAYOR C.
LORENA Y ARIANNA.

QUIENES ME HAN BRINDADO CARIÑO,
APOYO Y POR SER EL MOTIVO PARA MI
CONSTANTE SUPERACIÓN

FALTA PAGINA

No. 1

I N D I C E

- I.- ANTECEDENTES DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- II.- PRESENTACIÓN DEL MÉTODO DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LOS ESTADOS UNIDOS AMERICANOS.

- III.- PRESENTACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO POR EL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA U.N.A.M.

- IV.- COMPARACIÓN DE LOS DOS CRITERIOS EN UN CASO PRACTICO.

- V.- CONCLUSIONES.

**I.- ANTECEDENTES DE LOS MÉTODOS
DE DISEÑO DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES.**

C O N T E N I D O

- I.1.- INTRODUCCIÓN.
- I.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.
- I.3.- LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.
- I.4.- MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

I.1.- INTRODUCCION.

Los pavimentos se definen como el conjunto de capas de materiales cuyas características sean apropiadas para transmitir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito a las terracerías de soporte a estas capas, comprendidas entre el nivel superior de la terracería y la superficie de rodamiento. Esto trae consigo tener una superficie de rodamiento uniforme y textura apropiados capaces de soportar la acción del intemperismo y tránsito.

De lo anterior se desprende que los materiales para que sean capaces de resistir los esfuerzos, es necesario someterlos a tratamientos como son la clasificación en cuanto a su granulometría, contenidos de agua, compactaciones mecánicas, etc. En cuanto a la superficie de rodamiento ésta puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o de materiales pétreos compactados.

De ahí que los pavimentos se clasifiquen en: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos semi-rígidos; ya que estos se diferencian por el tipo de materiales de que están contruidos y de cómo se estructuran estos materiales. Ejemplo de esta clasificación son los contruidos a base de losas de concreto hidráulico que serán pavimentos rígidos y los contruidos por una capa flexible como es la carpeta asfáltica, que serán pavimentos flexibles.

En este presente trabajo se tratará únicamente a los pavimentos flexibles, ya que en nuestro país por las condiciones en cuanto a economía se refiere, son los más usuales.

I.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Las siguientes pueden considerarse las características fundamentales de un pavimento flexible, según su distribución, es decir, considerándolo como conjunto:

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

A continuación se comentará algunos aspectos de las anteriores características.

- a) La resistencia estructural.

Una de las condiciones y es la principal que debe cumplir el pavimento es soportar las cargas impuestas por el tránsito, ya que éstas producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura, siendo los esfuerzos cortantes los principales generadores de falla estructural de los pavimentos flexibles; correspondientemente la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental, para lo cual se usa de las teorías de Boussinesq, Burmister, etc.

Otros esfuerzos generadores de falla considerados de mayor importancia son los producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y los esfuerzos de tensión desarrollados en los niveles superiores de la estructura.

De lo dicho anteriormente, se hace necesario determinar la resistencia de los materiales por medio de pruebas de laboratorio que posteriormente se tratarán, siendo de mucha importancia ya que en ellos influyen factores tales como el tipo de suelo y su tratamiento, la interacción de los efectos de la intemperie, siendo la variación del contenido de agua el más importante, y el tipo de cargas que se les aplica y la velocidad con que ello se hace.

La resistencia de los materiales que formarán el pavimento, interesa desde dos puntos de vista:

1.- La capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas de tránsito.

2.- La capacidad de carga de la capa subrasante, siendo ésta el nexo sobre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitirlos a la terracería a niveles no destructivos.

b) La deformabilidad.

En la estructuración de un pavimento, la deformabilidad crece mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que las demás capas del pavimento, siendo en forma decreciente a lo largo de las capas. De lo anterior la deformabilidad interesa sobre todo a los niveles relativamente profundos.

Los siguientes puntos de vista son de interés en los pavimentos en cuanto a deformaciones se refiere:

1.- Las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla.

2.- Los pavimentos deformados dejan de cumplir sus funciones, sin que estas deformaciones hayan conducido a un colapso estructural.

Las deformaciones elásticas y plásticas son las comunes producidas por la carga del tránsito. Las elásticas son de recuperación instantánea y se presentan sobre pavimentos contruidos principalmente con materiales de origen volcánico; en cambio las plásticas son las que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora.

Las pruebas de placa con un deformómetro tipo Benkelman o con deformómetros sónicos, eléctricos, etc., o con un aparato dinámico tipo dinafect; son las más usuales para obtener los módulos de deformabilidad de los materiales, una vez ya conocidos los materiales que constituirán el pavimento. También la prueba Triaxial de Kansas se utiliza para encontrar el módulo de deformación elástica.

El criterio AASHO o índice de servicio se utiliza para fijar la deformación máxima permisible permanente que combinado con el tipo de tránsito permite diseñar al pavimento, para que la falla plástica se presente únicamente al final de la vida útil prevista.

c) La durabilidad.

Para esta característica no existe ningún método de diseño que la determine, sólo esta ligada a la importancia del camino en cuanto a la economía y lo social se refiere; en una obra modesta la duración del pavimento puede ser mucho menor que la del camino, siempre y cuando las reconstrucciones e interrupciones de servicio valgan menos que el costo inicial de un pavimento mucho más durable; por el contrario en caminos de mucho tránsito y de importancia económica se requerirá de pavimentos más duraderos para no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

d)*El costo.

La designación del tipo de pavimento, los materiales a emplearse, así como las distancias de acarreo de materiales, la maquinaria a emplear para su extracción y las normas de construcción a que han de sujetarse los diferentes materiales para cumplir con los requerimientos de un proyecto determinado, son los factores decisivos que intervienen en el costo de un pavimento.

e) Los requerimientos de conservación.

Los factores climáticos influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, la intensidad del tránsito, el comportamiento de las terracerías, sus deformaciones, derrumbes, drenajes y subdrenajes, la degradación estructural de los materiales constitutivos por carga repetida, son los aspectos importantes a reflejarse en los requerimientos de conservación, de ahí que sea importante tomarlos muy en cuenta al diseñar un buen pavimento.

f) La comodidad.

Especialmente en grandes autopistas y caminos de primer orden, los problemas y métodos de diseño de pavimento deben verse afectados por la comunidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto.

Las deformaciones longitudinales del pavimento, la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor deben de tomarse en cuenta para el diseño del pavimento.

I.3.- LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En la figura I-3.1, se muestra la estructuración típica de un pavimento para una sección en terraplén.

Como se observará la primer capa corresponde a una carpeta bituminosa formada por la mezcla de un material pétreo y un aglutinante asfáltico y corresponde a la superficie de rodamiento, ésta debe de cumplir principalmente con los siguientes requisitos:

- 1.- Se estable ante los agentes del intemperismo.
- 2.- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- 3.- Tener textura apropiada al rodamiento.
- 4.- Ser durable.
- 5.- Ser permeable y económica.

Bajo la primer capa se dispone de una base que deberá estar formada de un material granular de mayor calidad con mayor exigencia en cuanto a la granulometría del suelo que la constituirá a fin de absorber mayores esfuerzos y transmitir en menor intensidad éstos esfuerzos a la capa inferior que en este caso es la sub-base formada de un suelo granular de menor calidad que la anterior, con mayor contenido de finos; después de ésta se dispone de la capa subrasante obviamente con menores requisitos de calidad que la sub-base cuyo fundamental papel mecánico y económico es menos importante.

Bajo la capa subrasante se dispone de la terracería cuyo material sólo necesita tratarse mecánicamente, en cuanto a lo referente a compactación.

A los espesores de capas que forman la estructura de un pavimento, se ligan problemas y condiciones que se deben considerar en la elección del método de diseño, estos problemas son:

1.- Cuando los materiales que constituyen a una terracería son compresibles y arcillosos como es el caso de los suelos MH, CH y OH que presentan características deformabilidad muy importante. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes prohíbe el uso de estos materiales cuando su límite líquido es mayor del 100%.

2.- La importancia de la capa subrasante en el conjunto del pavimento hace que esta capa sea del suficiente espesor y calidad, ya que permitirá importantes ahorros en los espesores siguientes a esta, sin perjuicio de la función estructural conjunta, ya que será capaz de absorber niveles de esfuerzo relativamente altos provenientes de la superficie y transmitirlos suficientemente disminuidos a la terracería.

En México la SCT establece espesores mínimos de 30 a 50 cms. en caminos de alto tránsito y cuyo material no debe de tener partículas mayores de 7.6 cms. (3"), eliminan los suelos finos (MH, CH) cuyo límite líquido sea mayor a 100% y todos los suelos orgánicos (OH) cuyo límite líquido sea mayor del 50%. Especifica grados de compactación según la prueba Proctor Estándar del 95% a capas de 15 cms. y por último, que su valor relativo de soporte mínimo sea del 15%.

3.- Tomar en cuenta que la función de la sub-base es la de servir de transición entre el material de la base y el de la sub-rasante, así como actuar de filtro de la base y absorber deformaciones perjudiciales en la sub-rasante.

Debido a lo anterior se exige que los materiales sean de tamaño máximo, granulometría, plasticidad adecuadas.

En la figura I-3.2, se muestra la zona en la que deba desarrollarse la curva granulométrica del material a emplearse en una sub-base según las normas de la SCT. Esta pide que la curva deba desarrollarse en las zonas 1, 2 o 3; además que la relación de porcentaje en peso que pasa la malla número 200 al que pase la malla número 40 no deberá exceder de 0.65. El tamaño máximo del material se limita a 51 mm. (2"), y un valor relativo de soporte mínimo del 50%.

En cuanto a los espesores de la capa sub-base son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suelen considerarse de 12 a 15 cm, como mínimo.

4.- Es necesario que los materiales que se utilicen en la construcción de la base tengan una curva granulométrica comprendida en las zonas 1 o 2 y que la relación de porcentaje en peso que pase la malla número 200 al que pase la malla número 40 no sea mayor de 0.65. El tamaño máximo del material se fija en 51 mm. (2") para materiales naturales que no requieran tratamiento y en 38 mm. (1.5") en materiales que requieran de triturarse.

La SCT exige un límite líquido máximo de 30% y un valor relativo de soporte mínimo del 80% para carreteras de menos de 1,000 vehículos pesados al día, en 100% para carreteras de más de 1,000 vehículos pesados al día. Y un grado de compactación como mínimo del 95% prueba Proctor Estándar a capas de 15 cm. de espesor.

Los espesores de capa varían según su importancia del proyecto, pero suelen ser de 12 a 15 cm. como mínimo..

La base debe de ser de material friccionante y provistos de vacío para proporcionar la función drenante de la capa.

I.4.- MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

La mayor parte de los métodos de diseño se basan en pruebas de laboratorio, suponiendo que los datos arrojados por estas representan el comportamiento real del pavimento, basados en una correlación lineal de datos que deba existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio con los de la estructura ya en funcionamiento.

También por observación del comportamiento de los pavimentos en diferentes zonas bajo condiciones diferentes de clima y tránsito los cuales son llamados tramos experimentales y con la representación de laboratorio con diferentes estados de contenidos de agua, espesores diferentes o utilización de diferentes materiales bajo una misma cantidad de repetición y de carga igual, como es el caso de los estudios que realiza el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

En México es muy utilizado la prueba del valor relativo de soporte (C.B.R.) para el dimensionamiento de la estructura del pavimento cuya presentación se hizo hace casi 60 años por parte de O. J. Porter y posteriormente perfeccionado por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A. Este método es de carácter empírico debido a lo anteriormente dicho en cuanto a la representación del comportamiento de los materiales del pavimento y los materiales constitutivos en una prueba de laboratorio.

A continuación se enlistan algunos de los métodos de diseño de pavimentos flexibles, explicando en forma breve las características mas relevantes de cada uno de ellos.

I.4-1.- MÉTODO DE DISEÑO SCT

Este método utiliza la prueba del V.R.S., como método de diseño principal en los pavimentos flexibles, además de las condiciones y propiedades de los materiales que constituirán el pavimento, así como también la consideración de la intensidad del tránsito de vehículos con capacidades de carga igual o superior a 3 toneladas consideradas en un solo sentido. De esto ya se habló en el inciso 1.3 de la estructuración de pavimentos.

La figura I-4-1a, muestra la gráfica en la cual se basa este método para el diseño de pavimentos flexibles. En ella se calcula el espesor mínimo de sub-base más base, en función del V.R.S. de la subrasante.

I.4-2.- MÉTODO DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A.

Este método se basa en la relación y resultados de la prueba del valor relativo de soporte (V.R.S.) y es utilizado tanto en el diseño de pavimentos para aeropistas como para carreteras. Aquí se tratará el primero ya que el segundo se expondrá en el próximo capítulo.

El Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., propone la siguiente fórmula para determinar el espesor del pavimento en aeropistas.

$$e = 2.5 F \sqrt{\frac{P}{8.1 V.R.S.} - \frac{A}{\pi}}$$

en donde:

e = Es el espesor total de material que deba colocarse sobre el suelo cuyo V.R.S. aparece en la fórmula.

$$F = 0.23 \log C + 0.15$$

C = Volumen de tránsito en cubrimientos. Número de cubrimientos para el que se desea diseñar la pista.

P = Carga sencilla equivalente al sistema de llantas múltiple del avión de diseño, en kg. , obtenida según se muestra posteriormente.

A = Área de contacto, en cm^2 .

V.R.S. = Valor Relativo de Soporte de la capa subrasante, el cual se determinara en el capítulo II.

La anterior ecuación solo es valida en aeropistas y para valores de V.R.S. menores que 10 o 12 %, en caso contrario se debe recurrir a las curvas de diseño para cada caso.

Se dice que un cubrimiento es el número de pasadas de una rueda que debe efectuar para cubrir por completo el tercio central de la pista con trayectorias paralelas contiguas. Estos se determinan a partir del número de pasadas de la carga, relacionando el ancho de la faja en consideración, el arreglo y disposición de las ruedas, el ancho del área de contacto de cada llanta y la distribución de tránsito. En la tabla siguiente se proporcionan el número de cubrimientos que el método considera como valor de proyecto para el diseño de las aeropistas.

CONDICIONES DEL AEROPUERTO	No. DE CUBRIMIENTOS A CONSIDERAR
Tránsito muy intensamente canalizado.	25,000
Capacidad de operación normal.	5,000
Operación limitada.	3,000
Operación mínima.	200
Operación de emergencia	40

En este capítulo se trataran los aviones DC-8 y el supersónico Boeing SST, ya que estos son los mas críticos por la disposición de su tren de aterrizaje.

Las figuras I-4-2a y I-4-2b, muestran las curvas de diseño para espesores de pavimento en función del V.R.S. del suelo para los aviones DC-8 y Boeing SST.

La forma de utilizar las gráficas es como sigue: Se determina el valor del V.R.S. de la capa superior de la terracería y se utiliza la gráfica correspondiente, encontrándose en la ordenada el espesor que va a cubrir a la terracería para lograr un comportamiento satisfactorio. El método sugiere como espesor de subrasante 50 cm. como mínimo.

I.4-3.- MÉTODO DE HVEEN

Este método se basa en pruebas de campo y laboratorio para encontrar valores de presión de expansión, presión de exudación, valor de estabilidad obtenido con el estabilómetro, y la resistencia a la tensión por flexión medida en las capas superiores por medio del cohecímetro.

La expresión que sigue se utiliza para encontrar el espesor del pavimento que neutraliza la presión de expansión:

$$e_e = \frac{Pe}{\gamma_m}$$

en donde:

e_e = Espesor requerido para neutralizar la presión de expansión en la subrasante por el peso de las capas superiores del pavimento, en cm.

Pe = Presión de expansión, en kg./cm.

γ_m = Peso volumétrico medio de la estructura del pavimento, en kg/cm³.

En lo que se refiere al valor de estabilidad, el espesor del pavimento correspondiente esta dado por la siguiente expresión:

$$e_R = 0.098 \times IT (100 - R)$$

en donde:

e_R = espesor de pavimento necesario de acuerdo con la resistencia del suelo.

IT = índice de tránsito.

CE = es el número de ruedas de 5,000 lb. que equivale al tránsito del camino dentro del periodo de diseño, que se calculan los factores de equivalencia que se muestran en la tabla; estos se multiplican por el número diario de vehículos de cada tipo.

R = es el número de estabilidad de Hveen.

La figura I-4-3a, proporciona un monograma para evitar el uso de la fórmula. Se usa en forma reiterada para las diferentes capas del pavimento; Hveen llamo al material que cubre a la capa correspondiente "grava equivalente" y propone ciertos valores de factor de Grava Equivalente que multiplicados por el espesor de la capa del pavimento, dan los espesores de Grava Equivalente correspondiente.

La tabla muestra los factores de Grava Equivalente que el método propone:

TIPO DE MATERIAL	ÍNDICE DE TRANSITO	FACTOR DE GRAVA EQUIVALENTE
	5	2.5
	6	2.3
	7	2.2
	8	2.0
CARPETA DE CONCRETO	9	1.9
ASFALTICO	10	1.8
	11	1.7
	12	1.6
	13	1.5
BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO		1.2
BASES GRANULARES DE MATERIAL TRITURADO		1.1
SUB-BASES Y BASES GRANULARES NATURALES		1.0

I.4-4.- OTROS MÉTODOS

1.- Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Se basa en la prueba del V.R.S. , el valor de estabilidad y el valor portante obtenido en pruebas de placa.

2.- Método de Diseño fundado en la prueba Triaxial de Texas, E.U.A.

Este método es de gran ventaja porque se acerca al modo de trabajo real del pavimento, por los resultados precisos y representativos, y por su sencilla aplicación.

3.- El Método de Mc. Leod.

Este método se basa principalmente en las pruebas de placa

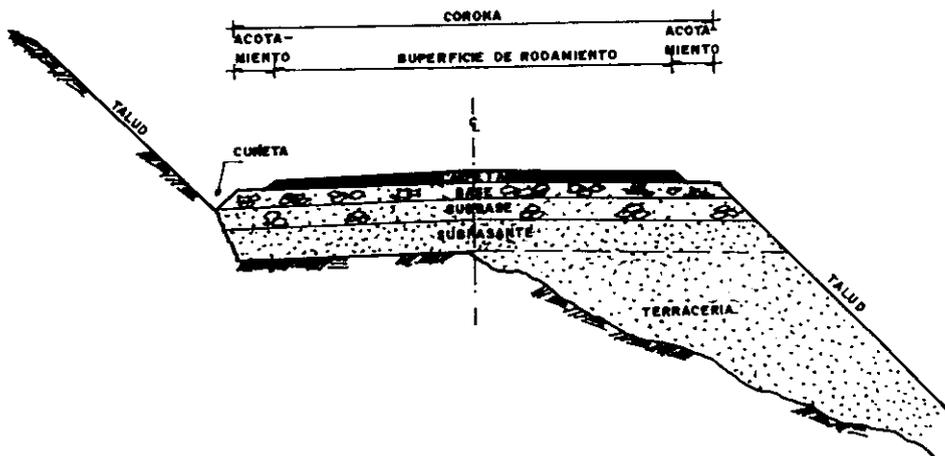


FIGURA I-3,1 Sección Transversal de un Pavimento Flexible.

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

E. N. E. P. Acatlan

Elaboró:

Lino Rafael Rodríguez Rojas

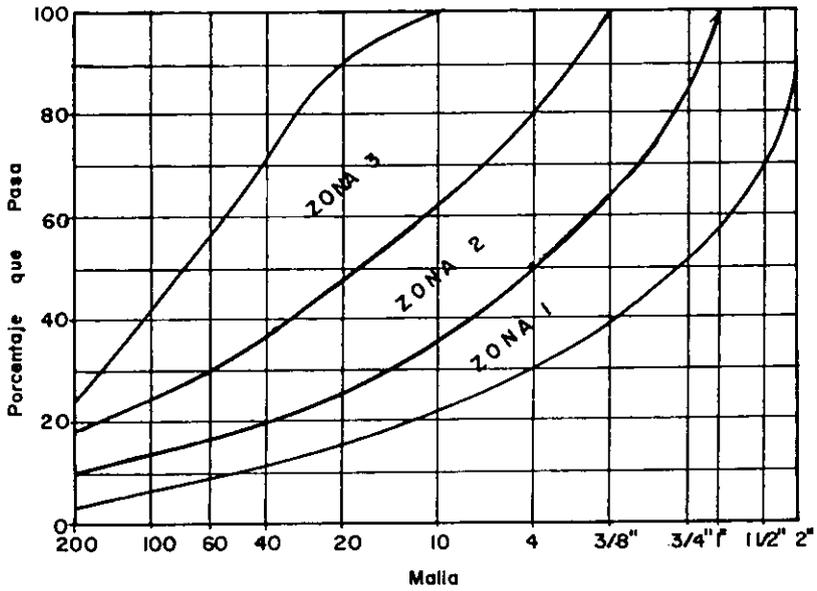


FIGURA I -3,2 Curva Granulométrica para material de subbase.

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

E. N. E. P. Acatlan

Elaboró:

Lino Rafael Rodríguez R.

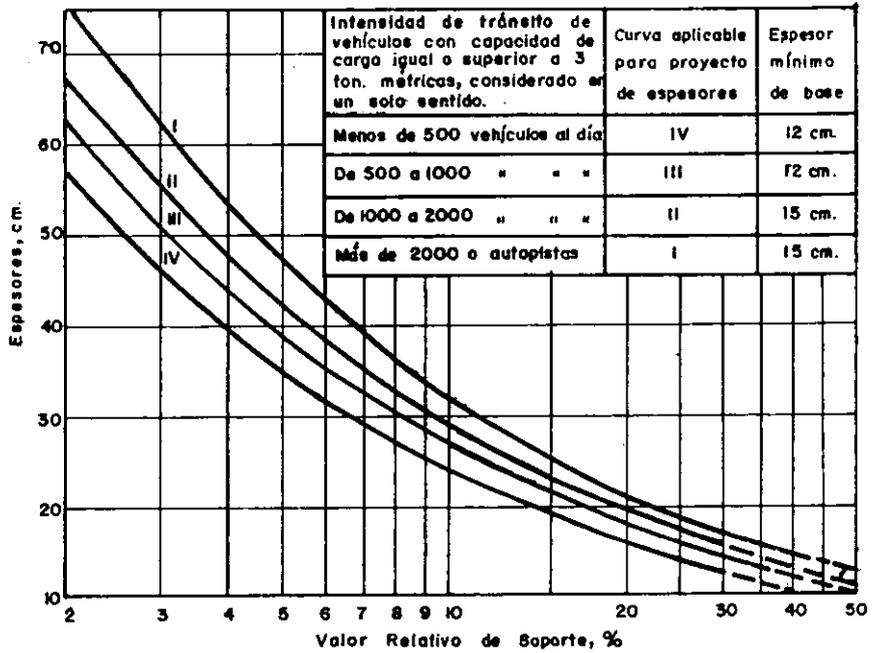


FIGURA I-4-1a Gráfica para diseño de Pavimentos Flexibles según S.C.T.

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

E. N. E. P. Acatlan

Elaboró:

Lino Rafael Rodriguez R.

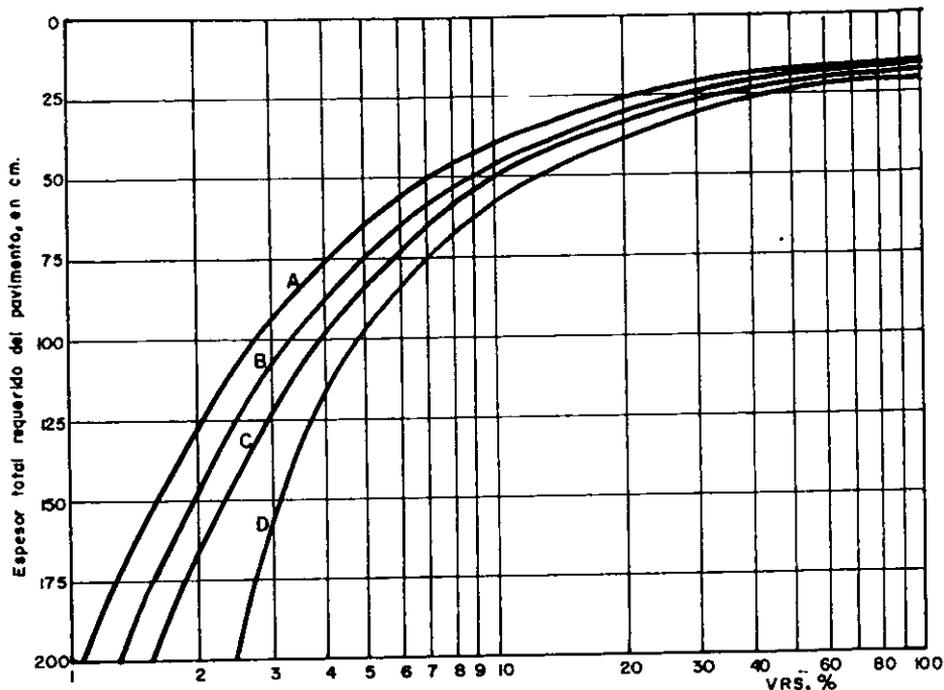


FIGURA I-4-2a: Espesores de Pavimentos Flexibles en Aeropistas, en función del VRS del suelo, según el CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A., para el avión DC-8

PARA 5000 CUBRIMENTOS

- A= Peso Total 68 ton. (150,000 lb.)
- B= " " 90 ton. (200,000 lb.)
- C= " " 113 ton. (250,000 lb.)
- D= " " 156 ton. (344,000 lb.)

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

E. N. E. P. Acatlan

Elaboró:

Lino Rafael Rodriguez Rojas

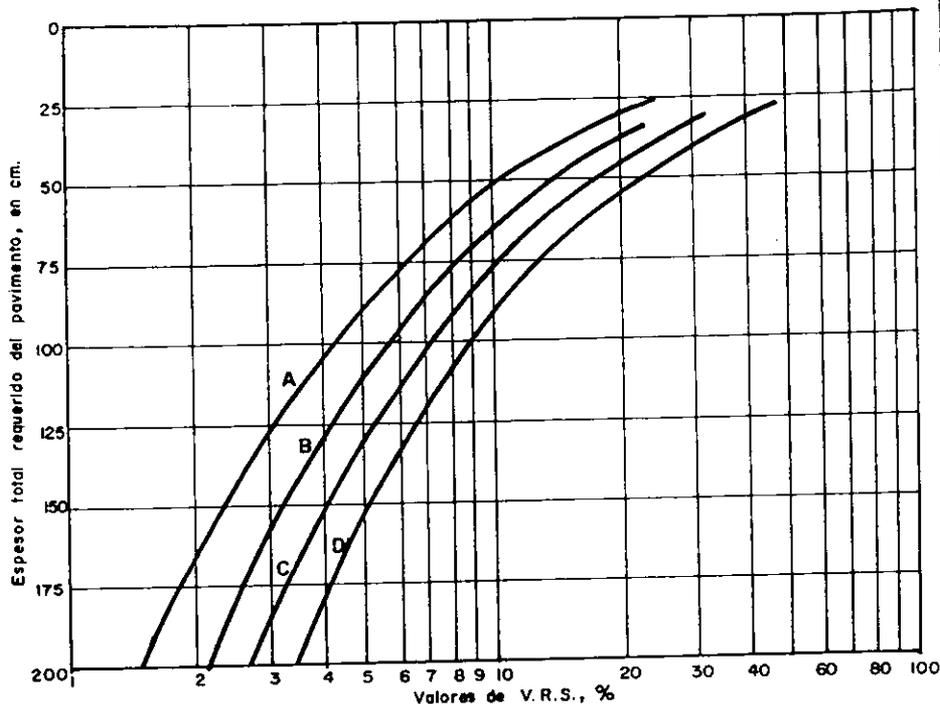


FIGURA I-4-2b.- Espesores de Pavimentos Flexibles en Aeropistas, en función del VRS del suelo, según el CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A. para el avión Boeing SST.

PARA 5000 CUBRIMIENTOS

- A = Peso Total 170ton. (375 000 lb)
- B = " " 215 ton. (475 000 lb)
- C = " " 260ton. (575 000 lb)
- D = " " 305ton. (675 000 lb)

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

E. N. E. P. Acatlan

Elaboró:

Lino Rafael Rodríguez Rojas

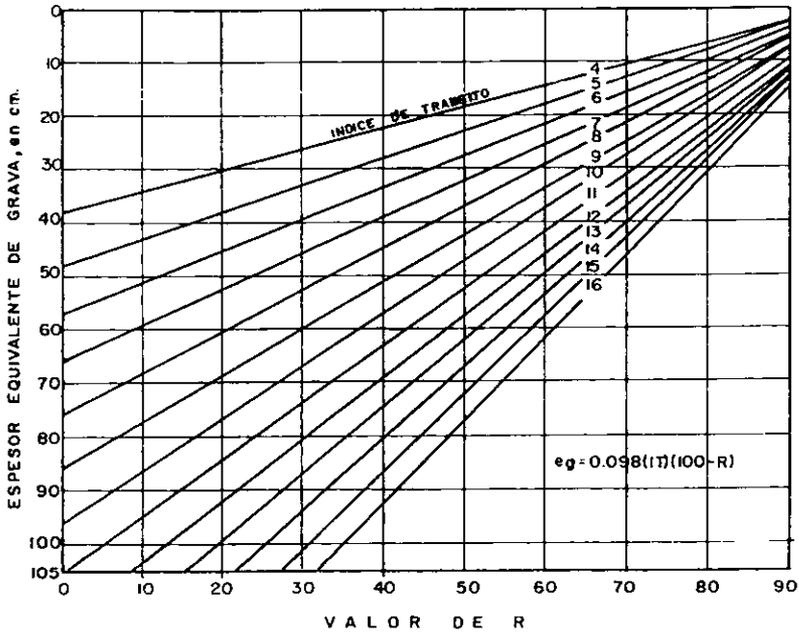


FIGURA 1-4-3a.- MONOGRAMA PARA EVITAR EL USO DE LA FORMULA, SEGUN HVEEN.

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

E. N. E. P. Acatlan.

Elaboró:

Lino Rafael Rodríguez Rojas

**II.- PRESENTACIÓN DEL MÉTODO
DEL CUERPO DE INGENIEROS
DE LOS E.U.A. (C.B.R.).**

CONTENIDO

- II.1.- INTRODUCCIÓN.
- II.2.- METODOLOGÍA DE LA PRUEBA DEL V.R.S.
- II.3.- ELECCIÓN DEL V.R.S. DE DISEÑO.
- II.4.- DESARROLLO DEL MÉTODO.
- II.4-1.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

II.1.- INTRODUCCIÓN.

El método del Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., para el diseño de pavimentos flexibles se basa en el concepto del V.R.S.

Entendiendo como V.R.S., la relación existente (expresada en porciento) entre la presión que se requiere para penetrar una pulgada en un material previamente adoptado como patrón y por lo general, siempre es una grava triturada.

Generalmente el V.R.S., disminuye conforme aumenta la penetración, pero puede suceder que aumente para la segunda pulgada, por lo que se usará el valor correspondiente a una penetración de dos pulgadas.

En la siguiente tabla, se muestran presiones que se tienen en el vástago para diferentes penetraciones en una grava triturada:

PENETRACIÓN		PRESIÓN	
cm	pulg.	kg/cm ²	lbs/pulg ²
0.25	0.1	70	1,000
0.50	0.2	105	1,500
0.75	0.3	133	1,900
1.00	0.4	161	2,300
1.25	0.5	182	2,600

Los valores del V.R.S., dependen básicamente de la textura del suelo, del contenido de agua y del peso específico seco.

II.1.- METODOLOGÍA DE LA PRUEBA DEL V.R.S.

La exactitud de la prueba en cuanto a su procedimiento, está en función del tipo de material, es decir, a la mezcla de finos y agregados, ésto hace necesario que el procedimiento se detalle paso a paso y en algunos casos determinar un valor promedio de resultados.

II.1-1.- EQUIPO.

El equipo usado en la preparación y ensaye de especímenes remoldeados, es el que sigue:

a) Molde cilíndrico de 15.2 cm. (6") de diámetro y altura de 17.8 cm. (7"), equipado con un collarín de extensión de 5.1 cm. (2") de altura y una placa de base perforada.

b) un disco separador de 15 cm. (5 15/16") de diámetro y 6.3 cm. (2.5") de altura, se usa durante la compactación.

c) Un compactador de 4.54 kg. (10 lbs) de peso y 5.1 cm. (2") de diámetro en la superficie de golpeo.

d) Vástago ajustable y placa perforada, trípode y micrómetro con aproximación de 0.0025 cm. (0.001") para medir la expansión del suelo.

e) Un anillo con peso de 2.27 kg. (5 lbs) y varias pesas de 2.27 kg. (5 lbs) de peso cada una, para ser utilizadas como sobrecarga durante la saturación y penetración del suelo.

f) Pistón de penetración de 4.0 cm. (1.92") de diámetro y una longitud aproximada de 10 cm. (4").

g) Máquina de prueba o gato de tornillo con su marco especial, para introducir el pistón en el espécimen a una velocidad de 0.127 cm/min (0.05 pulg. por minuto).

h) Equipo general de laboratorio, como charolas, espátulas, etc.

II.1-2.- PREPARACIÓN DE PROBETAS.

Los valores de V.R.S., es recomendable obtenerlos de especímenes de prueba que posean el mismo peso específico y contenido de agua, que se espera encontrar en campo, por esto se hace necesario sumergir los especímenes durante cuatro días. Lo que sigue es el procedimiento de prueba.

1° La muestra es secada hasta desmoronarse, al aire libre ó en un horno a 60° C, el material mayor de 3/4" es reemplazado por material cuyo tamaño esté comprendido entre la malla No. 4 y la de 3/4", el cuál será mezclado a la muestra.

2° El método de compactación, es una prueba dinámica tipo Proctor.

La compactación se hace en 5 capas iguales menores de 2.54 cm. (1") cada una, a cada una de las capas se le aplican 55 golpes a una altura de caída de aproximadamente de 45.8 cm (18") en el cilindro y sobre el disco espaciador, el cual ha sido colocado al fondo del cilindro.

Se recomienda que para lograr mayor precisión en los valores óptimos del suelo, se compacten cuatro o cinco especímenes con diferentes contenidos de agua y con diferente energía de compactación. Con estos valores se dibujan gráficas de contenidos de humedad contra pesos volumétricos secos.

3° Después de la compactación, las muestras son colocadas en moldes y sumergidas en agua durante cuatro días, sobre ellas se colocan unas pesas de 2.27 kg. (5 lbs) con el fin de producir una carga igual al peso de material del pavimento, tomándose medidas para determinar la expansión del suelo y al final se vuelven a tomar medidas de la expansión.

4° Es necesario tener especial cuidado de no alterar la superficie del espécimen durante la remoción del agua libre, cuando se ha retirado las pesas. El espécimen se pesa. Después de todo lo anterior se procede a la prueba de penetración.

II.1-3.- PRUEBA DE PENETRACIÓN.

El procedimiento es aplicable a las pruebas inalteradas, así como también a las pruebas de campo y/o muestras alteradas.

Para los fines de la prueba es necesario tomar lecturas de carga cuando la deformación está en los siguientes valores: 0.063, 0.127, 0.25, 0.51, 0.76, 1.02, y 1.27 y a una velocidad de penetración de 0.127 cm/min, en el pistón de carga igual a 4.54 kg.

Con estos valores y los de las lecturas, se dibuja una curva de esfuerzos-penetración, se corrigen los valores de presión para 0.25 y 0.51 cm. (0.1 y 0.2 pulg.) de penetración, a partir de los cuales serán obtenidos los valores de V.R.S., dividiendo estas presiones entre las estándar de 70 y 105 kg/cm² (1,000 y 1,500 lb/pulg²) respectivamente. Es muy usual seleccionar el V.R.S. para 0.25 cm (0.1") de penetración, cuando la condición es que éste sea mayor que el correspondiente a 0.51 cm. (0.2") de penetración.

II.1-4. - DATOS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA.

Los siguientes son los datos y resultados que la prueba tendrá que suministrarlos:

- 1°) Procedimiento de compactación.
- 2°) Esfuerzo de compactación.
- 3°) Contenido de humedad al fabricar el espécimen.
- 4°) Peso específico.
- 5°) Sobrecarga de saturación y de penetración (generalmente de 2.27 kg)
- 6°) Expansión de la muestra.
- 7°) Contenido de humedad después de la saturación.
- 8°) Contenido de humedad óptima y peso específico máximo.
- 9°) Curva presión-penetración. En la gráfica que muestra la figura II-1,1 es una típica de esta prueba o valores.

II.1-5.- PRUEBA DE CAMPO.

En lo correspondiente a la penetración, es el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Esta prueba se hace cuando el peso volumétrico en el lugar y el contenido de humedad ,sean tales que el grado de saturación sea de 80% o mayor, también cuando es de partículas gruesas y sin cohesión, de manera que no se vea afectado por los cambios de contenido de agua.

II-2.- ELECCIÓN DEL V.R.S. DE DISEÑO.

Generalmente la curva esfuerzo-deformación unitaria obtenida de la prueba de penetración tendrá la forma de una línea recta para penetraciones bajas; cuando la curva tienda a curvarse hacia abajo las penetraciones han sido mayores. Pero si, el pistón no es colocado perpendicularmente a la muestra, la curva será cóncava hacia arriba para bajas lecturas de penetración al iniciarse la prueba. Cuando ocurre esto, es necesario corregir la curva, desplazando el origen a la derecha. Estos valores de V.R.S., se conocen como valores corregidos.

En la figura II-2,2 se muestran los resultados obtenidos en una prueba para la determinación del V.R.S.

En la parte (a) de la figura, se muestran los resultados de la prueba de compactación realizada a los especímenes. Como se muestra, los suelos están compactados en energías de compactación decrecientes. La línea rayada muestra los intervalos de humedades y pesos específicos que deben exigirse en el campo, para un contenido de agua con el cual se trabajará en el campo, del 14 % a 18% y un peso específico seco comprendido entre 99 y 95% del máximo correspondiente a la energía de compactación I.

En la parte (b) se muestran los resultados típicos de una prueba de V.R.S. utilizando los mismos especímenes a los que se refiere la parte (a), se puede deducir, que el V.R.S. máximo se obtiene cuando la energía específica de compactación es mayor, pero también puede ser menor cuando el contenido de agua sea alto.

La parte (c) muestra las curvas que el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A. recomienda para elegir el V.R.S. de diseño de un caso particular dado.

Podemos concluir en ésta parte, que no siempre a mayor peso específico se tienen mayores valores de V.R.S. si no que este valor depende del contenido de agua del suelo.

Un ejemplo sería el relacionar la efectividad de las partes de la gráfica mostrada en la figura II-2,2. Si tomamos el 16% de humedad (en la parte (c) marcada con el número 16), en la parte (a) pueden obtener los tres pesos específicos que para éste caso correspondan a la humedad de 16%, con las diferentes energías de compactación usadas; en cambio en la parte (b) se obtienen los valores del V.R.S. corregido para ésta humedad (16%) y para las diferentes energías de compactación, con esto tenemos tres pesos específicos y tres valores V.R.S. de lo cuál son obtenidos de tres especímenes compactados con 16% de humedad. Así con éstos valores será ó es construida la parte (c) correspondiente a la curva 16, por todo ello ésta parte es la selección del V.R.S. del proyecto, por estar conjuntados todos los valores de la prueba.

Debido al carácter empírico de la prueba, la interpretación es difícil, por las condiciones de frontera como: las cinemáticas (paredes y fondo del molde) y las dinámicas (sobrecarga de las placas y presión del pistón) tiene consecuencia por la importancia que se le debe dar a la resistencia de los suelos, para el dimensionamiento del pavimento, ya que la prueba tiene como principal objetivo la deformabilidad del suelo.

Otra de las causas de dispersión de los resultados, son la diferencia de los resultados obtenidos por los distintos operarios, trabajando sobre el mismo suelo y con la misma técnica, una prueba de ello en los valores representados en la tabla siguiente:

MATERIAL	NUM. DE PRUEBAS	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
Subrasante	11	10	2
Sub-base	6	142	67
Base	6	172	85

Cómo se vera de éstos valores, es la exclusión de los errores hasta donde pudieron ser percibidos por el equipo de expertos.

II.3.- DESARROLLO DEL MÉTODO.

Este método de diseño es uno de los más utilizados en la actualidad, aunque adolece de ciertas desventajas por su mismo carácter empírico, que hace que el diseño se base puramente en correlaciones de datos obtenidos en campo.

Por otro lado, la simplicidad con la que se aplica el método es tal, que a pesar de sus desventajas es aceptado.

Este método es aplicable principalmente al dimensionamiento de pavimentos de aeropistas, lo cuál ya se habló en el capítulo anterior, así como también a carreteras, éste se desarrolló posteriormente al de aeropistas.

En este capítulo trataremos el aplicado a carreteras, ya que en el anterior capítulo se trató el aplicado a aeropistas.

Este método aplicado en combinación con el criterio de Mc. Leod para la homogeneización del tránsito en cuanto al tipo y mezcla del mismo.

Mc. Leod, sugiere el 100% del valor de diseño para 10^6 repeticiones de carga de diseño en 25 años y supone que un cubrimiento es exactamente soportado por el 25% del espesor total del proyecto.

De lo anterior y utilizando la gráfica de la figura II-2,3 que es la propuesta por el Cuerpo de Ingenieros y la gráfica de la figura II-3,1 que nos presenta la homogeneización del tránsito encontraremos el espesor del material requerido para que el pavimento resista precisamente 10^6 repeticiones de la carga. Puede ser utilizado el valor de la carga equivalente.

En este sistema es aceptado que la carga equivalente, al cual ha de reducirse el tránsito variado, de diferente peso y tipo sea de 2.27 ton. (5,000 lbs) lo cuál producirá el mismo efecto.

Utilizando las curvas de la figura II-2,3 y con un V.R.S en estudio (para efecto se supuso de 8% en la construcción de la figura II-3,1) se encuentran los espesores totales para las diferentes cargas de rueda mostradas en la figura. Posteriormente se anotan en la figura II-3,1 como ordenadas y abcisa 10^6 repeticiones.

Los valores para encontrar el espesor del pavimento para la carga de 2.27 ton. (5,000 lbs) que es la equivalente, la cuál es representada en la figura II-3,1 se obtuvieron de una interpolación a ojo entre las curvas de valor de 2.75 ton. (6,000 lbs) y 1.80 ton. (4,000 lbs) mostradas en la figura II-2,3.

II.3-1.- FORMA DE UTILIZAR LAS GRÁFICAS DE DISEÑO.

En primer lugar se debe de fijar un punto que represente la condición de diseño, punto A de la figura II-3,1 que es el que representa y corresponde a 10^6 repeticiones de carga de 2.7 ton. pero sin embargo se puede escoger otra condición de diseño, pero si esto pasara ya no serian validas las curvas de la figura II-2,3 , ya que estas están calculadas para soportar 10^6 repeticiones de carga.

Por éste punto se traza una línea horizontal, de tal manera que corte a las rectas cuyo valor de carga es mostrado en la figura. Con esto vemos que los cruces de la línea con las rectas representan la condición del terreno, ejemplo de esto es el mostrado en la figura II-3,1 que se ve que 20,000 repeticiones de carga de 4 ton. son equivalentes a las condiciones de diseño.

Con lo anterior y al dividir 1.000,000 de repeticiones de carga, entre el número de repeticiones de cada una de las cargas que producirán el mismo efecto que la condición de diseño, encontraremos los factores de equivalencia para las diversas cargas de tránsito, que serán afectados al número de vehículos de ese tipo que han de transitar diariamente por el pavimento en diseño (promedio diario anual). Así la suma total dará el Número Diario de repeticiones de carga de la rueda de 2.27 ton. (5,000 lbs) que son la equivalencia como ya se dijo, al tránsito esperado en cuanto a sus efectos destructivos sobre el pavimento.

II.3-2.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Una de las ventajas es la sencillez de las pruebas de proyecto, pero tiene en contra lo empirismo de la prueba, ya entonces el proyecto se basa únicamente en conclusiones.

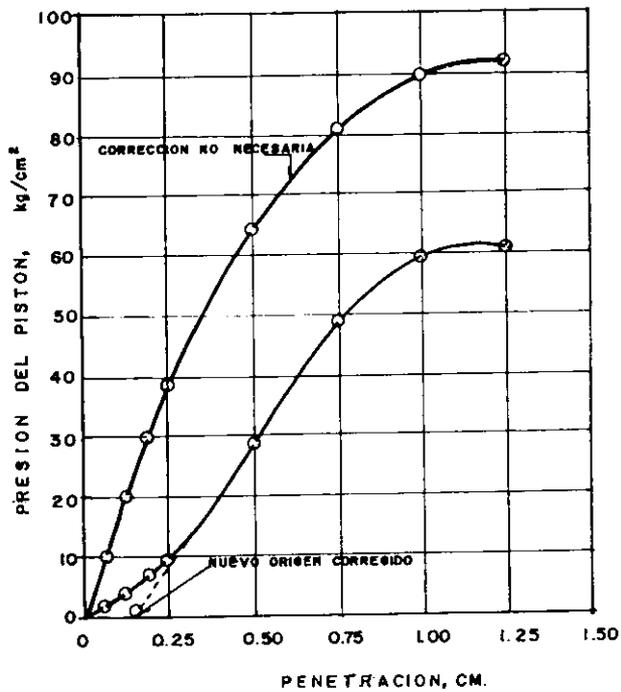


FIGURA II-1,1. Gráfica Presión-Penetración
 en una prueba de VRS.
 (Típica)

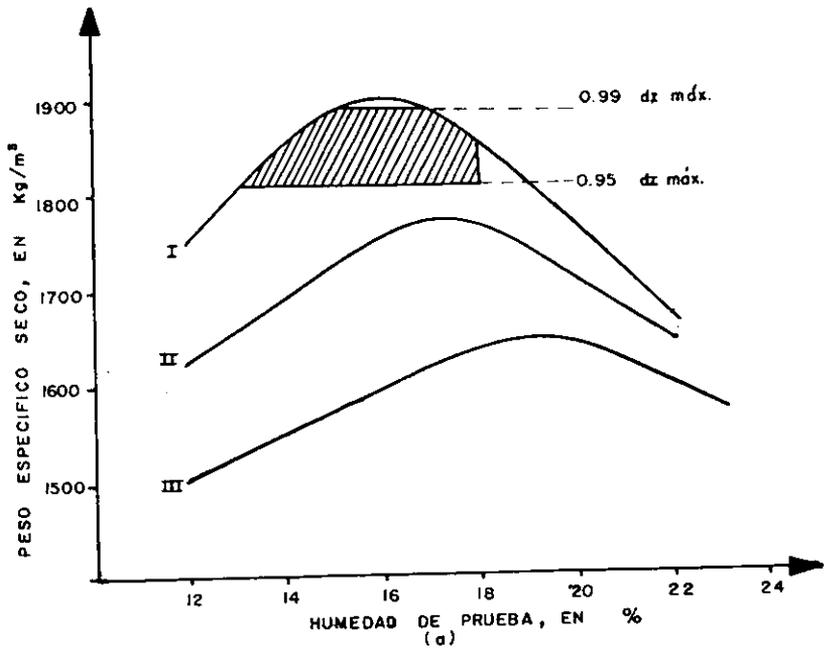
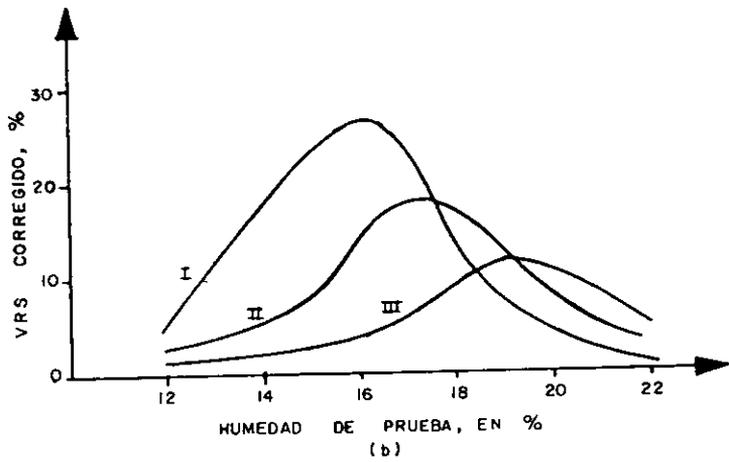


FIGURA II-2,2 ELECCION DEL VRS DE DISEÑO

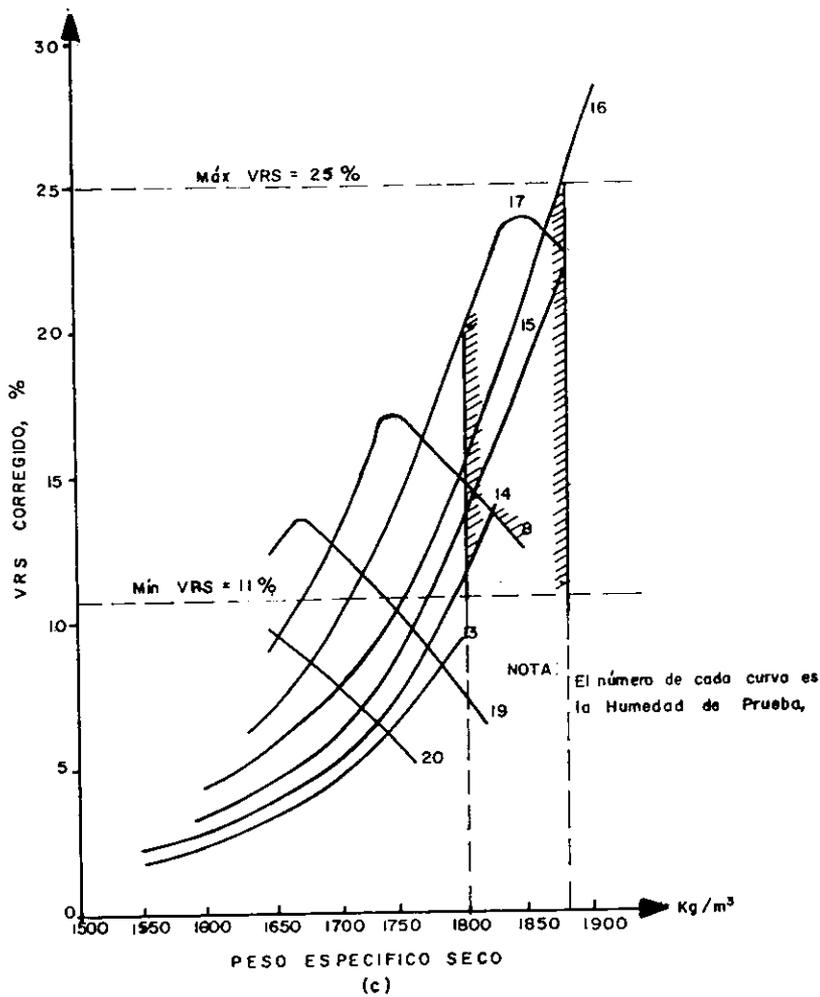


FIGURA II-2, 2.- ELECCION DEL VRS DE DISEÑO

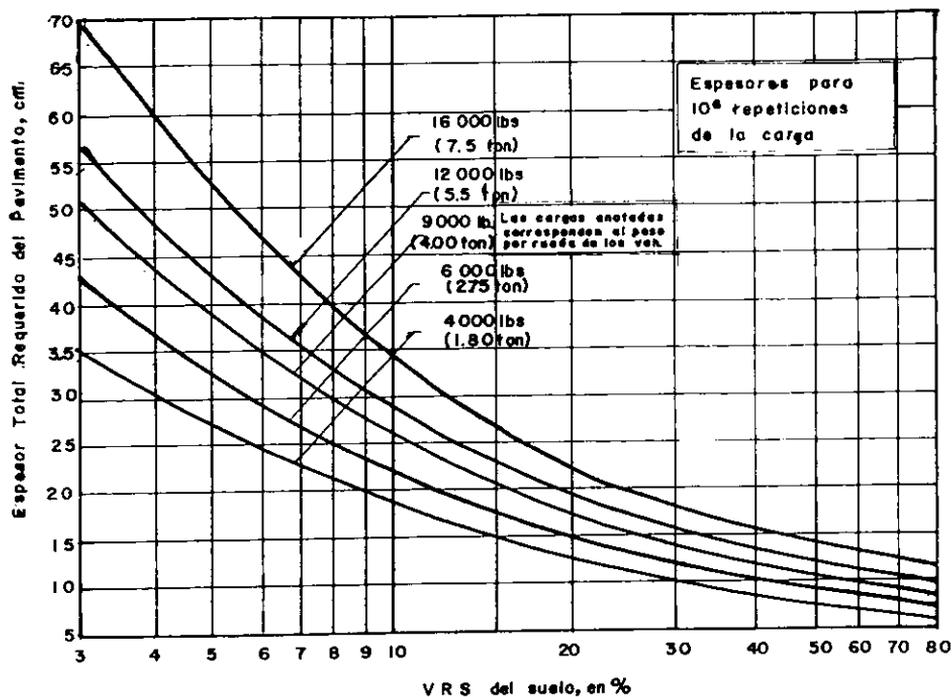


FIGURA II-2,3. Espesores del Pavimento en Carreteras en Función del VRS de los Suelos, según el CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A.

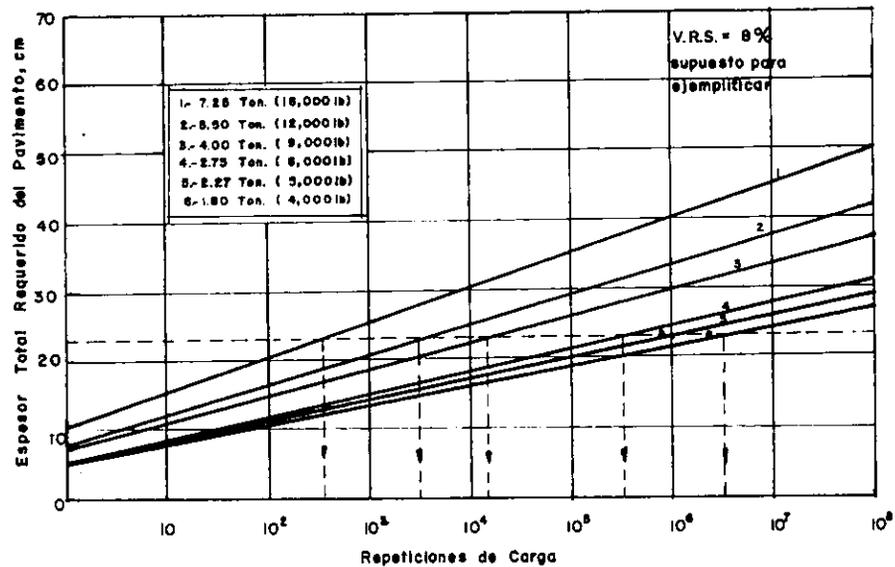


FIGURA. II-3,1. Homogeneización del Tránsito, en la aplicación del Método del V.R.S. a Carreteras según el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A.

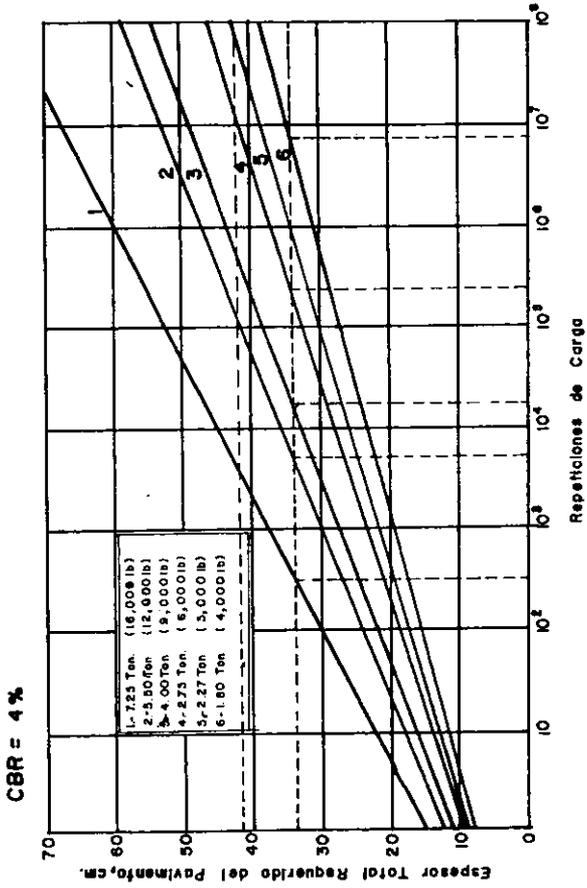


FIGURA II-3, 1a.

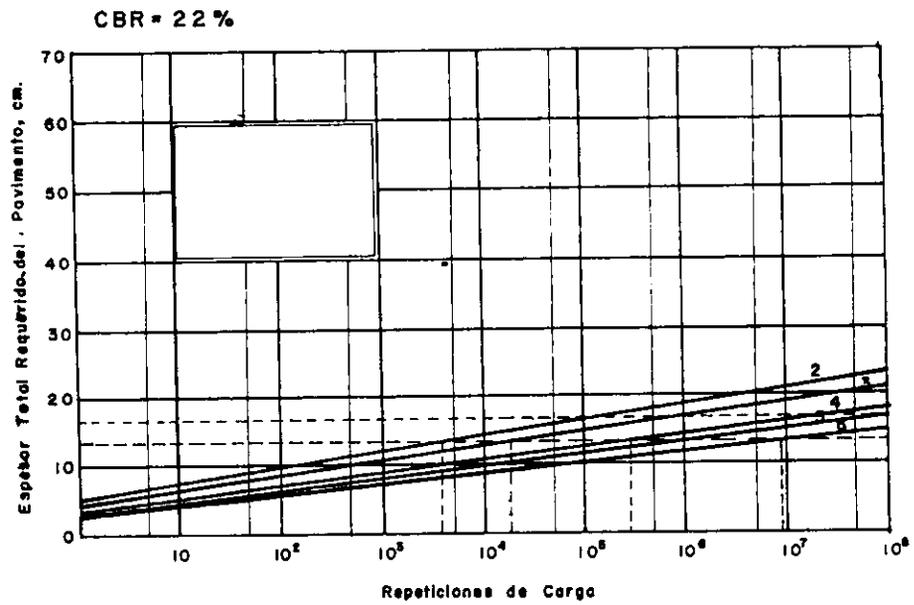


FIGURA II-3,lb.

**III.- PRESENTACIÓN DEL MÉTODO
DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA
DE LA U.N.A.M.**

CONTENIDO

III.1.- ANTECEDENTES.

III.2.- VARIABLES DE DISEÑO.

III.3.- CRITERIOS DE FALLA.

III.4.- METODOLOGÍA DE DISEÑO.

III.5.- PRESENTACIÓN Y EXPLICACIÓN DE LAS
GRÁFICAS.

III.1.- ANTECEDENTES.

Debido al auge y la necesidad en la construcción y conservación de las carreteras en México, el Gobierno a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, decide iniciar el patrocinio conjuntamente con el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., a los trabajos que lleven a encontrar mejores métodos de diseño para carreteras de bajo volumen de tránsito. Así es, como en el año de 1962 se inician dichos estudios incluyendo tres aspectos fundamentales:

- 1) La investigación del comportamiento de tres caminos fundamentales localizados en dos carreteras federales.
- 2) El estudio del comportamiento de carreteras, representativas de la Red Nacional.
- 3) Investigación sobre el comportamiento de los pavimentos, bajo diferentes condiciones en cuanto a propiedades mecánicas en la pista circular del propio Instituto.

Estos aspectos han llevado a que se obtengan mejores métodos de diseño, con una precisión aceptable para los fines de las carreteras y la construcción más económica de las mismas.

De aquí, se concluyen los aspectos básicos de la investigación:

- a) La necesidad de encontrar los parámetros de diseño más importantes, que permitan un buen desempeño del pavimento.
- b) La tecnificación para encontrar los métodos de prueba aplicables para el diseño de los pavimentos, teniéndose una correlación de los materiales y condiciones empleadas en la construcción.

c) Establecer modelos que permitan predecir el comportamiento de los pavimentos.

d) Establecer el grado de influencia del espesor y la calidad de la capa subrasante en el comportamiento del pavimento.

Al iniciarse la observación en los tres tramos experimentales construidos especialmente en las diferentes zonas climáticas del país (el tramo 1, corresponde a una zona de clima tropical y los tramos 2 y 3, se encuentran uno a continuación del otro localizados en una zona de clima estepario-frío). Se encontró que estos tramos construidos en 80 secciones cuyos espesores varían de 0 a 50 cm. y de una longitud de 30 m. con un ancho de un carril; se conservan en buen estado con calificaciones mayores de 2.5 siguiendo el criterio AASHO. Como generalmente el deterioro de las carreteras crece linealmente con el logaritmo del número acumulado de cargas equivalentes soportadas, se deduce que el comportamiento es significativo, ya que se ha presentado la mayor parte del daño estructural esperado en la vida del proyecto.

Respecto a los pavimentos representativos en la red nacional; se analizan 96 secciones de 500 m. de longitud y el ancho de un carril y comprende la evaluación del comportamiento real de pavimentos construidos con métodos ó técnicas normales; así como las condiciones climáticas del lugar, tránsito, la calidad de la subrasante, resistencia estructural de sus capas y años de servicio.

Y por último, la investigación del comportamiento del pavimento en la pista circular cuyo objetivo es ensayar hasta la falla, las diferentes estructuras de la carretera (6 anillos de 3 capas cada uno y en diferentes condiciones de humedad, compactación y carga) lo cual trae consigo poder generalizar algunas conclusiones obtenidas con los anteriores aspectos fundamentales.

Así se puede decir que las variables reproducidas en la pista son:

- 1.- Estructurales.
- 2.- De carga.
- 3.- De clima y condiciones regionales.

III.2.- VARIABLES DE DISEÑO.

Como ya se mencionó anteriormente, éstas variables se clasifican en tres categorías:

- 1.- Estructurales.
- 2.- De carga.
- 3.- De clima y condiciones regionales.

III.2-1.- VARIABLES ESTRUCTURALES.

Incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen la carretera, como son: espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

Como base para encontrar los valores anteriores, el Instituto utiliza el Valor Relativo de Soporte y las pruebas con Dinaflect, ya que son indicadores aplicados muy a menudo en nuestro medio por la experiencia que se tiene de éstos métodos.

En la actualidad, el procedimiento más utilizado para evaluar el V.R.S. es el desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., ya descrito en el capítulo anterior.

III.2.2.- VARIABLES DE CARGA.

Se refieren a los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera.

En éste caso, son importantes datos para la obtención de éstas, variables tales como:

- a) Tránsito medio diario anual.
- b) Tasa de crecimiento anual.
- c) Cargas por el eje sencillo ó tándem.
- d) Distribución del tránsito en la sección transversal del camino, por medio del histograma valuado.

e) Vida de proyecto del pavimento, antes que la carretera requiera una reconstrucción, en cuyo caso debe definirse el criterio de falla.

Simplificando éstos datos, el tránsito mezclado se transformó en tránsito equivalente en ejes sencillos mediante el empleo de factores teóricos ó empíricos que dan como resultado el de 8.2 toneladas.

III.2.3.- VARIABLES DE CLIMA Y CONDICIONES REGIONALES.

Los materiales que constituyen la carretera, dependen de la temperatura a la que estarán expuestos, el régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel freático de la terracería que soportará las capas del pavimento, geología de los materiales y topografía de la región.

De lo anterior y las tres variables, se definirá el comportamiento como una medida de capacidad de servicio del camino en base a que un pavimento adecuado es el que llega a la falla funcional al término de la vida de proyecto.

En México, se utilizan las gráficas del sistema Koppen-Geiger que clasifica los climas en tres zonas a la República Mexicana, ver figura III-2, 1.

III.3.- CRITERIOS DE FALLA.

Se llevan estudios en todas partes del mundo para tratar de evaluar la vida útil del pavimento y se ha llegado a la conclusión que los conceptos de clasificación e índice de servicio junto con el comportamiento del pavimento, constituyen los índices para determinar las fallas en estos.

Estas fallas se pueden considerar como sigue:

- 1.- Falla funcional.
- 2.- Falla estructural.

III.3-1.- FALLA FUNCIONAL.

Consiste en deficiencias superficiales del pavimento. En México y en los tramos experimentales se emplea el concepto AASHO, para tratar de definir en que consiste ésta falla. Y estandarizar criterios para el mantenimiento de la superficie de rodamiento.

La calificación de la falla se basa exclusivamente en la apreciación personal del usuario del camino, respecto a la facilidad que ofrece la carretera para ser recorrida en forma cómoda y es numéricamente igual al índice de servicio.

Este índice de servicio se ha obtenido por medio de mediciones de equipos tales como: el rugómetro, el perfilómetro, etc., que registran y acumulan los defectos de la superficie de rodamiento y el cual está dado en una escala de 0 - 5 de acuerdo a la siguiente tabla

CALIFICACIÓN O ÍNDICE DE SERVICIO	ESTADO DEL PAVIMENTO
0 - 1	Muy mal
1 - 2	Malo
2 - 3	Regular
3 - 4	Bueno
4 - 5	Excelente

Ya que el índice de servicio o calificación actual, se refieren únicamente a las condiciones de la superficie de rodamiento para proporcionar un tránsito cómodo a los usuarios, intervienen aspectos muy importantes tales como:

- a) Las ondulaciones longitudinales.
- b) Las deformaciones transversales.
- c) La textura de la superficie.
- d) El porcentaje de baches y áreas reparadas.

III.3-2.- FALLA ESTRUCTURAL.

Implica la incapacidad del pavimento para resistir los efectos de las cargas aplicadas.

Tomando en cuenta que no sólo la calificación ó índice de servicio actual entran en la conservación ó diseño del pavimento, es importante considerar la capacidad estructural del pavimento; siendo ésta el factor más importante para interpretar la calificación del pavimento respecto al tiempo o al número de repeticiones de carga por eje equivalente de los diferentes tipos de vehículos que soportará tomadas con intervalos de tiempo.

Además se dice que la calificación de aceptación es cuando más de la mitad de los usuarios de la carretera consideran que se encuentra en condiciones adecuadas de servicio y la calificación de rechazo es aquella considerada por menos de la mitad de los usuarios.

En México se ha tomado como punto de aceptación a las carreteras con clasificación de 2.5 ó mayor, siendo la media el 2.5.

Para fines de interpretación ó para establecer normas de diseño y conservación, es necesario recurrir a un índice que represente el servicio prestado hasta la fecha en que se requiere una reconstrucción, dicho índice, es el índice de comportamiento, el cual se define como el logaritmo del número de repeticiones de carga equivalente de 8.2 ton., por eje sencillo, dicho valor se expresa de la manera siguiente:

$$I. C. = \log \Sigma L$$

Este valor reduce el índice de servicio inicial hasta el nivel de rechazo.

Para los fines de los estudios del Instituto en los tramos de prueba y en la red de carreteras se empleó el concepto AASHO, encontrándose que el factor más significativo es la variación de la pendiente longitudinal del camino.

En la pista circular, debido a la uniformidad de la construcción y al tránsito canalizado se ha encontrado que el factor que tiene mayor significado para medir el daño, es la deformación permanente en la superficie, por tanto, para definir la falla se utilizó el criterio que establece una deformación máxima tolerable que la práctica inglesa ha considerado que el nivel de rechazo corresponde a una deformación permanente de 2.5 cm.

Con lo anterior se estableció la siguiente fórmula, para la transformación de deformaciones a calificaciones de índice de servicio.

$$P = 5.0 - 4.5 \log (1 + \Delta 20 \%)$$

En donde:

$P =$ Índice de servicio actual (escala 0 -5)

$\Delta 20\% =$ Deformación permanente mínima en 20% de la longitud más dañada del modelo y la superficie pavimentada.

La correlación establecida de los datos encontrados en los tramos de prueba y pista circular aparentemente tienen capacidad adecuada para pasar de deformaciones permanentes en 20% de la longitud, a calificaciones o índices de servicios basados en valores medios de las estimaciones de variancia de la pendiente, deformación permanente, agrietamiento y textura.

III.4.- METODOLOGÍA DE DISEÑO.

Este método establece que el pavimento se analice en su totalidad estructural, es decir, se habla de un diseño estructural de carreteras con pavimento flexible ya que se parte de que todas las capas, desde la Terracería hasta la Carpeta Asfáltica tienen su función específica y que debe resistir lo necesario hasta llegar a la falla funcional cuando ha soportado el número acumulado de aplicaciones de carga equivalente (ΣL) especificadas para la vida de proyecto.

También supone que si la resistencia relativa no es uniforme en las diferentes capas de la estructura, la capa de la resistencia mínima determinará la vida de servicio de la carretera.

La teoría de Boussinesq es aplicada para determinar la distribución de los esfuerzos a que estarán sometidas cada una de las capas de la sección estructural deducida para una placa estática circular flexible, apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico homogéneo e isótropo; en el caso particular de una estructura de capas múltiples y resistencia relativa uniforme sujeta a cargas repetidas de un eje sencillo equivalente, cuyo peso estático es de 8.2 ton. (18 KIP) y que tiene un coeficiente de impacto de uno constante.

Además supone que el valor relativo de soporte (V.R.S.) es indicador de la capacidad de carga del sistema de capas que forma la estructura del pavimento.

Establece que hay, una relación lineal entre el logaritmo de la resistencia (V.R.S.) requerida y el logaritmo del número de aplicaciones equivalentes (ΣL) de carga soportadas a la falla.

Para el diseño del pavimento se hace necesario seguir con la siguiente secuencia:

1.- Evaluación del volumen de tránsito real mezclado.

- a) Tránsito diario promedio anual.
- b) Clasificación del tránsito por tipo de vehículo.
- c) Porcentaje de vehículos cargados ó vacíos.
- d) Tasa de crecimiento anual y precio de diseño.

2.- Determinación del coeficiente de distribución, para el carril de diseño (proyecto) en porcentaje, para lo cual se recomienda utilizar la siguiente tabla:

No. DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO
2	50
4	40 - 50
6 o más	30 - 40

3.- Se calculará el tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton. por eje, presión de inflado de 5.8 kg/cm² y radio del área para eje sencillo de 15 cm. ver fig. III.A-4; en esta gráfica se observa:

En la columna 1, se muestra el tipo de vehículo.

En la columna 2, se muestra el número de Vehículos como un tránsito promedio anual.

En la columna 3, se tiene el Coeficiente de distribución de tránsito para el carril de diseño.

En la columna 4, se muestra el número de Vehículos en el carril de Proyecto, estos valores se obtienen al multiplicar la columna 2 por la columna 3.

En la columna 5, se muestran los coeficientes de vehículos cargados (c) ó vacíos (v) obtenidos por aforo.

En la columna 6, se muestra el número de Vehículos cargados (c) ó vacíos (v) que transitan por el carril de diseño, obteniéndose al multiplicar la columna 4 por la columna 5.

En la columna 7, se tienen los Coeficientes de daño por tránsito para profundidades de $Z= 0$ y $Z= 15$ cm., los cuales son obtenidos por el tipo de la red nacional, como resultados constantes.

En la columna 8, se muestra el número de ejes equivalentes de 8.2 ton., para $Z= 0$ y $Z= 15$ cm., obteniéndose de la multiplicación de la columna 7 y 6.

4.- Con lo anterior se obtiene el tránsito equivalente inicial para las diferentes profundidades, que en este caso son $Z= 0$ y $Z= 15$ cm. (T_0 y T_0' respectivamente) sumándose todos los valores de la columna 8.

5.- Se obtiene el Coeficiente de acumulación del tránsito (c) de la figura III.A-3

6.- Se obtiene el tránsito acumulado relacionado con las diferentes profundidades: $Z= 0$, $Z= 15$, $Z= 22.5$ y $Z= 30$ cm.

$$\Sigma L_n = C \text{ To} \quad \text{para } Z = 0$$

$$\Sigma L_n = C \text{ To}' \quad \text{para } Z = 15$$

$$\Sigma L_n = C \text{ To}'' \quad \text{para } Z = 22.5$$

$$\Sigma L_n = C \text{ To}''' \quad \text{para } Z = 30.0$$

7.- Se obtiene el valor relativo de soporte V.R.S.

En este caso se emplea el valor relativo de soporte crítico de cada una de las capas, mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$VRSc = VRS (1 - CV)$$

En donde :

VRSc = Valor relativo de soporte crítico esperado en el campo, para cada capa a la profundidad Z.

VRS = Valor del VRS promedio del material de cada capa a la profundidad Z.

C = Factor que depende del nivel de confianza establecido.

V = Coeficiente de variación de los valores de prueba del valor relativo de soporte (VRS).

8.- Con los datos anteriores y dependiendo de la importancia de la carretera se usaran las gráficas de las figuras correspondientes.

Trazándose la curva correspondiente al número de ejes de tránsito acumulado para las diferentes profundidades (Z) a la cual se le encontraron los valores relativos de soporte críticos (VRSz).

9.- Con esta curva y los valores relativos de soporte crítico (VRSc) de cada una de las capas se determinan los espesores necesarios del pavimento de la siguiente manera.

a) Se localiza el VRSz crítico de la capa inferior (terracería) y se traza una vertical hasta cortar la curva de igual resistencia (q) (punto crítico) y se proyecta hacia las ordenadas, obteniéndose de esta manera el espesor total.

b) De igual manera el VRSz crítico de la capa subrasante se localiza y se traza una vertical hasta cortar la curva, proyectándose este punto hasta las ordenadas y se obtendrá un espesor parcial para la sub-base.

c) De la misma forma que en los anteriores se encuentra el espesor de la sub-base.

La diferencia entre este espesor y el del punto (b), será el espesor de la subrasante.

d) Para encontrar el espesor de la base se obtendrá restando el espesor de la subrasante más la sub-base al espesor total encontrado de acuerdo al punto (a).

III.5.- USO DE LAS GRÁFICAS.

Todas las gráficas presentadas, son las que comúnmente se utilizan en los casos de revisión ó diseño de los pavimentos por el método del Instituto., las cuales se explican y se da una introducción para su uso:

1.- Figura A-1.- se obtienen los coeficientes de daño por tránsito con relación al eje sencillo equivalente 8.2 Ton. y presión de inflado ($P = 5.8 \text{ kg/cm}^2$) con un radio de área de carga de $a = 15 \text{ cm}$.

Para la elaboración de esta gráfica se han tomado en consideración los esfuerzos verticales según la teoría de Boussinesq y el concepto de capacidad de carga para suelos cohesivos deducida para una placa estática circular y apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico, homogéneo e isótropo, según datos obtenidos en los tramos de prueba y en la propia pista circular del Instituto.

2.- Figura A-2.- se presentan en una forma resumida los Coeficientes de daño por tránsito, para Vehículos típicos cargados o vacíos, en diferentes profundidades en el pavimento y diferentes características.

3.- Figura A-3.- esta gráfica se emplea para determinar el Coeficiente de acumulación de tránsito, en la cual intervienen los datos siguientes:

- a) Tasa de crecimiento anual (r) en %.
- b) Vida de Proyecto (n) en años.

Se obtiene graficando los valores de la vida de Proyecto respecto al coeficiente de acumulación del tránsito, utilizando la siguiente formula:

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

En donde.

C = Coeficiente de acumulación del tránsito para “n” años de servicio y una tasa de crecimiento anual “r”.

n y j = Número de años, considerados para la vida de proyecto.

r = Tasa en % de crecimiento anual.

4.- Figura A-4.- Esta tabla se llena con los datos que arrojan las gráficas ya descritas en el punto III.4-1.

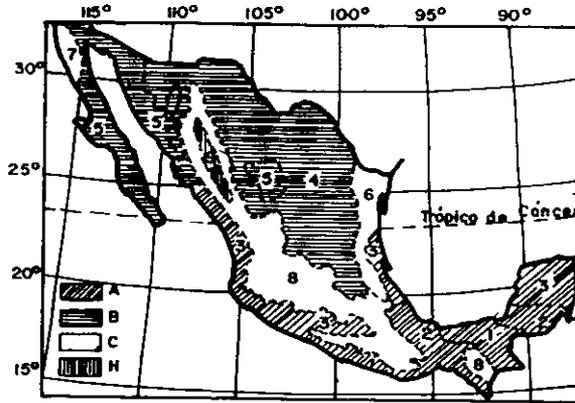
5.- Figura A-5.- Esta gráfica se utiliza para encontrar los espesores de diseño para pavimentos flexibles en carreteras de gran importancia que llegan a alcanzar un nivel de rechazo de 2.5 bajo condiciones normales de operación.

6.- Figura A-6.- Esta gráfica es una simplificación de la gráfica de la figura A-5 y es la que más se usa.

7.- Figura A-7.- Esta gráfica se utiliza para encontrar los espesores de diseño para pavimentos flexibles de carreteras cuyo nivel de rechazo sea de 20 - 25 , utilizado en caminos secundarios en condiciones favorables.

8.- Figura A-8.- Esta gráfica es una simplificación de la gráfica de la figura A-7, obtenida por los datos de los tramos de prueba y pista circular.

Las gráficas A-5, A-7 y A-8, se han elaborado por la correlación de datos.



CLIMAS			
A	TROPICAL	Afa	1 Ecuatorial, tipo amazónico caluroso regular.
		Ama	2 Subecuatorial, tipo sudanés caluroso regular.
		Awa	3 Tropical, tipo senegalés variaciones térmicas.
B	SECO	BSk	4 Estepario, tipo senegalés o sirio. Caluroso o templado medio, oscilaciones térmicas.
		BWh	5 Desértico, tipo sahariano extremo.
C	SUB TROPICAL	Cfa	6 Subtropical mediterráneo con influencia de monson chino, caluroso medio, oscilaciones térmicas notables.
		Csb	7 Mediterráneo, tipo portugués templado medio, veranos secos y calientes.
		Cwh	8 Subtropical de altura, tipo mexicano. Templado regular.
H	DE MONTAÑA	H	9 De montaña, extremo tipo alpino.

PRIMERA LETRA

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

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

B— Climas secos. Fronteras determinadas mediante las gráficas T-R.

C— Climas templado-calurosos. Temperatura media del mes más frío entre 10°C y 3°C.

D— Climas de nieve. Temperatura media del mes más caluroso mayor de 10°C; del mes más frío menor de -3°C.

E— Climas polares. Temperatura media del mes más caluroso menor de 10°C.

SEGUNDA LETRA

S— Clima estepario. †

W— Clima desértico. †

f— Suficiente precipitación todos los meses.

m— Clima de selva, a pesar de una estación seca.

s— Tiempo seco en verano.

w— Tiempo seco en invierno.

† Fronteras determinadas por gráficas T-R. Solo se usa en combinación con la primera letra B.

TERCERA LETRA

a— Temperatura media del mes más caluroso, + de 22°C.

b— Temperatura media del mes más caluroso, - de 22°C.

c— Menos de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C.

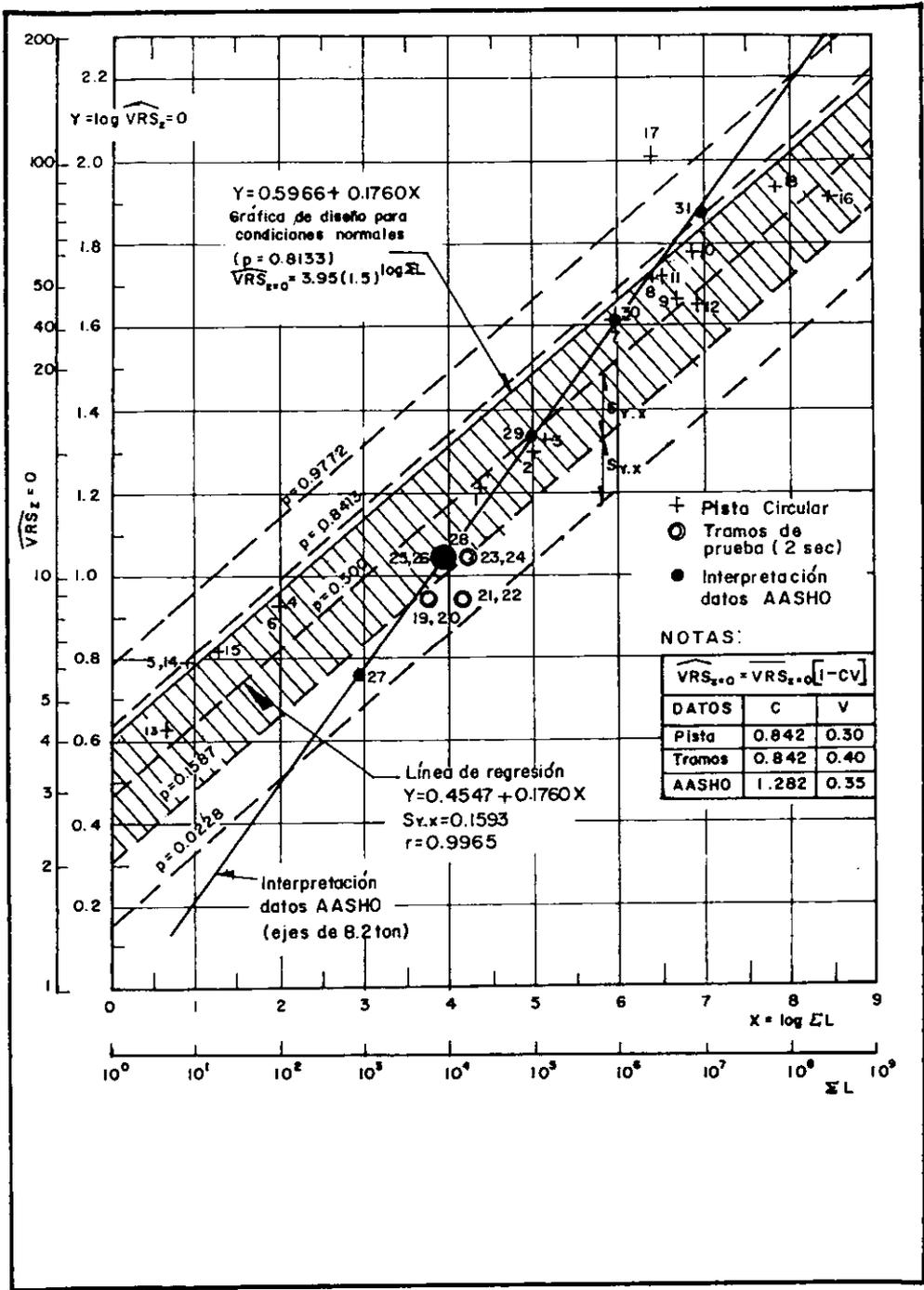
d— Igual que c, pero la media del mes más frío menor de -3°C.

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

k— Seco y frío. Temperatura media anual menor de 18°C.

H— Clima de montaña. Extremo, tipo alpino.

FIGURA 3-2, 1.- Clasificación de Climas.



$\bar{\sigma}_z =$ ESFUERZO VERTICAL, Kg/cm² p = PRESION DE INFLADO Kg/cm²

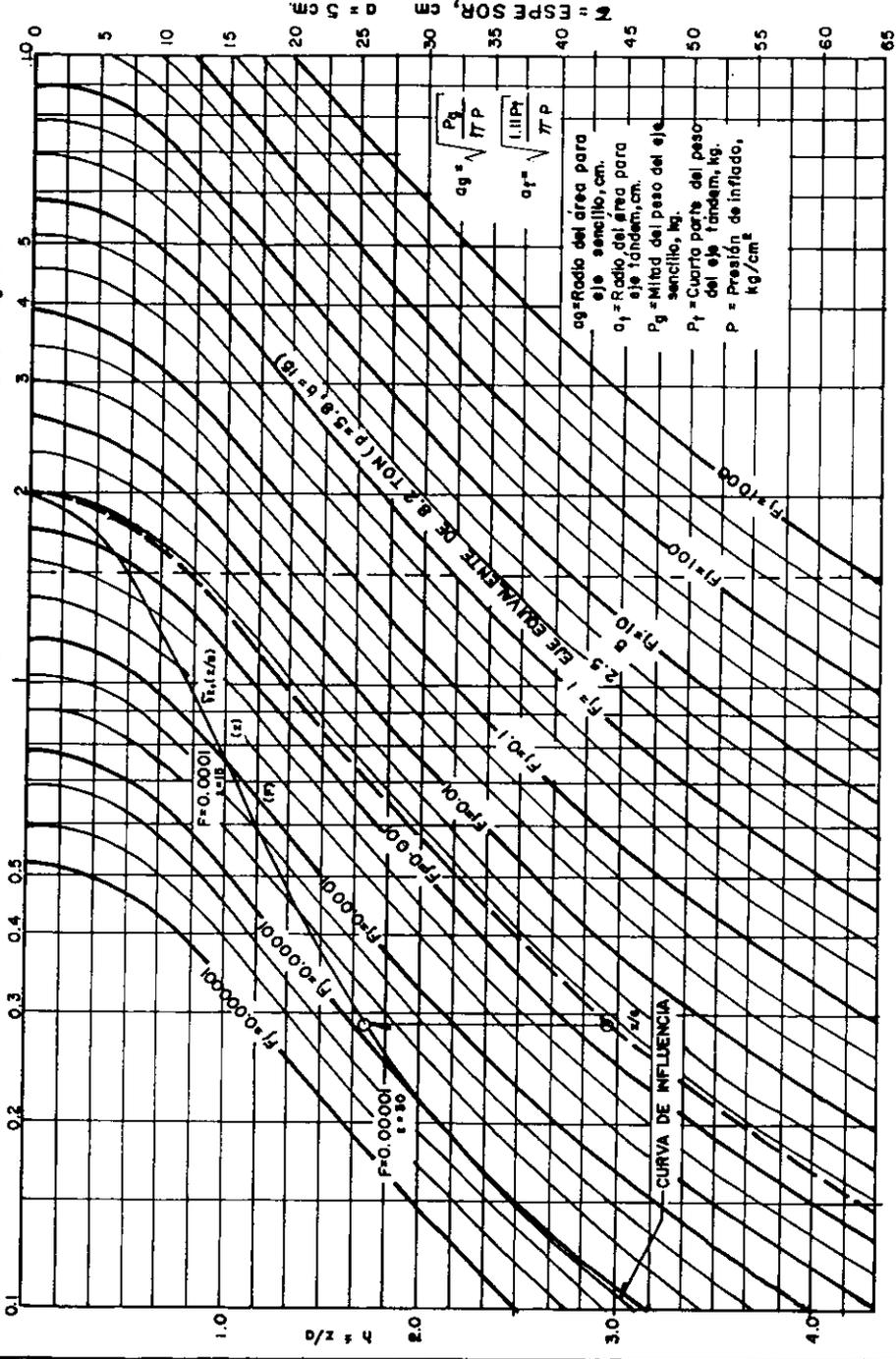


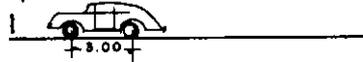
FIGURA A - 1

NOTA:

Kv = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío.

Kc = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado.

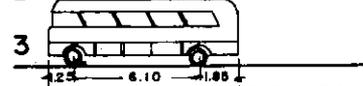
Ap



Ac



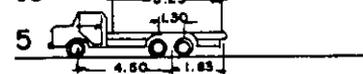
B



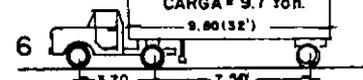
C2



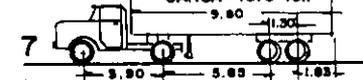
C3



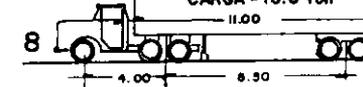
T2-S1



T2-S2



T3-S2



Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	1.0	0.8
2	1.0	0.8
3	2.0	1.6

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	1.6	1.2
2	3.5	1.2
3	4.9	2.4

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	4.2	3.0
2	8.3	7.0
3	12.5	10.0

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	2.5	1.8
2	6.8	2.7
3	9.3	4.2

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	2.6	1.7
2	14.0	5.2
3	16.6	6.9

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	3.0	2.5
2	8.0	3.6
3	7.8	3.0
4	16.8	9.1

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	4.0	3.5
2	8.5	4.0
3	12.1	3.8
4	24.6	11.3

Eje	Características	
	Peso, ton.	P ₀ Cargado/Veículo kg/cm ²
1	3.9	3.8
2	13.0	5.4
3	13.0	5.0
4	29.9	13.9

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.17	0.002	0.001	0.000
0.17	0.040	0.010	0.010
0.34	0.042	0.011	0.010

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.180	0.080	0.080
1.0	1.000	1.020	1.030
2.0	1.130	1.100	1.100

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.44	0.025	0.008	0.002
0.44	0.440	0.440	0.440
0.88	0.465	0.446	0.442

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.44	0.025	0.008	0.003
0.44	0.650	0.650	0.650
0.88	0.675	0.656	0.655

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.900	0.900	0.900
1.0	0.900	0.900	0.900
3.0	1.740	1.715	1.707

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.120	0.060	0.030
1.0	1.000	1.020	1.030
2.0	0.480	0.400	0.400
4.0	1.370	1.480	1.480

Coeficientes de Dife			
Cargado, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.100	0.050	0.025
2.0	0.600	0.300	0.300
2.0	0.900	0.800	0.300
3.0	1.300	1.050	1.025

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.17	0.001	0.000	0.000
0.17	0.000	0.000	0.000
0.34	0.001	0.000	0.000

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.800	0.800	0.800
2.0	0.840	0.815	0.807

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.44	0.002	0.000	0.000
0.44	0.025	0.008	0.003
0.88	0.027	0.008	0.003

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.040	0.010	0.006
0.88	0.044	0.011	0.006

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.020	0.005	0.002
1.0	0.880	0.860	0.850
1.0	0.040	0.015	0.007
3.0	0.140	0.081	0.029

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.120	0.060	0.030
2.0	0.010	0.002	0.001
4.0	0.210	0.092	0.081

Coeficientes de Dife			
Veículo, F			
z=0	z=15	z=22.5	z=30
1.0	0.080	0.030	0.020
2.0	0.040	0.015	0.007
2.0	0.030	0.010	0.005
3.0	0.150	0.055	0.032

FIGURA A-2

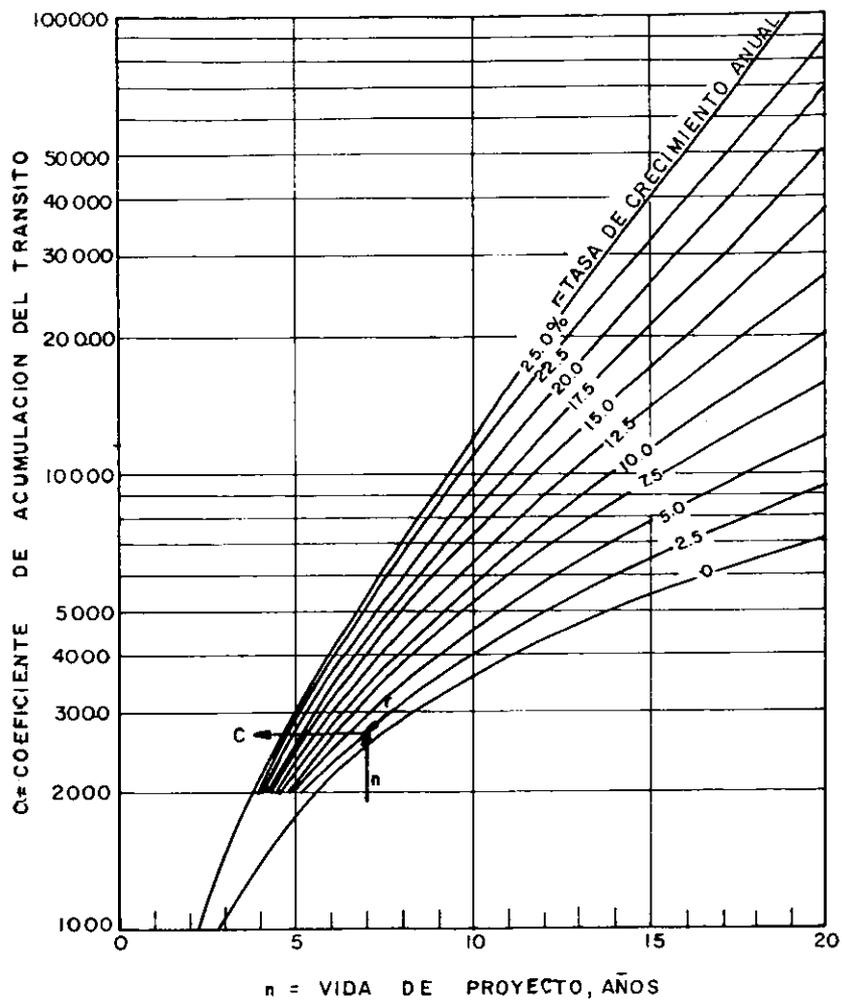
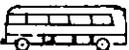
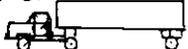
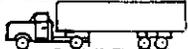


FIGURA A-3

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículo cargado o vacío	Número de vehículos cargados o vacíos por carril N_c, N_v	Coeficiente de daño por tránsito F, F'		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, $NF, N'F'$	
						$z = 0$ cm.	$z = 15$ cm.	$z = 0$ cm.	$z = 15$ cm.
Ap 				C=		0.005	0		
				V=		0.005	0		
Ac 				C=		0.34	0.042		
				V=		0.34	0.001		
B 				C=		2.0	1.150		
				V=		2.0	0.640		
C2 				C=		0.88	0.465		
				V=		0.88	0.027		
C3 				C=		0.88	0.675		
				V=		0.88	0.044		
T2-S1 				C=		3.0	1.740		
				V=		3.0	0.140		
T2-S2 				C=		4.0	1.570		
				V=		4.0	0.210		
T3-S2 				C=		5.0	1.300		
				V=		5.0	0.150		
Total						T_0, T_0' Tránsito equivalente inicial			

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, $n =$ _____ Tasa de crecimiento anual, $r =$ _____ %

Coeficiente de acumulación del tránsito, $C_F =$ _____

Tránsito acumulado $\Sigma Ln = C T_0' =$ _____ $\Sigma Ln = C T_0 =$ _____

FIGURA A-4

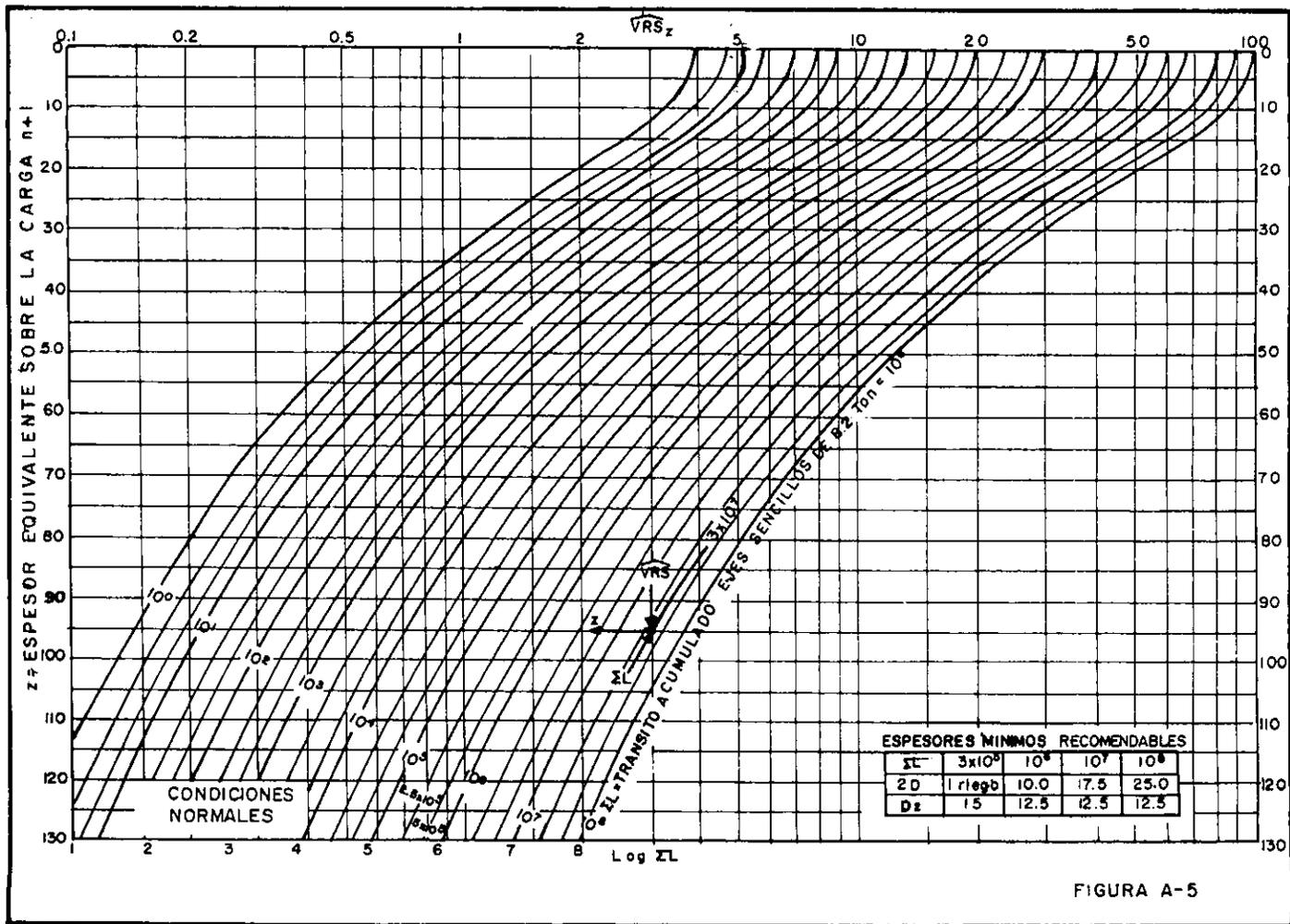
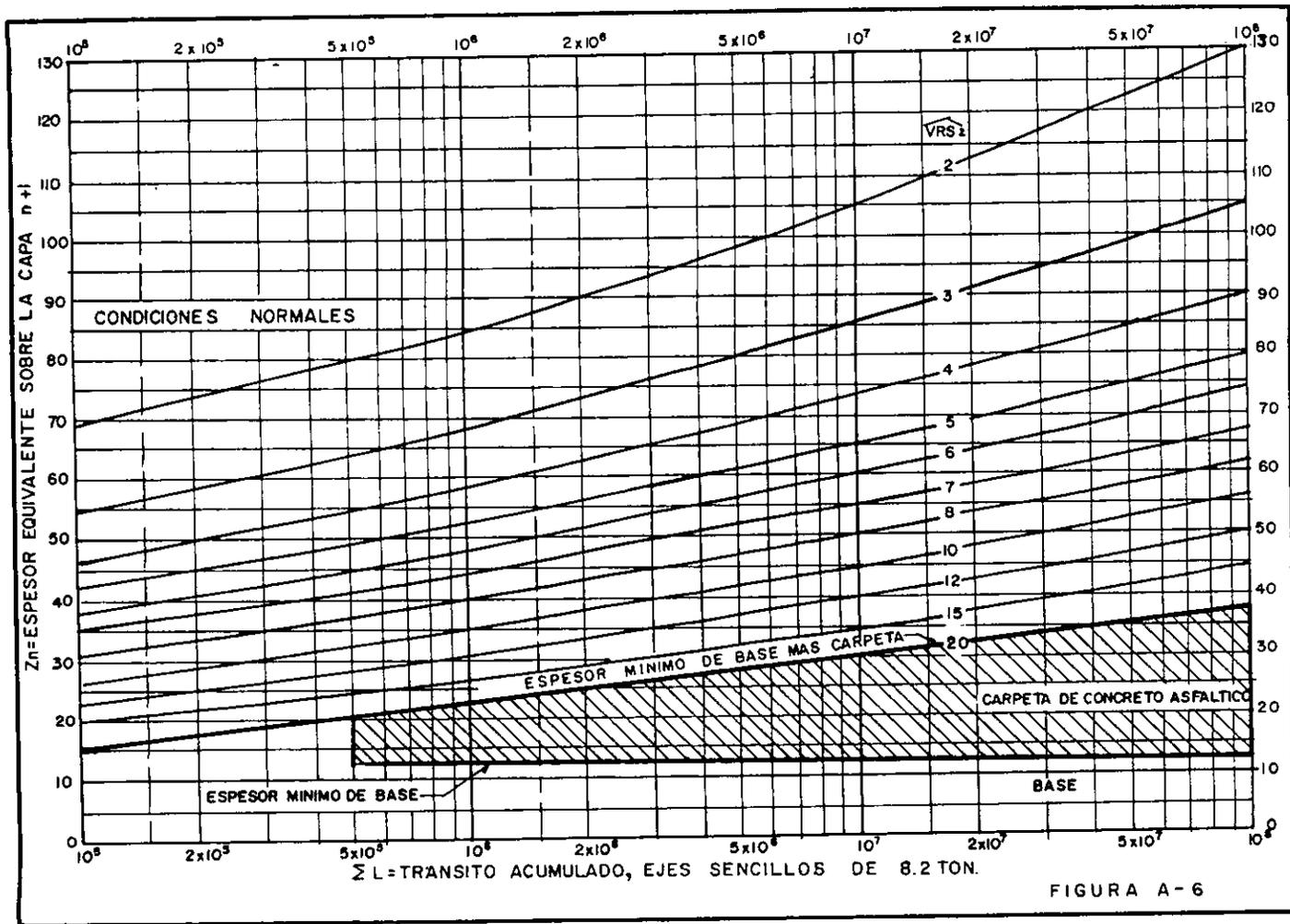


FIGURA A-5



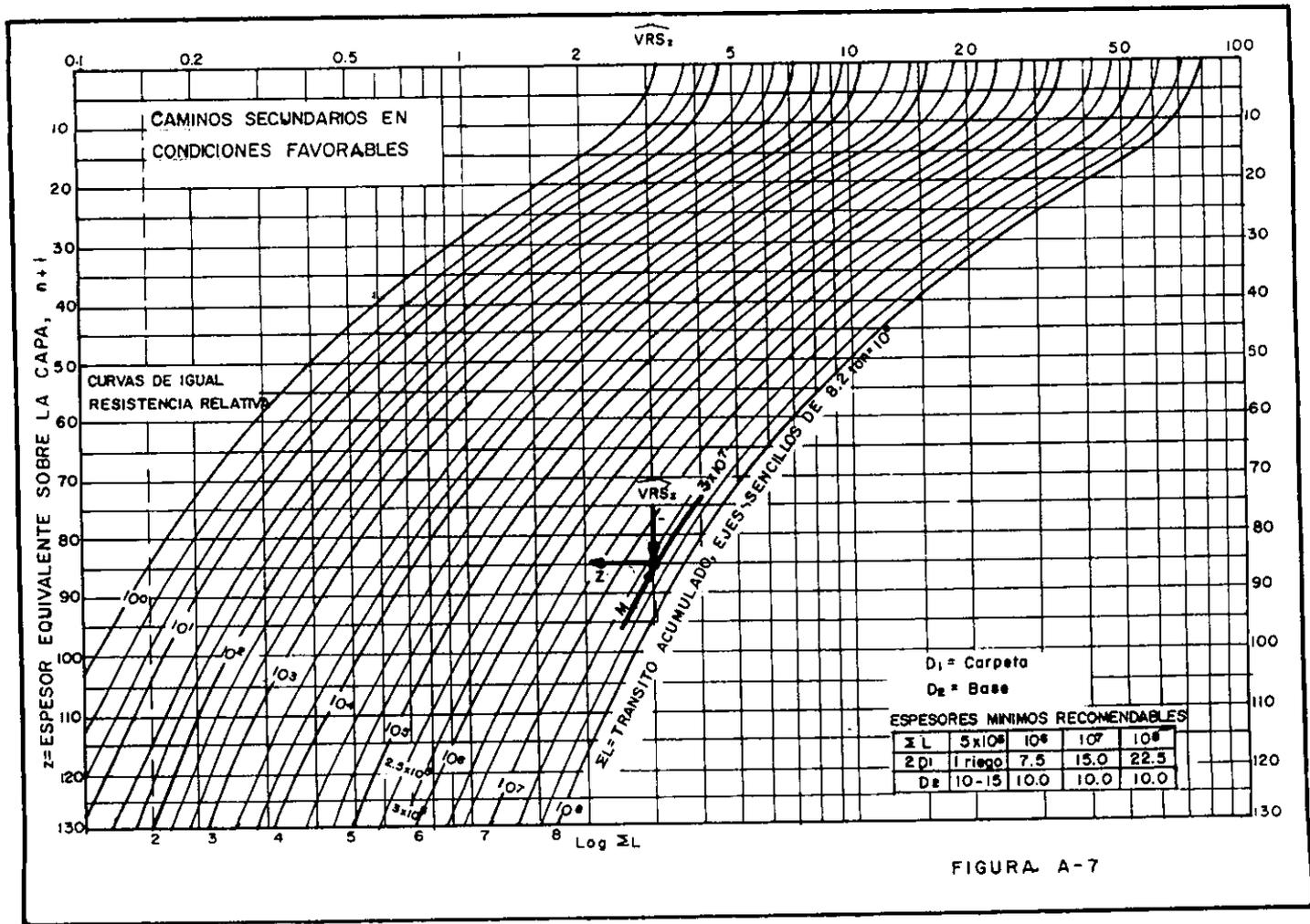


FIGURA A-7

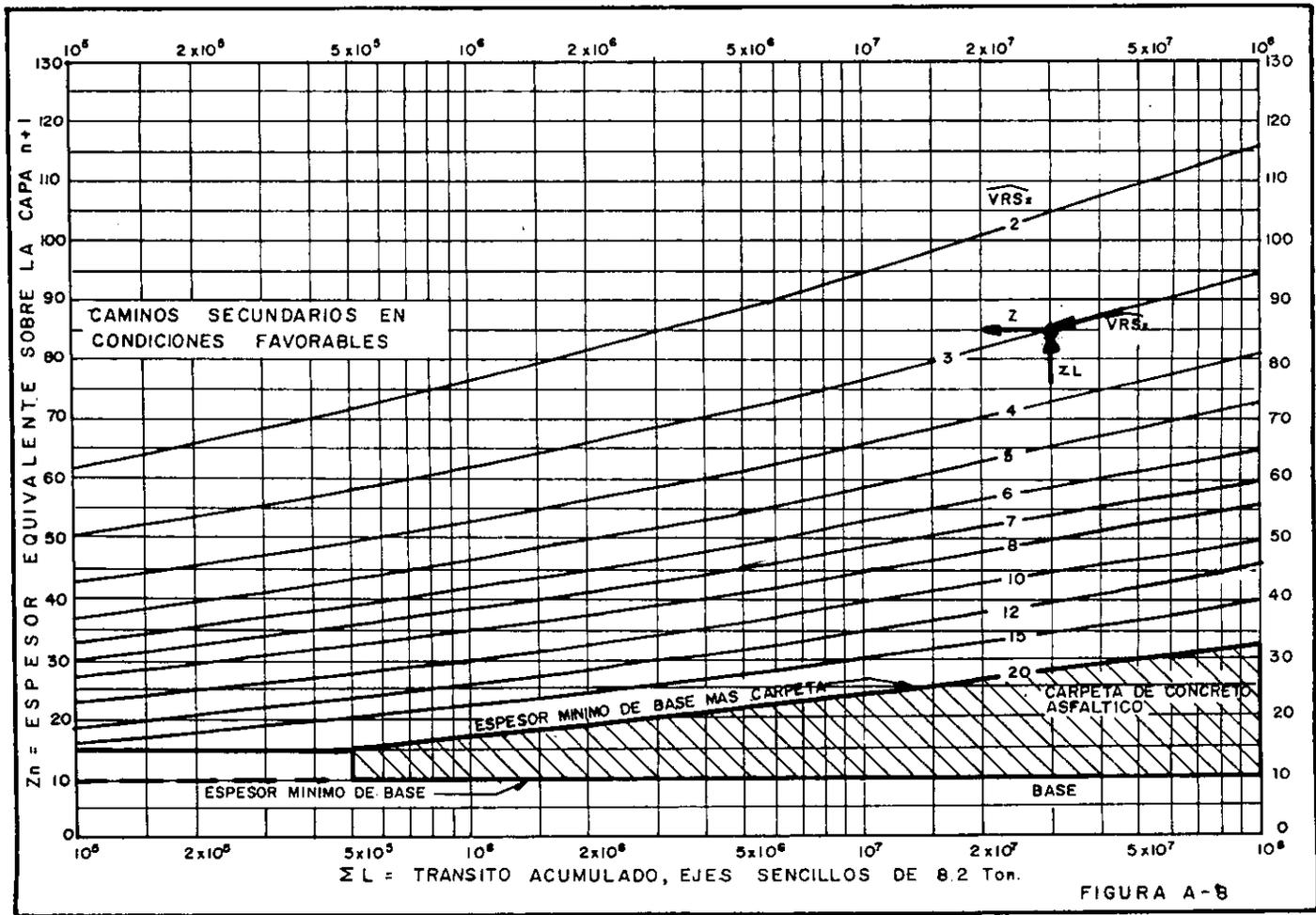


FIGURA A-8

**IV.- COMPARACIÓN DE LOS DOS
CRITERIOS EN UN CASO
PRACTICO.**

CONTENIDO

**IV.1.- EJEMPLO PARA EL MÉTODO PROPUESTO POR EL CUERPO DE
INGENIEROS DE LOS E.U.A.**

**IV.2.- EJEMPLO POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA
DE LA U.N.A.M.**

En este capítulo, gráficamente se diseñará la estructura de un pavimento flexible para un tramo de carretera de primer orden, haciendo uso de los métodos de diseño tratados en los capítulos II y III de este trabajo.

IV.1.- EJEMPLO PARA EL MÉTODO PROPUESTO POR EL CUERPO DE INGENIEROS DE LOS E.U.A. (CBR).

Diseñar la sección estructural de un pavimento flexible, cuyas características obtenidas en el laboratorio de las diferentes capas, son las siguientes:

VALORES DEL VRS:

SUELO NATURAL O TERRACERIA	4 %
SUB - RASANTE	8 %
SUB - BASE	22 %
BASE	80 %

Y estará sujeta a las siguientes cargas y tránsito de vehículos:

CARGA POR RUEDA (Lb)	No. DE VEHÍCULOS
4,000	425
5,000	275
6,000	280
9,000	150
12,000	80

Además tendrá una vida útil de 10 años, con una tasa de crecimiento anual del 25%.

IV. I-a) CALCULO DEL ESPESOR DE LA SUBRASANTE.

Con el valor del V.R.S. de la terracería igual a 4% y la figura II-2.3, se obtienen los valores siguientes:

CARGA POR RUEDA	ESPESOR
4,000 lb.	31.0 cm.
5,000 lb.	34.0 cm.
6,000 lb.	37.0 cm.
9,000 lb.	43.5 cm.
12,000 lb.	47.5 cm.

Con estos datos se encuentran los factores de equivalencia, para las diferentes cargas según las repeticiones de carga de cada una de las cargas por rueda, estos valores son los siguientes:

PARA:

4,000 lb.	$F. C = 10 \frac{6}{9} \times 10^6 =$	0.11
5,000 lb.	$F. C = 10 \frac{6}{10^6} =$	1.00
6,000 lb.	$F. C = 10 \frac{6}{380,000} =$	2.63
9,000 lb.	$F. C = 10 \frac{6}{7500} =$	40.00
12,000 lb.	$F. C = 10 \frac{6}{150} =$	6666.00

IV.1-a1.- SE DETERMINA LA CARGA EQUIVALENTE:

PESO	No. DE VEHÍCULOS.	CARGA EQUIVALENTE.
4,000 lb.	425	47
5,000 lb.	275	275
6,000 lb.	210	552
9,000 lb.	150	6000
12,000 lb.	80	10664
	TOTAL	27,538

Número de repeticiones de carga igual a:

$$C. C. \times 365 (1 + 0.25)^{10} =$$

$$27,538 \times (1.025)^{10} = 93'357,224.56 \text{ repeticiones.}$$

Con este valor llevado a las abcisas de la figura II.3-1a, se obtiene el espesor correspondiente a la subrasante.

$$\underline{C = 41.5 \text{ cm.}}$$

IV.1-b) CALCULO DEL VALOR DEL ESPESOR DE LA SUB-BASE.

Con el valor del V.R.S. de la subrasante que es del 8% y la figura II-2.3; se obtienen los siguientes valores:

CARGA POR RUEDA	ESPESOR
4,000 lb.	21.5 cm.
5,000 lb.	24.0 cm.
6,000 lb.	25.0 cm.
9,000 lb.	30.0 cm.
12,000 lb.	33.0 cm.

Con los anteriores valores se encuentran los valores de los factores de equivalencia para las diferentes cargas, según las repeticiones de carga de cada una de las cargas por rueda.

PARA:

4,000 lb.	$F. C = 10^{-6} / 5'000,000 = 0.20$
5,000 lb.	$F. C = 10^{-6} / 10^6 = 1.00$
6,000 lb.	$F. C = 10^{-6} / 18,000 = 55.55$
9,000 lb.	$F. C = 10^{-6} / 12,000 = 83.33$
12,000 lb.	$F. C = 10^{-6} / 2,200 = 454.50$

IV.1-b1.- SE DETERMINA LA CARGA EQUIVALENTE:

PESO	No. DE VEHÍCULOS.	CARGA EQUIVALENTE.
4,000 lb.	425	85
5,000 lb.	275	275
6,000 lb.	210	11,665
9,000 lb.	150	12,499
12,000 lb.	80	36,360
	TOTAL	60,884

Número de repeticiones de carga igual a:

$$60,884 \times 365 (1.25)^{10} = 206'404,066$$

Con este valor llevado a las abscisas de la figura II-3.1a, se obtiene el espesor correspondiente a la sub-base.

$$C = \underline{29 \text{ cm.}}$$

IV.1-c) CALCULO DEL ESPESOR DE LA BASE

Con el valor del V.R.S. de la sub-base que es del 22% y la figura III-2.3; se obtienen los siguientes valores:

CARGA POR RUEDA	ESPESOR
4,000 lb.	12.0 cm.
5,000 lb.	13.5 cm.
6,000 lb.	14.5 cm.
9,000 lb.	17.0 cm.
12,000 lb.	18.9 cm.

Con los anteriores valores, se encuentran los factores de equivalencia, para las diferentes cargas, según las repeticiones de carga de cada uno de las cargas por rueda.

PARA:

4,000 lb.	F. C = 10 6/9'000,000 =	0.11
5,000 lb.	F. C = 10 6/10 ⁶ =	1.00
6,000 lb.	F. C = 10 6/300,000 =	3.33
9,000 lb.	F. C = 10 6/20,000 =	50.00
12,000 lb.	F. C = 10 6/4,200 =	238.00

IV.1-c1) SE DETERMINARA LA CARGA EQUIVALENTE:

PESO	No. DE VEHÍCULOS.	CARGA EQUIVALENTE.
4,000 lb.	425	47
5,000 lb	275	275
6,000 lb.	210	699
9,000 lb.	150	7,500
12,000 lb.	80	19,040
	TOTAL	27,561

Número de repeticiones de carga igual a:

$$27,561 \times 365 (1.25)^{10} = 93,435,097.32 \text{ repeticiones.}$$

Con este valor llevado a las abcisas de la figura II-3,1b; se obtiene el espesor de la base:

$$C = 17 \text{ cm.}$$

IV-1-d) CALCULO DEL ESPESOR DE CARPETA.

Por economía del pavimento las carpetas no deben excederse de 10 cm. por lo cual se ha elegido un espesor garantizando su funcionalidad.

$$C = 7.5 \text{ cm.}$$

Con todos los datos de espesores, la estructuración del pavimento queda de la siguiente forma:

Espesor de la Subrasante.....	41.5 cm.
Espesor de la Sub-base.....	29.0 cm.
Espesor de la Base.....	17.0 cm.
Espesor de la Carpeta.....	7.5 cm.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

IV-2) EJEMPLO POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA U.N.A.M.

Se requiere diseñar la sección estructural de un pavimento flexible, el cual tendrá una composición del tránsito en ambas direcciones como se muestra a continuación, para una carretera de cuatro carriles.

El período de diseño o años de servicio es de 10 años, con una tasa de crecimiento del 25%.

TIPO DE VEHÍCULO	No. DE VEHÍCULOS EN AMBAS DIRECCIONES
Ap	450
Ac	280
B	250
C2	300
C3	150
T2 - 52	102
T3 - 52	27

A la suma del No. de vehículos en ambas direcciones se le llama tránsito diario promedio anual (T.D.P.A.) y es igual a:

$$T.D.P.A. = 1559$$

Los datos anteriores se encuentran en la tabla A, en las columnas N° 1 que muestra el número de vehículos en ambas direcciones.

De acuerdo con la siguiente tabla, se determina el coeficiente de distribución en relación al número de carriles para el carril de Proyecto.

No. DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO
2	50
4	40 - 50
6 ó más	30 - 40

Para nuestro caso se utilizara el 40% , ya que este valor corresponde a cuatro carriles, el cual se localiza en la columna 3 de la tabla A, la columna 4 es obtenida al multiplicar los valores de la columna 2 por los valores de la columna 3.

En la columna 5 son mostrados los coeficientes de vehículos cargados o vacíos, obtenidos por datos estadísticos por años.

En la columna 6, se coloca el resultado de la multiplicación de los valores de la columna 5 por los valores de la columna 3.

En la columna 7, se tienen los valores de los Coeficientes de daño por tránsito, obtenidos a partir de la figura III - 4, 1.

En la columna 8, se tienen el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton. y se obtienen al multiplicar el No. de vehículos cargados ó vacíos por carril por el Coeficiente de daño por tránsito F, F' para profundidades de $Z = 0$ y $Z = 15$. A la suma de los valores de la columna 8 se le llama tránsito equivalente inicial de 8.2 Ton. (To, To') referidos al carril de diseño y a un día medio del año.

IV-2a) DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO ACUMULADO EN EL PERÍODO DE DISEÑO.

Para lo cual, se obtendrá el Coeficiente de acumulación de tránsito (c), por medio de la figura III,4-2 utilizando la curva que corresponda a la tasa de crecimiento anual (r) y la vida de Proyecto en años (n) la cual resulta:

$$C = 12,500$$

Este valor al multiplicarlo por el tránsito equivalente inicial (To, To'), da el tránsito acumulado en el periodo de diseño ($\Sigma In, \Sigma I'n$), a la profundidad $Z = 0$ y $Z = 15$ respectivamente.

$$\Sigma In = C To$$

$$\Sigma I'n = C To'$$

$$\Sigma In = 12,500 \times 566.78 = 7'084,750$$

$$\Sigma I'n = 12,500 \times 251.50 = 3'163,750$$

IV-2,b) DISEÑO DE LOS ESPESORES:

De acuerdo con las características de la carretera, se debe considerar que el diseño de ésta se debe hacer con condiciones normales de diseño, presentada en la gráfica III,A-4, utilizando los datos de tránsito acumulado para profundidades de $Z= 0$ y $Z= 15$ respectivamente. En la cual es dibujada una curva de igual resistencia relativa, Esta se presenta en la figura mencionada, con una línea discontinua.

Con lo anterior y con los datos de los valores relativos de soporte crítico, obtenidos de los datos arrojados por el V.R.S., se procede a seleccionar los espesores que integraran el pavimento.

$$VRSc = VRS (1 - CV)$$

Los siguientes valores son los obtenidos para el V.R.S., críticos:

VRS Crítico del suelo natural	3 %
VRS Crítico de la capa subrasante	7 %
VRS Crítico de la capa sub-base	21 %
VRS Crítico de la capa de base	80 %

Con los datos de resistencia de los materiales y utilizando la gráfica de la figura III,A-4 para un tránsito acumulado de 3'163,750 ejes de 8.2 ton., Se tienen que los espesores son los siguientes.

Espesor total sobre el suelo natural = 77 cm., obtenido a partir del VRS crítico del suelo natural al interceptar la curva de igual resistencia en un punto, a este se le llama punto crítico, que proyectado en el eje de las ordenadas (z) proporciona el espesor ya mencionado.

Espesor de la capa subrasante = 28 cm., que es la distancia vertical entre los puntos críticos correspondientes a los valores de VRS = 3 % y 7 % proyectados sobre el eje de las ordenadas (z).

Espesor de la capa sub-base = 24 cm., obtenida de igual manera que la capa subrasante.

Espesor de la base más carpeta asfáltica = 25 cm., que es la diferencia entre el espesor total y la suma de los espesores de la subrasante y la sub-base.

Siendo el espesor mínimo requerido de carpeta asfáltica de 5 cm. por la importancia del camino y en base a la tabla de la figura III,4-4, el espesor de la base hidráulica será el siguiente:

$$A1 \cdot D1 + A2 \cdot D2 = 25 \text{ cm.}$$

en donde:

D1 = espesor de la carpeta asfáltica, cm.

D2 = espesor de la base, cm.

A1 y A2 = coeficiente de equivalencia de espesores.

A2 = 1, para bases hidráulicas por tanto.

$$2 D1 + D2 = 25 \text{ cm.}$$

si D1 = 5 cm., se tiene

$$2 (5) + D2 = 25 \text{ cm.}$$

$$10 + D2 = 25 \text{ cm.}$$

$$D2 = 25 - 10$$

por tanto:

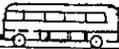
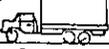
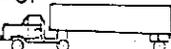
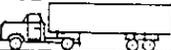
$$D2 = 15 \text{ cm.}$$

y la estructuración de la carretera queda como sigue:

Capa subrasante.....	28
Capa sub-base.....	24
Base hidráulica.....	15
Carpeta de concreto asfáltico.....	5

CONCLUSIÓN.

Las cantidades de los valores relativos de soporte considerados en los ejemplos de diseño aquí descritos son teóricos y se espera que los materiales existentes en la zona correspondiente a la construcción de la carretera cumplan con estos. En caso contrario se efectuaran las pruebas de laboratorio respectivas a estos materiales y con los valores obtenidos se rediseñará la estructura del pavimento en cuestión.

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículo cargado o vacío	Número de vehículos cargados o vacíos por carril N ₁ , N ₂	Coeficiente de daño por tránsito F, F'		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, NF, NF'	
						z = 0 cm	z = 15 cm	z = 0 cm	z = 15 cm
Ap 	450	40	180	C = 1.00	180	0.005	0	1.2	0
				V = 0.00	0	0.005	0	0	0
Ac 	280	40	112	C = 0.30	33.6	0.34	0.042	11.42	14.11
				V = 0.70	78.4	0.34	0.001	26.65	0.08
B 	250	40	100	C = 0.80	80.0	2.0	1.150	120.00	92.00
				V = 0.20	20.0	2.0	0.640	40.00	12.80
C2 	300	40	120	C = 0.85	78.0	0.88	0.465	61.60	36.27
				V = 0.35	42.0	0.88	0.027	35.96	1.13
C3 	150	40	60	C = 0.91	54.6	0.88	0.675	48.00	36.85
				V = 0.09	5.4	0.88	0.044	4.75	0.24
T2-S1 	—	40	—	C = —	—	3.0	1.740	—	—
				V = —	—	3.0	0.140	—	—
T2-S2 	102	40	40.80	C = 0.75	30.6	4.0	1.570	122.40	48.04
				V = 0.25	10.20	4.0	0.210	40.80	2.15
T3-S2 	27	40	10.80	C = 0.50	5.40	5.0	1.300	27.00	7.02
				V = 0.50	5.40	5.0	0.150	27.00	0.81
Total			623.60			T ₀ , T _{0'} Tránsito equivalente inicial		566.78	251.50

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 = 25 %

Coeficiente de acumulación del tránsito, C = 12,500

Tránsito acumulado $\Sigma Ln = C T_0 =$ 7'084,750 $\Sigma Ln = C T_0' =$ 3'163,750

TABLA A

V.- CONCLUSIONES.

Al tener en cuenta que los métodos de diseño estructural de pavimentos flexibles (Método del Cuerpo de Ingenieros de los E.U.) son de carácter semi - empirico, teórico y de parámetros de difícil control por el ingeniero proyectista, considero que el método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., es más confiable y de aplicación más sencilla, debido a que presenta un procedimiento más racional respecto a los métodos en uso.

El Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. utiliza factores extraídos de sus investigaciones realizadas en condiciones y sitios en nuestro país, tales como: datos de comportamiento de pavimentos en modelos a escala natural, definición del criterio de falla, definición de un V.R.S. critico, utilización de una carga estándar de tránsito y el concepto de pavimento como parte de la sección estructural de un camino.

Además de lo anterior este método tiene otra ventaja que es la de poderse emplear en reconstrucciones de pavimentos, zonificando al pavimento en tramos razonablemente homogéneos en cuanto a características geotecnicas y de diseño. También utiliza las cartas de clasificación del clima por zonas (sistema Kopper - Geiger), lo que permite al proyectista conocer el comportamiento de los materiales bajo la influencia de los diferentes climas.

El propósito de este trabajo, es establecer los puntos de mayor importancia con los que el ingeniero proyectista se encontrara en el diseño de pavimentos flexibles utilizando los métodos de diseño aquí presentados, no perdiendo de vista que la economía en la construcción es de vital importancia para evitar rehabilitaciones posteriores.

BIBLIOGRAFÍA:

ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
"LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES, TOMO I Y II".
MEXICO, DF.
EDITORIAL LIMUSA.

DOMINGO SÁNCHEZ R.
"CAUSAS E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS".
MEXICO, DF.
PUBLICACIONES SCT.

RENE ETCHARREN GUTIÉRREZ.
"MANUAL DE CAMINOS VECINALES".

SANTIAGO CORRO C.
"DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES".
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM. INFORME 325.

SANTIAGO CORRO C.
"RECOMMENDATIONS FOR THE STRUCTURAL DESIGN OF FLEXIBLE".
MEXICO, DF.
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM, INFORME E - 25.