UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE MYNOR HERNANDEZ MONZON

AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,997

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de
la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su
consideración mi trabajo de tesis titulado:

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de
Ingeniería Civil, con fecha 22 julio de 1,997

JORGE MYNOR HERNANDEZ MONZÓN

APÊNDICE

APÊNDICE

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL1°	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL2°	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL3°	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL4°	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL5°	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Juan Luis Guzmán Román
EXAMINADOR	Ing. Augusto René Pérez Méndez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Baechli Diéguez
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

Quetzaltenango, 7 de Octubre de 1,997.

Ingeniero
Edgar Daniel De León Maldonado
Jefe del departamento del área de transporte
Facultad de Ingeniería
USAC

Ing. De León Maldonado:

Por este medio tengo el gusto de informarle que he revisado y analizado el trabajo de tesis titulado "CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS", realizado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil Jorge Mynor Hernández Monzón, carnet No. 9330197 previo a optar el título de Ingeniero Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Lo considero un tema de bastante utilidad y de importancia para los profesionales que se dedican a este campo, así como para los estudiantes de la facultad de Ingeniería para que amplíen sus conocimientos.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de ud.

Atentamente,

Ing. Víctor Carol Hernández Monzón
ASESOR

c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,
21 de octubre de 1,997

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra S.
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Señor Director.

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS, realizado por el estudiante universitario Jorge Mynor Hernández Monzón, quien contó con la asesoría del Ingeniero Víctor Carol Hernández Monzón.

El trabajo en cuestión, cumple con los requerimientos necesarios, por lo que me permito recomendar su aprobación para los efectos subsiguientes.

Sin otro particular lo saluda, atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Edgar Daniel de León Maldonado
Jefe del Departamento de Transporte

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Víctor Carol Hernández Monzón y del Jefe del Departamento de Transporte Ing. Edgar de León M., del trabajo de tesis del estudiante Jorge Mynor Hernández Monzón, titulado CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, octubre de 1,997.

JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS**, del estudiante Jorge Mynor Hernández Monzón, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Guatemala, noviembre de 1,997

/bbdeb.

ACTO Y TESIS QUE DEDICO A:

DIOS Y LA VIRGEN DEL ROSARIO

Fuerza y estímulo en mi diario caminar.

MIS QUERIDOS PADRES

Hercilia Marina Monzón de Hernández

Víctor Manuel Hernández Castillo

Como una pequeña muestra a sus múltiples sacrificios.

MIS HERMANOS

Lisbeth Marina Aurora , Víctor Carol , Gladimiro Adolfo

Helen Marisol, Freddy Fernando, y José Bernardo

Con todo cariño.

MIS ABUELITOS

Aura Esperanza y José María

Mi aprecio de siempre.

MIS TÍOS

En especial a: Irma M. Monzón de de León,

Laura Monzón de Castro y Freddy J. de León.

MIS PRIMOS Y A MI CUÑADO

MI FAMILIA EN GENERAL

MIS AMIGOS

A LAS FAMILIAS

Pol Pérez y Godínez Pérez

A LOS PROFESIONALES

Dra. Aurora Magdony Pérez Hernández

Dr. Alvaro Israel Hernández López

Ing. Oscar Armando Quezada Mazariegos

Ing. Julio Guillermo Garcia Ovalle

Ing. Willy Vásquez

La Universidad de San Carlos de Guatemala CUNOC y USAC

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

A Dios Todopoderoso, por permitirme culminar estos estudios.

A Mis padres por su constante guía y esfuerzo, a quienes debo este triunfo.

Al Ingeniero Víctor Carol Hernández Monzón por su valiosa asesoría al presente trabajo de tesis.

Al Ingeniero Oscar Armando Quezada por su incondicional ayuda en mi formación profesional.

ÍNDICE

Descripción ***página***

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Índice de Figuras

Índice de tablas

OBJETIVOS

Generales

Desarrollar y definir preceptos, enmarcados en forma adecuada, para el diseño de los diferentes tipos de pavimentos, cumpliendo con las especificaciones dadas por organismos internacionales y nacionales para las diferentes capas que lo conforman, garantizando la durabilidad de cualquier proyecto de carretera.

Desarrollar las características de los diferentes tipos de pavimentación para que pueda cubrir las necesidades y cargas aplicadas a las cuales está sujeta una carretera.

Específicos

Proporcionar al estudiante y al profesional de Ingeniería civil los elementos básicos de diseño estructural de acuerdo al tipo de pavimentación, como consulta para la ejecución de cualquier proyecto.

Definir y diferenciar los tipos de pavimentación, dando a conocer sus características y métodos sencillos para el diseño estructural de cada uno de los pavimentos.

Introducir y Proporcionar los conceptos básicos sobre la utilización de sobrecarpetas de concreto en carreteras con asfalto existente, como una alternativa más del mantenimiento de carreteras en nuestro país.

NOMENCLATURA

AASHO	American Association of State Highway Officials.
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
A.C.	Cemento Asfáltico.
ASTM	Sociedad Americana para pruebas de materiales (American Society for Testing Materials).
B	Base
CA	Cemento Asfáltico
C. B. R.	Valor Soporte de California
CR	Carpeta de rodadura
FAA	Federal Aviation Agency
I G	Índice de Grupo
INFOM	Instituto Nacional de Fomento Municipal
K	Módulo de Reacción de la sub-rasante
Kfs	Módulo de apoyo de la Cimentación
Ks	Módulo de reacción
M. C.	Asfalto Líquido de Fraguado medio
MS	Emulsión asfálticas con quiebre medio
MR	Módulo de Ruptura del Concreto
PCA	Asociación del Cemento Portland (Portland Cement Association)
PCI	Libras por pulgada cubica (Pound cubic inch)
PSI	Libra por pulgada cuadrada (Pound square inch)
R. C.	Asfalto líquido de fraguado rápido
RS	Emulsiones asfálticas con quiebre rápido
SB	Subbase
SR	Subrasante
S. C.	Asfaltos Líquidos de fraguado lento
SS	Emulsión asfálticas con quiebre Lento
TA	Espesor del Pavimento utilizado en el método del Instituto de Asfalto de los Estados Unidos
TDI	Tránsito diario inicial
TPDC	Tránsito promedio diario de camiones
TDI	Tránsito Diario Inicial
WHITETOPPING	Sobrecarpeta blanca, sobrecarpeta de concreto utilizada encima de un pavimento flexible.

GLOSARIO

ADOQUINES. Bloques de concreto fabricados en moldes, que son llenados manualmente o con máquinas vibroprensadoras semimanuales o fabricadas por máquinas automáticas.

ALQUITRÁN. Es un material bituminosos, viscoso o fluido, obtenido por destilación destructiva de materias orgánicas como carbón, lignito, madera y material vegetal. Los alquitranes se producen por los métodos de la cámara de gas, del horno de cok o del gas de agua. El alquitrán se usa sólo en los lugares en que se produce.

ÁRIDOS. Son fragmentos y partículas minerales inertes, que forman la estructura principal de una mezcla, tal como el aglomerado asfáltico, macadam de alquitrán u hormigón hidráulico.

ASFALTO. Según ASTM Standard D-8 son materiales aglomerantes sólidos o semisólidos, de color que varía de negro o pardo obscuro y que se licúan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida, o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de éstos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.

BASE. Es la capa de material selecto que se coloca encima de la sub-base o sub-rasante, cuyo espesor debe ser no mayor de 35 centímetros, ni menor de 10 centímetros.

CEMENTO ASFALTICO. Asfalto refinado para satisfacer las especificaciones establecidas para los materiales empleadas en pavimentación. Las penetraciones normales de los cementos asfálticos están comprendidas entre 40 y 300.

CEMENTO PORTLAND. Es un cemento obtenido de la mezcla minuciosa de materiales calcáreos y arcillosos y otros materiales que contienen sílice, alumina u óxidos de hierro, quemándolos a una temperatura de formación de clinker.

EMULSIONES ASFÁLTICAS. Están compuestas por tres elementos: agua, asfalto líquido compuesto por cemento asfáltico y un agente emulsionante.

ÍNDICE DE GRUPO. Todos los suelos que tienen un comportamiento similar se encuentran ubicados dentro de un mismo grupo y representados por un índice, que es el llamado índice de grupo. Los elementos que intervienen para clasificar un suelo para

un grupo determinado son su grado de plasticidad y el porcentaje de material fino que pasa el tamiz No. 200, de donde se vé que cuanto más alto es el valor del I. G., pero es la calidad del material.

LÍMITE LÍQUIDO. Es el contenido de agua o porcentaje de humedad, tal que, para un material dado, fija la división entre el estado casí líquido y el estado plástico.

LÍMITE PLÁSTICO. Es el contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido de un suelo.

PAVIMENTO. Es la estructura en si de la carretera, sobre la que rodarán las cargas, formada por la sub-base, base y capa de rodadura.

PAVIMENTO FLEXIBLE. Son aquellos que tienen una base flexible, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de alquitrán o asfalto.

PAVIMENTO RÍGIDO. Es aquel pavimento que debido a su gran resistencia a la flexión, distribuye las cargas de tránsito sobre un área extensa de la subrasante, teniendo por revestimiento una losa de concreto.

RASANTE. Es la línea que se obtiene al proyectar sobre un plano vertical, el desarrollo de la corona en la parte superior del pavimento.

SECCIÓN TÍPICA. Es la representación gráfica de un corte transversal que muestra en proyección vertical los espesores, dimensiones y composición de las capas de la estructura del pavimento.

SUBBASE. Es la primera capa del pavimento y está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de un espesor compactado, según las condiciones y características de los suelos existente en la sub-rasante, pero en ningún caso menor de 10 centímetros ni mayor de 70.

SUB-RASANTE. Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura del pavimento y se extiende hasta una profundidad en la que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto y que una vez compactada y afinada, tiene las secciones

transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

SUPERFICIE DE RODADURA. Capa superficial que soporta directamente las cargas de los vehículos y sirve de protección a las estructuras subyacentes mencionadas, y para hacer adecuada y durable la superficie al tránsito todo el tiempo.

TERRACERÍA. Es el conjunto de materiales no clasificados de una carretera, conformada en todas sus etapas previas por la máquina, hasta el nivel de la subrasante, incluye cortes y relleno, es conocida como terreno de fundación.

TERRENO DE FUNDACIÓN. Es aquel que sirve de fundación al pavimento, después de haber sido terminado el movimiento de tierras y que una vez compactado tiene las secciones transversales y pendientes especificas en los planos de diseño.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL ASFÁLTICO. Es un término que se usa para identificar la aplicación de uno o varios riegos de asfalto, recubiertos cada uno con agregados según el número de capas aplicadas, el tratamiento superficial se identifica como simple, múltiple y macadam de penetración.

VOLUMEN DE TRÁNSITO. Se entiende por volumen de tránsito cierta cantidad de vehículos de motor que transita por un camino, en determinado tiempo.

INTRODUCCION

Desde de la antigüedad el hombre ha necesitado comunicarse para poder satisfacer sus necesidades, ya sean éstas sociales, comerciales, por lo cual se hizo necesaria la existencia de vías de comunicación, siendo una ellas la comunicación terrestre, a través de los caminos el hombre a podido evolucionar, porque un pueblo sin comunicación es un pueblo aislado, sin embargo, con el transcurso del tiempo y con el aparecimiento de nuevos inventos como el automóvil los caminos han sido un factor indiscutible de desarrollo, los cuales se han ido transformando hasta convertirse hoy en día en las modernas carreteras que se pueden ver en cualquier parte del mundo, y es así que dependiendo de las diferentes necesidades, han surgido varias clases de pavimentos encargados de dar seguridad, confort y durabilidad al usuario, de una carretera, avenida o calle.

Por la naturaleza de su capa de rodadura los pavimentos se pueden clasificar en pavimentos rígidos, flexibles, y semiflexibles o semirígidos, el presente trabajo de tesis tiene como objetivo primordial presentar una guía de consulta sobre el diseño estructural de una carretera.

El diseño estructural de una carretera contempla la determinación del espesor de cada una de las capas que componen el pavimento, según las condiciones de soporte del suelo en donde se desea construir ésta, el propósito del diseño estructural es el mismo que para cualquier estructura: encontrar el espesor mínimo que redunde en el menor costo anual, involucrando el menor consto inicial y de mantenimiento. Si el espesor es mayor que el necesario, el pavimento dará buen servicio con bajos costos de mantenimiento, pero su costo inicial será alto, si el espesor no es el adecuado, se tendrá un mantenimiento prematuro y costoso, con interrupciones de tráfico, lo cual será antieconómico a pesar del bajo costo inicial, dicho lo anterior es de vital importancia conocer los métodos para el cálculo de cada una de las capas que componen un pavimento, temas que se tratarán de explicar en el presente trabajo, para su mejor comprensión se ha dividido en 5 capítulos los cuales contienen imformación seleccionada acerca del diseño de los diferentes tipos de pavimento.

En el capítulo 1 que lleva como título " Características del Pavimento " tiene como objetivo presentar las diferentes características y especificaciones que conlleva cada una de las posibles capas que podrían integrar la estructura de cualquier pavimento, asi también, se puede encontrar una recopilación de los diferentes métodos que se pueden aplicar para determinar y analizar el volumen de tráfico de una carretera, dato que es fundamental para el diseño de cualquier clase de pavimento.

El capítulo 2 es dedicado exclusivamente a las consideraciones generales del pavimento flexible, tratando desde el concepto, clasificación, y aplicaciones de material bituminoso como de su aplicación con otros agentes, hasta los métodos más comunes en nuestro medio para el diseño estructural del pavimento flexible, con sus respectivos ejemplos.

El capítulo No. 3 trata sobre el Pavimento Rígido, formado con una capa de rodamiento de concreto de cemento portland, dando a conocer los aspectos más importantes a tomar en cuenta en el diseño, tanto de la mezcla de los distintos componentes del concreto, como en el diseño de la estructura del pavimento, para este último fin se expone un método que es de fácil, y rápida aplicación, el método y procedimiento de diseño simplificado para pavimentos rígidos de la Asociación del Cemento Portland, el diseñador podrá hallar el espesor de la losa de concreto portland necesaria para poder resistir la cargas que se les impongan en un determinado terreno de fundación.

El cuarto capítulo corresponde al pavimento con adoquín de concreto, presentando los conceptos básicos de cada una de sus partes, como también uno de los métodos que se pueden utilizar para hallar el espesor de la estructura.

La construcción de una sobrecarpeta de concreto, es una forma práctica para alargar la vida útil de los pavimentos existentes, sin necesidad de una mayor rehabilitación, por lo cual en el quinto capítulo se presenta una alternativa para el mantenimiento de carreteras, la utilización de sobrecarpetas de concreto sobre pavimento flexible, dando a conocer los datos necesarios para poder hallar el espesor de la losa de concreto necesario para cualquier situación y los diferentes aspectos a considerar en la construcción de la misma.

Por lo cual, se espera que el presente trabajo sea de valiosa ayuda tanto para el estudiante de la carrera de ingeniería civil como también para el profesional interesado en el tema del diseño estructural de carreteras.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO

1.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DEL PAVIMENTO

1.1.1 Definición:

Generalmente se le denomina pavimento a la estructura multicapa que se coloca sobre la sub-rasante de una carretera, integrada principalmente por la sub-base, la base y la carpeta de rodadura; y que provee un servicio al usuario con la debida seguridad, confort y durabilidad, véase el apéndice, hoja No. 1, donde se presenta la sección típica transversal de una carretera.

Los pavimentos pueden ser según la carpeta de rodadura: flexibles, rígidos y semirígidos; los pavimentos de losas de concreto son pavimentos rígidos, mientras que los pavimentos de asfalto son pavimentos flexibles, los pavimentos con carpeta de rodadura de adoquín se consideran con semirígidos o semiflexibles, véase el apéndice hojas Nos. 1, 2, 3, y 4 donde se presentan las secciones transversales de cada uno.

El pavimento rígido debido a su consistencia y alto módulo de elasticidad, utiliza la acción de viga para distribuir la carga en un área de suelo relativamente grande, en este tipo de pavimento la mayor parte de la capacidad estructural es proporcionada por la losa de concreto. En el pavimento flexible, la carpeta produce una mínima distribución de cargas, distribuyéndose éstas por el contacto de partículas en todo el espesor del pavimento.

Los pavimentos con adoquín son semiflexibles o semirígidos, ya que aunque cada adoquín es un bloque de concreto rígido, es a la vez una unidad independiente de los que los rodean, al recibir un adoquín una carga concentrada, ésta se distribuye por contacto de partícula a partícula como en un pavimento flexible. En el presente trabajo se presenta como semirígido al pavimento con adoquín quedando el pavimento con empedrado fuera del mismo.

1.1.2 Objetivos:

a) Soporte Adecuado de las Cargas por el Tránsito:

Naturalmente, un camino ha de ser capaz de soportar las cargas que el tráfico ocasiona, sin que se produzcan desplazamientos en la superficie, base o sub-base. Corrientemente se llama a esto estabilidad, otras veces resistencia mecánica, refiriéndose no sólo a la resistencia al peso directo de la rueda de tantos kilogramos por centímetro

cuadrado, sino también a la capacidad de impedir la presencia de roturas internas y movimiento de partículas ocasionadas por la acción de amasadura del tráfico.

b) Protección de la Terracería Contra el Agua:

El agua es uno de los elementos que más contribuye a la destrucción de una carretera, un exceso de agua produce lubricación entre las partículas. Es necesario tener un control de las aguas superficiales, como las que se filtran en el sub-suelo.

c) Desgaste de los Materiales por Rodamiento:

El desgaste en la superficie de rodamiento producido por el paso de vehículos origina desgaste por abrasión hasta la formación de nubes de polvo, el arrancado y pérdidas de elementos de mayor tamaño.

d) Contextura Superficial Adecuada:

Se hace indispensable que la capa de la rodadura sea la suficiente lisa, para proporcionar seguridad y comodidad al usuario, pero debe de tener alguna rugosidad para no ser peligrosa.

e) Flexibilidad para Adaptarse a las Fallas de la Sub-base:

Rara vez permite el tiempo ni el dinero de que se disponen, una preparación total de sub-base y terraplenes, antes de construir la capa de rodadura. Es, por tanto, conveniente que esta capa de rodadura sea capaz de adaptarse a pequeños hundimientos, sin que sean necesarias costosas reparaciones.

f) Resistencia a la Meteorización:

El sol, la lluvia, el viento, las heladas, el calor y el frío actúan continuamente sobre los materiales de la superficie. Algunos materiales o combinaciones de ellos, resisten estas fuerzas destructoras mejor que otros, prolongando así la vida de la superficie.

1.2 CAPAS QUE COMPONEN EL PAVIMENTO:

1.2.1 Terreno de Fundación:

Es aquel que sirve de fundación al pavimento después de haber sido terminado el movimiento de tierras y que una vez compactado tiene las secciones transversales y pendientes indicadas en los planos de diseño.

De la capacidad soporte depende en gran parte el espesor de la estructura del pavimento, por ejemplo:

a) Sí el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone, siempre que sea posible, y sustituirse éste por un suelo de mejor calidad.

b) Sí el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub-base de material seleccionado antes de poner la base.

c) Sí el terreno de fundación es regular podría prescindirse de la sub-base.

d) Sí es excelente podría prescindirse de sub-base y base.

1.2.2 Sub-rasante.

Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde a la estructura prevista.

Los pavimentos de calles de los sistemas de tránsito general que soportarán un tránsito frecuente de camiones pesados, se asentarán sobre sub-bases con el fin de prevenir el bombeo de los suelos finos de la subrasante. El fenómeno llamado " bombeo de lodo " ocurre cuando la sub-rasante es de suelos arcillosos y limos arcillosos y el agua de lluvia se infiltra a la sub-rasante, especialmente a través de las juntas mal selladas y de las grietas en las losas, saturándolas y disminuyendo su capacidad-soporte y, en consecuencia, permitiendo que se aumenten las deformaciones. Estudios realizados acerca de este fenómeno muestran que no ocurre cuando la sub-rasante o la base granular tiene un porcentaje de finos (pasa tamiz No. 200) menor de 45 % y un índice de plasticidad menor de 6.

El soporte que la sub-rasante presta al pavimento se expresa con el valor del Módulo de Reacción "K" de la sub-rasante y puede ser determinado mediante ensayos en el terreno o por correlación con valores soportes establecidos mediante otros ensayos. Cuando el tiempo y el equipo de laboratorio no permiten obtener el valor de K por medio del ensayo del plato, para efectos de diseño, puede considerarse la relación aproximada entre K y el C.B.R. como se indica en la Tabla No. 1a.

1.2.2.1 Requisitos para los materiales para sub-rasante

Dentro del material apropiado para sub-rasante se encuentran los suelos granulares, con menos de 3 % de hinchamiento en ensayo AASHTO T-193, que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se está reacondicionando y que además, no sean inadecuados para sub-rasante. Son materiales inapropiados para sub-rasante los siguientes:

a) Suelos clasificados como A-8 según AASHTO M 145, que son altamente orgánicos, constituídos por materias vegetales, parcialmente carbonizadas o fangosos; su clasificación se basa en inspección visual y no depende de pruebas de laboratorio; se compone de materia orgánica parcialmente podrida; generalmente tienen textura fibrosa; un color café obscuro o negro y olor a podredumbre; son altamente compresibles y tienen muy baja resitencia. Además basura o impurezas, que puedan ser perjudiciales para la cimentación del pavimento.

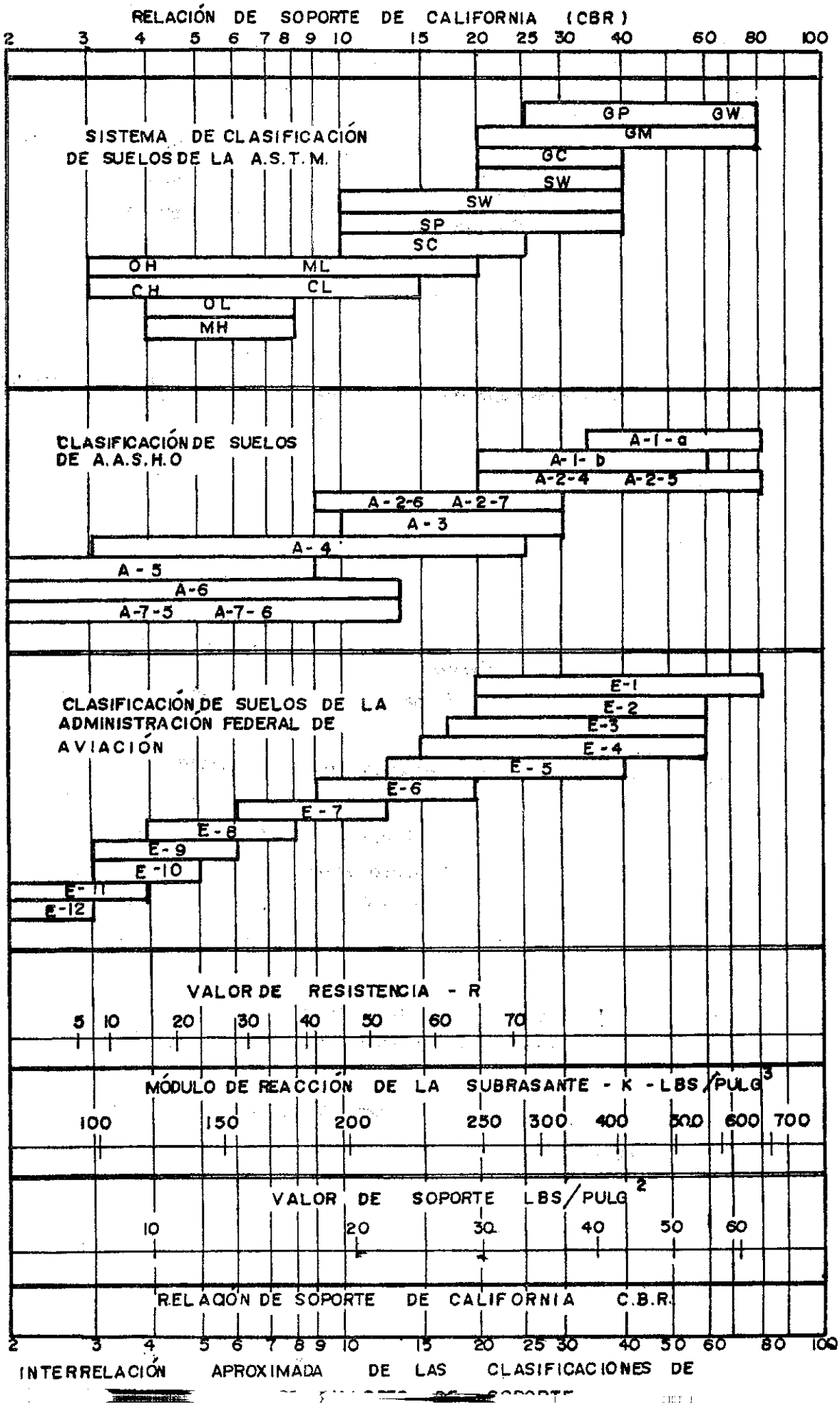
b) Las rocas aisladas, mayores de 10 centímetros, que se encuentren incorporadas en los 30 centímetros superiores de la capa de suelo de sub-rasante.

1.2.3 Sub-base.

Es la primera capa del pavimento y está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de un espesor compactado, según las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante, pero en ningún caso menor de 10 centímetros ni mayor de 70 centímetros, las principales funciones de la sub-base son:

a) Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base.

TABLA No 1a



INTERRELACIÓN APROXIMADA DE LAS CLASIFICACIONES DE

b) Servir de material de transición entre la terracería y la base, así también como elemento aislador; previniendo la contaminación de la base cuando la terracería contenga materiales muy plásticos.

c) Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base, hacia las cunetas. Es importante que la sub-base y la base en su sección transversal sean interceptadas por la cunetas, para que éstas drenen fácilmente el agua que aquéllas eliminan.

1.2.3.1 Requisitos de la sub-base

La capa de sub-base, debe estar constituida por suelos de tipo granular en su estado natural o mezclados, que forman y produzcan un material que llene los siguientes requisitos:

a) Valor Soporte: El material debe tener un CBR, AASHTO T-193, mínimo de 30, efectuando sobre muestra saturada a 95 % de compactación, AASHTO T-180, o bien un valor AASHTO T-90 mayor de 50.

b) Piedras Grandes y Exceso de Finos: El tamaño máximo de las piedras que contengan material de Sub-base, no debe exceder de 7 centímetros, el material de sub-base no debe tener más de 50 % en peso, de partículas que pasen el tamiz No. 200 (0.075 mm.).

c) Plasticidad y Cohesión: Debe tener las características siguientes:

Plasticidad: La porción que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm), no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T-90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T-89, mayor de 25, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T-146.

Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.

Equivalente de Arena. No debe ser menor de 25, determinado por el método de la AASHTO T- 176.

d) Impurezas. El material de sub-base debe estar razonablemente exento de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa de sub-base puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

1.2.3.2 Sub-base Estabilizada

Es la capa de sub-base preparada y construida aplicando la técnica de estabilización de suelos, para mejorar sus características de fricción interna y cohesión, por medio del uso de materiales o productos estabilizadores.

Los suelos a estabilizar pueden ser los existentes en la sub-rasante previamente preparada y reacondicionada, suelos seleccionados de bancos de material, ya sea en su estado natural, mezclando varios de ellos, o en combinación con los suelos de la sub-rasante. Los suelos a estabilizar no deben de contener piedras mayores de 5 centímetros, materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas en la sub-base estabilizada puedan perjudicar la estructura del pavimento.

Dentro de los materiales estabilizadores se puede encontrar: La Cal Hidratada, Lechada de Cal, Granza de Cal, Cal viva, Cemento Portland, y Materiales Bituminosos, aunque se pueden establecerse disposiciones especiales otros productos estabilizadores como: el uso de Cloruro de Calcio, Cloruro de Sodio, etc.

1.2.4 Base

Es la capa de material selecto que se coloca encima de la sub-base o sub-rasante, cuyo espesor debe ser no mayor de 35 cm , ni menor de 10 cm. dentro de sus principales funciones y características están las siguientes:

a) Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie de rodadura.

b) Servir de material de transición entre la sub-bases y la carpeta de rodadura.

c) Drenar el agua que se filtre a través de las carpetas y hombros, hacia las cunetas.

d) Ser resistente a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidas por el tránsito.

1.2.4.1 Requisitos para los materiales de Base de Grava o Piedra Triturada

El material de base debe consistir en piedra o grava de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno, llenando además los requisitos siguientes:

a) Valor Soporte: El material debe tener un C.B.R., AASHTO T-193, mínimo de 90 %, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de compactación AASTHO T-180.

b) Abrasiòn: La porción retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm) no debe de tener un desgaste mayor de 50 a 500 revoluciones en la prueba de la AASHTO T-96.

c) Caras Fracturadas, y Partículas Planas o Alargadas. No menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el Tamiz No. 4 (4.75 mm) deben de tener una cara fracturada ni más del 20 % en peso pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) Impurezas: Estar libre de materia vegetal, basura o terrones de arcilla.

e) Graduación del Material: cumplir con AASHTO T-27 y T-11.

f) Plasticidad y Cohesión:
Plasticidad: La porción del tamiz No. 40 (0.425 mm) no debe tener un índice de plasticidad mayor de 3 ni un límite liquido mayor de 25.

Material más Fino de 0.075 mm: El porcentaje que pasa el Tamiz No. 200 (0.075 mm), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el Tamiz No. 40 (0.425 mm).
Equivalente de Arena: No debe ser menor de 40 , determinado según AASHTO T-176.

g) Material de Relleno: Debe ser constituido por material arenoso, limo orgánico, polvo de roca con alto porcentaje de partículas que pasan el Tamiz No. 10 (2.00 mm).

1.2.4.2 Requisitos para los materiales de Base Granular:

Base granular: Es la capa formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial para constituir una base integrante de un pavimento. Debe de cumplir con los siguientes requisitos:

a) Valor Soporte: Debe de tener un C.B.R. determinado por el método de la AASHTO T-193, mínimo de 70 %, efectuando sobre muestra saturada, a 95 % de compactación AASHTO T-180, con un hinchamiento máximo de 0.5 % según el ensayo de AASHTO T-193.

b) La porción de agregado retenida en el Tamiz No. 4 , no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, determinado por el método AASHTO T-96, mayor de 50, a 500 revoluciones.

c) Partículas Planas o Alargadas. No más del 25 % en peso del material retenido en el Tamiz No. 4, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) Impurezas: El material de base granular debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura o terrones de arcillas.

e) Graduación : El material para capa de base granular debe llenar los requisitos de graduación determinados por los métodos de AASHTO T-27 y AASHTO T-11.

f) Plasticidad y Cohesión : La fracción de material que pasa el Tamiz No. 4, incluyendo el material de relleno , no debe tener en la porción que pasa el Tamiz No. 40 , un índice de plasticidad mayor de 6, determinado por el método AASHTO T-90, ni un límite líquido mayor de 25, según AASHTO T-89, determinadas ambas muestras preparadas en humedad, según AASHTO T-146, El equivalente de Arena no debe ser menor de 30 , según AASHTO T-176.

g) Material de Relleno: Cuando se necesite agregar material de relleno, en adición al que se encuentra naturalmente en el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, polvo de roca, limo inorgánico u o tro material con alto porcentaje de partículas que pasa el Tamiz No. 10.

1.2.4.3 Requisitos para los materiales de Base Estabilizada con Cemento Portland

La Base estabilizada con Cemento Portland: Es la capa de base, constituida de materiales pétreos y/o suelos mezclados con cemento Portland y agua, aplicando la técnica de estabilización,

con el objeto de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, además debe cumplir con los siguientes requisitos:

a) Abrasión: La porción de material retenida en el Tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por Abrasión mayor de 50, a 500 revoluciones, salvo casos especiales en donde no debe ser mayor de 60, a 500 revoluciones.

b) Desintegración al Sulfato de Sodio: No debe tener una pérdida de peso mayor de 15 % al ser sometido a cinco ciclos, según AASHTO T-104.

c) Caras Fracturadas y Partículas Planas o Alargadas. Cuando se requiera piedra o grava triturada, no menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el Tamiz No. 4, deben de tener por lo menos, una cara fracturada. En todo caso, no más del 20 % en peso, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

d) Impurezas. El material a estabilizar debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura o terrones de arcilla.

e) Graduación: debe de cumplir con los requisitos determinados en los métodos de graduación de la AASHTO T-27 y T-11.

f) Peso: El material a estabilizar debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad, y su peso unitario, determinado según AASHTO T-19, no debe ser menor de 60 libras/pie cúbico.

g) Material de Relleno: Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra en forma natural el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría, éste debe estar libre de impurezas.

1.2.4.4 Requisitos para los materiales de Base Negra

Base Negra es la capa de base constituída de materiales granulares pétreos, recubiertos con material bituminoso, con el objeto de mejorar sus condiciones de resistencia a la humedad y estabilidad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas adyacentes de la estructura del pavimento, dentro de los requisitos más importantes para los materiales se encuentran los siguientes:

a) Requisito para el material Pétreo. Debe consistir en piedra o grava de buena calidad, solamente clasificadas o trituradas total o parcialmente; combinadas con arena, polvo de roca, naturales o de trituración y material de relleno para formar un material pétreo que llene los requisitos siguientes:

a.1) Abrasión: La porción de material retenido en el Tamiz No. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, determinado por el método AASHTO T-96, mayor de 50, a 500 revoluciones.

a.2) Desintegración al Sulfato de Sodio: No debe tener una pérdida de peso mayor del 15 %, al ser sometidas cinco ciclos en el ensayo AASHTO T-104.

a.3) Caras Fracturadas y Partículas Planas o Alargadas: Cuando se requiera trituración, no menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el Tamiz No.4, deben tener por lo menos una cara fracturada. En todo caso, no más del 20 % en peso pueden ser partículas delgadas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

a.4) Impurezas: El material no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base negra, pueden causar a criterio profesional fallas en el pavimento.

a.5) Graduación: El material debe cumplir con los requisitos de graduación determinados según AASHTO T-27 y T-11.

a.6) Plasticidad: La porción de material que pasa el Tamiz No. 4, incluyendo el material de relleno, debe tener un índice de plasticidad no mayor de 4, determinado por el método AASHTO T-90 y un límite líquido no mayor de 25, determinado por el método AASHTO T-89, determinado ambos sobre muestra preparada en húmedo, de conformidad con AASHTO T-146.

El equivalente de Arena no debe ser menor de 25, según AASHTO T-176.

a.7) Peso: El material debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y su peso unitario, según AASHTO T-19, no debe ser menor de 80 libras/pie cúbico.

a.8) Resistencia al Desvestimiento: Las partículas de material deben ser de tal naturaleza, que al recubrirlas completamente con material bituminoso del tipo y grado a usarse en la capa de base negra, no presenten evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70 % de las partículas perfectamente cubiertas con material bituminoso al efectuar el ensayo de inmersión en agua a 60 grados Centígrados (ensayo de la Dirección General de Caminos). El uso de aditivos como agentes antidesvestimiento, está condicionado a los resultados positivos del ensayo anteriormente indicado, usando los productos propuestos en las proporciones mínimas que satisfacen el mismo.

b) Requisitos Para el Material de Relleno: Cuando se haga necesario agregar material de relleno al que se encuentre en estado natural, éste debe ser libre de impurezas y consistir en polvo de roca, limo inorgánico, cal hidratada, cemento portland u otro material mineral inerte con alto porcentaje de partículas que pasan el Tamiz No. 30.

c) Requisitos para el Material Bituminoso: La Temperatura de aplicación y la especificación que debe cumplir el material bituminoso, dependerá del tipo y grado de Asfalto, por ej., las para Emulsiones Asfálticas deben cumplir la especificación de AASHTO M-140, y M-208, con una temperatura de aplicación entre 24 a 55 grados centígrados.

d) Requisitos para la Mezcla: La mezcla de material pétreo y material bituminoso, debe de llenar los requisitos ya establecidos, dependiendo cual método de diseño de mezclas se utilice.

1.3 ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL TRÁNSITO

1.3.1 Volumen del Tránsito

Se entiende por volumen de tránsito cierta cantidad de vehículos de motor que transita por un camino, en determinado tiempo. Las unidades más comúnmente usadas en los volúmenes de tránsito, son "Vehículos por Día" o "Vehículos por Hora ".

Existen diferentes volúmenes de tránsito. Naturalmente, esto depende del camino o del tramo de camino. Hay rutas de tipo turístico, el tipo agrícola, el tipo comercial. En fin, la variación de los volúmenes depende del tipo de la ruta, según las actividades que prevalezcan en ella. En zonas Agrícolas las variaciones horarias dentro de la época de cosecha son

extraordinarias; puede ser que en ciertas horas de la noche no haya absolutamente ningún vehículo y sin embargo, a ciertas horas del día hay tal cantidad de vehículos que saturan la carretera de dos carriles, En cambio en una ruta turística el tráfico se da en aquellas épocas de vacaciones, por mencionar algunas semana santa, las fiesta de fin de año, etc.

En las ciudades se tiene una variación típica de la siguiente manera: La madrugada empieza con bajo volumen de vehículos, el cual empieza a aumentar gradualmente hasta alcanzar cifras máximas entre las 8 y las 10 horas, de las 10 a las 13 horas, vuelve a bajar y empieza a ascender para llegar a otro máximo entre las 14 y 16 horas. Vuelve, una vez más a disminuir entre las 14 y las 18 horas, en que asciende otra vez para alcanzar un tercer valor máximo entre las 18 y 20 horas. De esa hora tiende a bajar al mínimo en la madrugada.

Ser han estudiado cuáles son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Los máximos generalmente se registran, en caminos de tipo turístico, los sábados y domingos. En el camino de tipo comercial o agrícola, entre semana. En las calles de la ciudad, entre semana, más o menos distribuidos en los días laborables, etc.

Dentro de la variación anual hay meses que llevan mayores volúmenes que otros, estos meses coinciden con los de vacaciones.

Los recuentos de volúmenes de tránsito pueden realizarse de diversas formas y, existen dos métodos de conteo de tránsito, los cuales son: Conteos Manuales y Mecánicos.

1.3.1.1 Conteos Manuales:

Para realizarlos se debe de contar con personas debidamente entrenadas, a estos conteos también se les llama conteos visuales, ya que se basan en la habilidad de las personas de ver y a la vez de apuntar lo visto.

1.3.1.2 Conteos Mecánicos:

Los cuales ponen a disposición una serie de aparatos diseñados para el registro automático de volúmenes de tránsito. Al observar un contador mecánico se nota que consta de dos unidades básicas que son: Detector Vehicular, y El Aparato Registrador.

Principalmente son aparatos eléctricos, que mediante detectores registran el paso de cada vehículo un punto dado de un camino o calle. En algunos casos el registro es realizado en una cinta

donde se imprime un número acumulativo de vehículos , o en una cinta perforada, para su utilización posterior en una computadora. También hay registros gráficos de diversos tipos. Entre los detectores se tienen los siguientes:

a) Detector Neumático: Consiste en una manguera de caucho cerrada en un extremo, la cual se coloca normalmente a la dirección de la carretera y por lo tanto del tránsito, para registrar el número de vehículos. También se observa en él, una membrana que es la encargada de accionar el contacto eléctrico del aparato registrador, el cual anota una unidad vehicular por dos eje. Los contadores o detectores neumáticos cuentan pares de ejes, por lo tanto hay que hacer ajustes para fines comparativos.

b) Detectores Eléctricos: Este tipo de detector es utilizado en estaciones permanentes, el cual consisten en una placa de acero cubierta por una capa de hule vulcanizado y moldeado, que contiene una tira de acero flexible. El espacio formado entre los contactos es llenado con un gas inerte y seco, durante el montaje del pedal y sellado como una unidad durante el proceso de vulcanización . Al pasar cada eje de un vehículo sobre este dispositivo se cierra un circuito eléctrico. Con este tipo de detector es posible realizar recuentos de vehículos por carril, un dispositivo tipo provisional consiste de un contacto metálico separado por aire y un espaciador de goma resinosa.

c) De Radar: Un fenómeno natural que ocasiona que una señal de radio al ser reflejada por un objeto en movimiento cambie su frecuencia con relación a la señal de radio incidente, es lo que hace posible la detección de vehículos por medio del radar. Este fenómeno es conocido como el Efecto Doppler. El equipo electrónico que utiliza el radar compara continuamente la frecuencia de la señal recibida. Siempre que exista una diferencia de frecuencia será detectado un vehículo. Los dispositivos de radar no están sujetos a deterioro por la acción del tránsito. Los datos obtenidos son precisos y dignos de confianza.

d) Otros: Recientemente, se han desarrollado detectores bajo el principio de los rayos infrarrojos y de ultrasonido, cuya aplicación seguramente requiere pasar por cierta etapa de prueba.

Los estudios se pueden realizar por períodos cortos o bien en forma permanente. Por lo general se realizan ambos tipos de estudios, obteniendo la correlación entre ellos. Para conocer el movimiento de vehículos de y hacia cierta zona urbana se lleva acabo el estudio denominado

"Recuento en Cordón" . Equivale a rodear la zona con estaciones de recuento, donde se registran las entradas y salidas de vehículos.

Otro método de estudio es el del " Automóvil en Movimiento". Consiste en conducir un automóvil dentro de la corriente de tránsito, registrando los vehículos. En este último caso se debe anotar a los vehículos los que lo rebasan y a los que son rebasados. El tramo en estudio debe ser recorrido varias veces, recomendándose que la duración del estudio sea de 20 minutos por cada kilómetro, en calles principales y de 6 minutos por cada kilómetro en calles secundarias.

El vehículo debe circular a una velocidad media con respecto a los demás vehículos en la corriente del tránsito. En la hoja de campo debe anotarse por separado el número de vehículos rebasados, el número de vehículos que rebasan y el número de en sentido contrario. Se determina el volumen horario de tránsito con la siguiente fórmula:

$$Vh = (60 * Me + (R - A)ms) / (Tc + Tms)$$

donde

Vh = volumen horario de tránsito en un sentido.
Me = número de vehículos encontrado en el tramo.
(R-A)ms = número de vehículos que rebasan menos el número de vehículos rebasados, en el mismo sentido en que se viaja.
Tc = tiempo del viaje en minutos, circulando en sentido contrario al flujo en estudio.
Tms = tiempo del viaje en minutos, circulando en el sentido del flujo en estudio.
60 = constante (min./hora).

1.3.2 Especificaciones para los ejes de camiones:

a) Un eje sencillo:

Está compuesto, normalmente, de dos llantas en automóviles livianos y en camiones pesados por cuatro llantas.

b) Un eje en tandem:

Está compuesto por dos ejes sencillos, cada eje sencillo tiene cuatro llantas, por lo cual el eje en tandem tiene ocho llantas.

1.3.3 La Carga Máxima Utilizada en Guatemala:

El eje simple de carga equivalente de 18,000 libras podría ser definido como el eje simple con esa carga cuya repeticiones causarían en el comportamiento del pavimento el mismo efecto que causaría la repetición de cualquier combinación de ejes con carga de diferente magnitud.

El manual serie No. 1 (MS-1) -1,970, del Instituto de Asfalto Norteamericano para el diseño de pavimentos flexibles, establece un método para obtener el número de ejes simples con carga equivalente a 18,000 libras, que sería el número de diseño de tránsito que se utiliza en el método de diseño de la AASHO.

También en el método de diseño de pavimentos rígidos de la Asociación del Cemento Portland, se utiliza un censo estándarizado o promedio de tránsito llevado en el formulario W-4, es así como se puede establecer el número de ejes simples con rueda dupla, con carga equivalente de 18,000 libras, que se utiliza en el método de la AASHO.

Se hace notar que en las calles y carreteras es recomendable limitar las cargas de las ruedas, por eje simples y tandem de los vehículos, de manera que estas cargas no excedan de las utilizadas en el diseño.

1.3.4 Conteo del Tránsito:

A continuación se enumera una de las clasificaciones con la cuales el diseñador puede auxiliarse para poder tomar en cuenta todos los vehículos que transitan por las carreteras y calles de la república de Guatemala.

1.3.4.1 Tránsito Liviano:

En esta clasificación están incluidos aquellos vehículos livianos, automóviles, pick-ups, paneles, incluyendo algún otro camión de dos ejes sencillos, con dos llantas en cada eje, haciendo un total de 4 llantas.

La carga por eje sencillo de estos vehículos varía según el rango de 2 a 5 toneladas; por consiguiente, la carga y repeticiones de los vehículos livianos no tiene efecto alguno para el diseño de un pavimento.

1.3.4.2 Tránsito Mediano o Medio:

Incluye los camiones de reparto, buses y camiones, camiones medianos y pequeños de carga de 6 llantas y un eje sencillo atrás de 4 llantas, cuyo rango de carga por eje varía de 5 a 8 toneladas.

1.3.4.3 Tránsito Pesado:

Está constituido, principalmente, de vehículos comerciales pesados, normalmente vehículos de dos ejes y 6 llantas o más, o combinaciones de tres ejes o más. Así los valores permisibles de tránsito promedio diario de camiones (TPDC), incluyen solamente camiones de 6 llantas y unidades simples o combinaciones de tres ejes o más. La carga por eje sencillo de dos y cuatro llantas para tránsito pesado, generalmente se, encuentra en el intervalo de 8 a 18 toneladas y para ejes en tandem de 8 llantas, en el intervalo de 14 a 30 toneladas de peso. Para el tránsito pesado, no se incluyen camiones de dos ejes con dos llantas en cada eje. A continuación se enuncian los camiones pesados de mayor uso en la república de Guatemala.

a) Tipo 2:

Este incluye dos ejes sencillos, el eje de la parte delantera está integrado por dos llantas y el eje de la parte posterior con cuatro llantas, haciendo un total de seis llantas.

b) Tipo 3:

El número 3 indica que contiene tres ejes sencillos, caracterizándose éste, en tener un eje sencillo adelante y un eje en tandem atrás; cada eje en tandem tiene dos ejes sencillos o sea dos llantas adelante y ocho llantas atrás, con cuatro llantas en cada eje sencillo pertenecientes al eje en tandem; con un total de 10 llantas. Es uno de los tipos más utilizados por fabricas de concreto de cemento portland, y por los buses de transporte inter-urbano.

c) Tipo 2-S-1:

Camión con semi-remolque, dos ejes sencillos en el tractor camión; el eje de adelante está compuesto por dos llantas y el eje de atrás por cuatro llantas. El semi-remolque está compuesto por un eje sencillo de cuatro llantas, haciendo un total de diez llantas.

d) Tipo 2-S, 1-T

Camión con semi-remolque; dos ejes sencillos en el tractor-camión; el eje sencillo de adelante compuesto por dos llantas y, el eje sencillo de atrás por cuatro llantas y un eje en tandem de ocho llantas en el semi-remolque, compuesto por dos ejes sencillos con cuatro llantas en el semi-remolque, formado por dos ejes sencillos, con cuatro llantas en cada eje sencillo; haciendo un total de catorce llantas.

e) Tipo 1-1, T-S-1

Camión con semi-remolque; un eje sencillo y un eje en tandem en el tractor-camión; el eje sencillo compuesto por dos llantas y el eje en tandem por ocho llantas. En el semi-remolque existe un solo eje en tandem con ocho llantas; haciendo un total de 18.

CAPÍTULO 2

PAVIMENTO FLEXIBLE

2 PAVIMENTO FLEXIBLE

Son aquellos que tienen una base flexible, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento, formada por una mezcla bituminosa de alquitrán o asfalto.

2.1 ASFALTOS:

Los asfaltos son productos que se obtienen de la destilación del petróleo crudo, ya sea ésta realizada mecánica o naturalmente.

2.1.1 Asfalto Natural:

El asfalto natural se forma cuando el crudo de petróleo sube a la superficie terrestre a través de grietas. La acción del sol y del viento separa los aceites ligeros y los gases, dejando un residuo negro y plástico que es el asfalto.

La mayor parte de los asfaltos naturales están impregnados con un alto porcentaje de arcilla o arena muy fina, recogida durante el viaje del crudo a través de la corteza terrestre.

2.1.2 Asfalto de Petróleo:

Los asfaltos de petróleo se obtienen del crudo por destilación y son los más corrientemente empleados, la destilación puede ser por vapor o por aire. La primera produce un asfalto de pavimento excelente, mientras que la segunda da un producto de poco uso en pavimentación.

2.2 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE PAVIMENTACIÓN:

Los principales asfaltos que se utilizan para la construcción y mantenimiento de carreteras son los siguientes:

2.2.1 Los Asfaltos Líquidos de Fraguado Lento (S.C.) o Road Oils:

Éstos son aceites residuales asfálticos con poco o ningún elemento vólatil; pueden ser fabricados de la mezcla de un cemento asfáltico (A.C.) con un aceite residual, variando sus características desde pobres a excelentes.

2.2.2 Asfaltos Líquidos de Fraguado Medio (M.C.) o Asfaltos Rebajados Cut-Backs:

Se obtienen de la mezcla de cemento asfáltico con un producto altamente vólatil, en este caso con kerosina.

2.2.3 Asfaltos Líquidos de Fraguado Rápido (R.C.)

Estos son la mezcla de un cemento asfáltico con producto más volátiles aún que la kerosina, como la nafta o la gasolina.

2.2.4 Cemento Asfáltico:

El cemento asfáltico es un producto homogéneo y normalizado de color negro y consistencia sólida o semisólida a temperatura ambiente, compuesto por una mezcla de hidrocarburos obtenidos del proceso de destilación del petróleo. Para su utilización puede ser licuado mediante aplicación controlada de calor. Se designan por las letras AC seguidas por dos cifras que indican límites de penetración de aguja en décimas de mm.

El cemento asfáltico, tal como su nombre lo indica, es un material cementante de gran versatilidad para su empleo en pavimentos debido a sus características, que se pueden resumir en las siguientes:

a) Alta impermeabilidad, adherencia y cohesión, propiedades que le otorga a la mezcla asfáltica que se obtiene al mezclarlos con áridos de variada procedencia.

b) Posee consistencia y viscosidad controlada que permite la obtención de un pavimento estable a diferentes temperaturas y bajo la acción de distintas solicitaciones de tránsito.

c) Otorga a las mezclas con árido características de flexibilidad que permiten a la estructura del pavimento adaptarse a deformaciones graduales sin agrietarse.

d) Proporciona a las mezclas con árido características resistentes ante la acción de cargas repetidas, otorgando el aporte estructural al pavimento.

De acuerdo a las diferentes aplicaciones del cemento asfáltico en pavimentos de carreteras, aeropuertos, calles, zonas de estacionamiento, pavimentos industriales, deportivos, carpetas de recubrimiento en obras hidráulicas y puentes, canales de riego, etc., se tienen distintos tipos según sea su uso en mezclas, riego o tratamientos.

La utilización del cemento asfáltico en pavimentos se presenta en tres áreas: Mezclas asfálticas en caliente, tratamientos asfálticos superficiales y sellos de fricción.

2.2.4.1 Mezclas Asfálticas en Caliente

Los nombres como: Concreto Asfáltico (graduación densa), Binder Asfáltico (graduación intermedia), Base asfáltica (graduación gruesa) son utilizados comúnmente en nuestro medio en pavimentos. El nombre genérico deriva del sistema de fabricación que se realiza calentando el árido y el asfalto en unidades especialmente diseñadas, que permiten la dosificación de cada componente en las cantidades indicadas por el proyectista de la mezcla.

La elección del tipo de AC adecuado para cada diseño está en relación directa con el clima y tránsito. De acuerdo a dichos parámetros, el tipo de cemento asfáltico a emplear se eligirá de acuerdo la tabla No. 2a.

TABLA NO. 2a
GUÍA PARA EL USO DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

CLIMA / TRÁNSITO	CALUROSO	TEMPLADO	FRÍO
PESADO	60/70	60/70	85/100
MEDIO	60/70	60/70	120/150
LIGERO	60/70	85/100	120/150
AEROPUERTOS	60/70	60/70	85/100
PAVIMENTOS			
- INDUSTRIALES	40/50	40/50	60/70
- DEPORTIVOS	60/70	85/100	85/100

2.2.4.2 Tratamientos Asfálticos Superficiales:

Consisten en la aplicación de cemento asfáltico líquido sobre una superficie generalmente no pavimentada, seguida inmediatamente por un riego de árido de tamaña uniforme. Los tratamientos superficiales múltiples consideran dos o más aplicaciones alternadas de AC y árido.

Los cementos ASFALTICOS adecuados para estas aplicaciones son los de penetración superior a 120.

2.2.4.3 Sellos De Fricción

Son aplicaciones de una capa delgada de mezcla en planta en caliente de graduación abierta sobre pavimento, con el objeto de prevenir el hidroplaneo y mejorar la resistencia al deslizamiento.

La temperatura de aplicación de un AC es directamente dependiente de su relación viscosidad-temperatura, graduación de los áridos y condiciones climáticas.

2.2.5 Emulsiones Asfálticas:

Están compuestas por tres elementos, agua, asfalto líquidos compuestos por cemento asfáltico y un agente emulsionante. Dado que el cemento asfáltico y el agua son inmiscibles entre sí, para producir una emulsión es necesario dispersar el asfalto en pequeñisimos glóbulos e incorporar agentes químicos como emulsificantes para hacer estable el sistema.

El equilibrio físico-químico del sistema se mantiene debido a la película que se forma en la superficie de los glóbulos de asfalto, dándoles una carga eléctrica definida y haciendo que éstos se repelan entre sí.

Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto la emulsión se pueden clasificar en aniónica o alcalina (Carga negativa) y cantiónica o ácida (Carga Positiva).

Mediante el proceso indicado se obtienen asfaltos líquidos que pueden ser trabajados en frío o con un ligero calentamiento. Al tomar contacto la emulsión con cualquier elemento de carga contraria a la propia se produce el fenómeno denominado Quiebre de la emulsión. En particular al entrar en contacto con agregado pétreo los glóbulos de asfalto se depositan en forma de película

sobre la superficie del agregado, separándose el agua, lo cual se manifiesta por un cambio de coloración de café a negro. Finalmente, una vez que el agua ha drenado, se evapora completándose de este modo el proceso de curado, al cabo del cual queda sólo el cemento asfáltico actuando como ligante con todas sus cualidades.

Debido a lo anterior, y dada la variedad de suelos en nuestro país, es que se recomienda hacer ensayos, con muestras del árido a utilizar, con el objeto de obtener la emulsión adecuada.

Las emulsiones asfálticas se clasifican de acuerdo a tres parámetros: carga eléctrica del glóbulo de asfalto, velocidad de quiebre y consistencia del residuo asfáltico.

a) Velocidad de Quiebre: hay agentes emulgadores que permiten que el quiebre sea instantáneo, otros en cambio retardan el fenómeno, de acuerdo a ésto se tiene la siguiente denominación: RS (Quiebre rápido), MS (Quiebre Medio), y SS (Quiebre lento).

b) Carga de Partículas: según sea la carga iónica, las emulsiones se dividen en: Aniónicas, que son aquellas en las partículas de asfalto tienen carga negativa. La fase del agua es alcalina y son afines con agregados pétreos de polaridad positiva, tal es el caso de áridos calizos.

   Catiónicas: aquellas en que las partículas de asfalto tienen carga positiva. La fase del agua es ácida y son afines con agregados pétreos de polaridad negativa. tal es el caso de áridos cuarzosos y silíceos.

   Existen ya normas de la AASHTO que dan los requisitos para emulsiones asfálticas, como para las emulsiones catiónicas (AASHTO M-208) y para las emulsiones aniónicas (AASHTO M-140).

c) Penetración de residuo: de acuerdo a las condiciones climáticas en el entorno de la obra, muchas veces será necesario el uso de emulsión cuyo residuo asfáltico tenga dureza. Estas se diferencian colocando una letra h al final de su denominación cuando la penetración del residuo está entre 40 y 90 décimas de mm.

La característica de ser no contaminantes y de poder ser utilizadas en frío y con áridos húmedos hacen de las emulsiones un producto muy versátil, tanto en la confección de mezclas

como de tratamientos de distinta naturaleza. La Tabla No.2b es sólo una guía para la elección de la emulsión a utilizar de acuerdo al tipo de aplicación.

TABLA No. 2b
GUÍA PARA EL USO DE EMULSIONES

	CRS-1 RS-1	CRS-2 RS-2	MS-1	CMS-2 MS-2	CMS-2h MS-2h	CSS-1 SS-1	CSS-1h SS-1h
Mezclas en Sitio							
-Árido Graduados				X		X	X
-Graduación Abierta			X	X	X		
Sello Negro						X	X
Riego de Liga	X (1)					X	X
Tratamientos Superficiales	X	X		X(2)	X(2)		
Mezcla para Bacheo						X	X
Mezcla en Planta							
- Áridos Graduados				X		X	X
- Graduación Abierta			X	X	X		
Lechadas Asfálticas						X	X
Membranas de curado						X	X

La emulsión asfáltica, se aplicará mediante camiones distribuidores de asfalto, especialmente acondicionados para este efecto. La temperatura de aplicación dependerá de factores tales como condición de la superficie existente, condiciones climáticas, graduación de los áridos, características de tránsito, etc. la cantidad de producto a utilizar dependerá de la textura de la superficie a regar. Para el caso de los tratamientos superficiales dependerá además del tipo y graduación del árido utilizado y será determinada en el respectivo estudio de dosificación.

2.2.6 Asfaltos En Polvo:

Los asfaltos en polvo son duros, sólidos y tienen una penetración inferior a 10, para su uso el asfalto se pulveriza hasta un estado de subdivisión muy fino, con el 100 por 100 pasando el tamiz número 10, y por lo menos el 50 por 100 pasando el tamiz número 100. Se emplean los asfaltos pulverizados en algunas mezclas patentadas, tales como Celprovia, pero generalmente se utilizan en construcción de bajo costo junto con un agente fluidificante como el SC-2, SC-3, o SC-4.

El polvo asfáltico se añade a los áridos y a los Road Oils, según sea el sistema de construcción que se emplee. En la carretera bajo los efectos del calor y la presión, se une lentamente con el aglomerante para producir un resultado de consistencia similar a la del cemento asfáltico en mezcla fría.

2.3 ALQUITRANES:

El alquitrán como el asfalto es un producto de destilación, pero el material bituminoso se extrae del carbón en lugar del petróleo. Hay dos tipos de alquitranes, el de carbón y el de agua-gas.

Este último se combina corrientemente con el primero como agente fluxante. Existen otros alquitranes como los de madera, turba, huesos etc., pero no se consideran adecuados como materiales de pavimentación.

2.4 RIEGOS DE LIGA:

Pueden definirse los riegos de liga como un material bituminosos que, aplicado a la superficie de una carretera antigua, sirve para unir el pavimento antiguo y el nuevo.

Se hace necesario antes de aplicar esta capa, remover de la superficie todo material extraño y suelto. Se aplica el betún viscoso por medio de un distribuidor, a razón de 0.2 a 1.0 litros por metro cuadrado.

Hay que tener cuidado de vigilar el período de secado o cura, de manera que tome un estado pegajoso antes de extender la capa de superficie. Los asfaltos recomendados para usar son los siguientes: Asfaltos líquidos (RC-1, RC-2), Cementos Asfálticos (60-70, 85-100, 150) y Emulsiones (SS-1, SS1h).

2.5 RIEGOS O CAPAS DE IMPRIMACIÓN

Los riegos de imprimación se realizan con un material bituminoso ligero aplicado a piedra, grava, terreno estabilizado u otra base similar, de una superficie bituminosa dada, con el fin de servir de agente de unión y sellar la junta entre la base y el nuevo pavimento. De esta forma se retarda la subida de humedad a la superficie por capilaridad y el paso de la humedad superficial a la base.

Después de haber colocado esta capa de imprimación no es conveniente que los vehículos transiten sobre ella por lo menos durante un tiempo mínimo de 24 horas, pues no tienen la suficiente resistencia para esa finalidad. Antes de aplicar el riego de imprimación debe removerse de la base terminada todo material suelto y extraño por medio de un barrido ligero; también debe removerse las superficies lustrosas y las concentraciones de materiales finos, siendo aconsejable antes de imprimar una base, humedecerla ligeramente.

Los asfaltos recomendados para usar son los siguientes: Asfaltos líquidos (SC-1, SC-2, MC-2, RC-1, RC-2,), Cementos asfálticos (60-70, 85-100, 120-150) y Emulsiones (SS-1, SS-lh). Se recomienda usar entre 0.4 y 1.5 litros por metro cuadrado según el tipo de base que se imprima. Después de aplicado el riego o capa de Imprimación, debe dejarse curar no menos de 48 horas y, luego, se cubrirá con una capa de arena, posteriormente puede permitirse la circulación sobre ella.

2.6 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES ASFÁLTICOS

El tratamiento superficial asfáltico es un término que se usa para identificar la aplicación de uno o varios riegos de asfalto, recubiertos cada uno con agregados, según el número de capas aplicadas, el tratamiento superficial se identifica como simple, múltiple y macadam de penetración.

Los tratamientos superficiales tienen diversas aplicaciones por su bajos costos de construcción y porque cuando están bien construidos sobre base sólidas y firmes, con bajos costos de mantenimiento, tienen una prolongada vida útil. Sus principales funciones son las siguientes:

a) Suministrar una superficie de bajo costo inicial que sirva al tránsito en todo tiempo.

b) Impermeabilizar los pavimentos que se han agrietado o envejecido para evitar la entrada de agua a las bases.

c) Proporcionar una superficie de rodamiento con mayor adherencia, cuando la superficie existente se haya vuelto resbaladiza por desgaste a pulimento.

d) Dar nueva vida a las superficies secas y envejecidas de los pavimentos asfálticos que estén a punto de desintegrarse por el tiempo, uso u otras circunstancias.

Por estar un alto porcentaje de las carreteras guatemaltecas construidas con este tipo de pavimentos, es importante conocer los procedimientos empleados en su construcción y

mantenimiento, así como también los materiales requeridos, temas que no son tratados en el presente trabajo por lo cual se recomienda consultar la bibliografía.

2.6.1 Tratamiento superficial simple

El tratamiento superficial simple consiste en un recubrimiento delgado de aglomerante y áridos, aplicado en la base o superficie existente. Para su construcción se aplica a la base o superficie un material bituminoso y a continuación áridos de pequeño tamaño para borrar o proteger el betún.

También se conocen estos tratamientos como capas de sello. El orden de las operaciones es esencialmente el siguiente: Barrido, Imprimado y Curado, Aplicación de ligante, Aplicación del Agregado, Apisonado y barrido por Arrastre.

2.6.2 Tratamiento superficiales múltiple o de penetración inversa

Este sistema de construcción de carreteras es muy parecido al anterior, excepto que se dan dos o más aplicaciones de áridos y betún para obtener una superficie con mayor capacidad de soporte de cargas. Pueden emplearse áridos gruesos en la primera capa, pues podrán ser conservados en su sitio por los fines que se aplican en las capas sucesivas.

Recibe el nombre de penetración inversa porque el orden de aplicación es el contrario del empleado en el macadam de penetración.

Las operaciones necesarias son las siguientes: Barrido, Imprimado y Curado, Primera aplicación del Ligante, Primera aplicación del agregado, Primer apisonado y barrido por arrastre, Segunda aplicación de Ligante, Segunda aplicación de agregado, Apisonado y barrido de arrastre finales. El número de aplicaciones depende del espesor deseado; pueden ser hasta tres o cuatro.

2.6.3 Macadam de Penetración

Su nombre proviene del empleo de agregados tipo macadam y del sistema de penetración para aplicar el ligante. Los aglomerados de penetración inversa son rara vez más espesos de 1.5 pulgadas, mientras que el macadam de penetración puede tener 4 o más pulgadas de espesor. Por este motivo y por la naturaleza de su construcción y tamaño de los áridos empleados, puede generalmente soportar cargas de tráfico pesadas. El orden de operaciones es el siguiente: Barrido,

Imprimado y Curado, Primera aplicación de agregados, Primer apisonado, Primera aplicación del ligante, Segunda aplicación de agregado, Segundo apisonado, Segunda aplicación de ligante, Tercer aplicación de agregado, Apisonado y barrido de arrastre finales. Se han descrito tres pasadas, que es el número corriente, aunque algunas carreteras se construyen con cuatro y otras con dos.

2.7 MEZCLAS

Se pueden diferenciar dos tipos de mezclas, Las mezclas llamadas en frío y las realizadas en caliente, toda mezcla es preparada antes de su colocación final, éstas tienen la característica que son muy estables y altamente trabajables, por lo cual son adaptables para el mantenimiento de carreteras, como sobre superficies bituminosas.

Existe una variedad de formas de elaboración de mezclas, ya sea en frío como en caliente, pero en este trabajo sólo se describirán las que son más utilizadas en nuestro medio.

2.7.1 Mezclas en el camino

Como su nombre lo indica consiste en mezclar el agregado y el ligante en el camino y utilizar el sol y el viento para quitar la humedad a los agregados. Hay tres sistemas diferentes de mezclar el agregado y el ligante, que se explican más adelante, en cuanto a las otras operaciones, son esencialmente las mismas y que se enumerar a continuación:

a) Barrido: Para quitar toda aquel material que es considerado como inapropirado.

b) Imprimado y curado: Opcional, según las condiciones de la base.

c) Aplicación del agregado.

d) Secado: Si el agregado acopiado está demasiado húmedo, debe ser aireado con hojas esparcidoras.

e) Mezcla: Los diferentes sistemas de mezclar el agregado y el ligante son: Mezcla con hoja, mezcla mecánica y mezcla en planta móvil.

f) Esparcido de la Mezcla: Con hoja esparcidora hasta alcanzar la forma y espesor sin compactar.

g) Apisonado: El apisonado se comienza por los bordes exteriores y progresa hacia el centro en pasadas sucesivas. La apisonadora puede ser de rulos lisos o con ruedas neumáticas, según la graduación de los agregados.

2.7.1.1 Mezclas preparadas con hojas esparcidoras:

Se le denominan también mezclas en frío y en camino ya que en su elaboración se emplean asfaltos líquidos y porque generalmente se utiliza un tramo de la misma carretera para realizarla, hojas esparcidoras son recomendables utilizarlas en pequeños tramos o con longitud del pavimento a realizar es relativamente pequeña. Una de las desventajas que presenta este sistema es la dificultad de obtener un grado de exactitud aceptable, ésta no depende sólo de las hojas esparcidora al mezclar el agregado y el ligante, como el sistema de operación. En primer lugar los agregados presentan variaciones en cantidad por metro líneal motivadas por: El factor humano, Tendencia a esponjarse los agregados cuando están húmedos o mojados, que no aparece cuando se les pone primeramente en montón, dificultad de impedir las pérdidas de agregados por rodamiento en las partes montañosas durante las operaciones de secado. En segundo lugar, el operario del distribuidor no puede variar con exactitud la cantidad del betún en relación con las distintas cantidades de agregados que encuentra. Con todo esto hace difícil obtener una proporción exacta y hace que aparezcan frecuentemente en el aglomerado puntos demasiados ricos o demasiados pobres.

El tiempo necesario para completar el ciclo de mezclas es muy largo en comparación con los otros sistemas. Por ejemplo, en los días fríos no se puede aplicar el betún hasta media semana, después de lo cual se necesitan varias horas para completar la mezcla. Si los agregados y el betún parcialmente mezclados se humedecen, se pierden días secando el material.

Una vez que el agregado ha sido secado y esparcido uniformemente sobre una de las vías del camino, se llevan a cabo las siguientes operaciones para completar el mezclado:

a) Aplicación parcial del betún. Corrientemente con distribuidor en tres aplicaciones distintas.

b) Mezcla parcial. Las motoniveladoras mezclan parcialmente el betún y los agregados dejando la menor cantidad libre de betún posible en la superficie y evitando la formación de charcos de material.

c) Mezcla: El material mezclado parcialmente se acopia en forma y se trabaja atrás y adelante sobre el camino, con la hojas esparcidora, hasta que las partículas de agregado están revestidas y haya la menor cantidad posible de zonas con exceso o falta de betún.

2.7.1.2 Mezclas Mecánicas

Se entiende por tal la realizada con equipos operados mecánicamente, pero sin recoger el agregado, elevándolo del camino, ni proporcionarlo exactamente con el ligante. En unos casos el mezclador no puede añadir el ligante por sí mismo, como ocurre con la hoja esparcidora, y un distribuidor operando independientemente aplica el betún. En otros casos se aplica el ligante juntamente con la mezcla según avanza la máquina. El mezclado real es efectuado por mezcladores mecánicos, está basado en la agitación del agregado y el betún por algún tipo de púas o paletas unidas a un eje rotativo, montado de forma que trabaje en ángulo recto, oblicuo o paralelamente a la dirección de marcha. Dentro de ventajas que se tiene al utilizar equipo mecánico en comparación con las hojas esparcidoras están: La reducción del ciclo de mezcla de horas a minutos y sin que se expongan a la intemperie materiales parcialmente mezclados, Se obtiene una mezcla más homogénea, con menos probabilidad de pérdidas de ligante suelto, en la base o fuera del camino. Con este sistema aún es imposible la proporción exacta del ligante. Unicamente la velocidad constante del mezclador y un flujo continuo de ligante y agregado en la cámara de mezcla, puede alcanzarse cierto grado de exactitud.

2.7.1.3 Mezcla en planta móvil:

Las plantas móviles dan una proporción exacta de agregado y betún, independientemente del tamaño del acopio de árido, velocidad de marcha o errores del personal, significando, por consiguiente un gran adelanto en las operaciones de mezcla sobre el camino. La máquina utilizada generalmente consta de un elevador de canjilones que recoge el material mineral, previamente colocado y preparado en una orilla de la carretera, enviándolo a una tolva o depósito donde se controla la salida en cantidad, pero sin tomar en cuenta su granulometría. Los agregados salen de la tolva medidos a través de una compuerta de calibración y por medio de una banda sinfín son llevados al amasador. Conforme va llegando el material al amasador, por medio de un alimentador conectado mecánicamenta a una bomba de asfalto, el agregado es regado y mezclado en una proporción exacta. La mezcla así obtenida es depositada en el camino por medio de otra banda sinfín, formándose un camellón a medida que la máquina avanza. Además de las ventajas de la mezcla mecánica, tiene las siguientes:

a) Proporción Uniforme.

b) Ahorro en ligante.

c) No todos los tipos de graduación de agregados necesitan el mismo período de mezcla en la amasadora, de aquí la ventaja de poseer un medio sencillo de variar este tiempo. Esto se consigue con una compuerta de contención en el punto de descarga o por la inversión de la paletas de la amasadora, de forma que el flujo de mezcla a través de ella se retarde.

2.7.2 Mezcla en Planta Fija:

La planta fija de mezcla se coloca fuera de la carretera y en una situación centralizada, frecuentemente, junto a la cantera. Aunque el costo inicial de las plantas fijas es alto, sus buenos resultados compensan la cuantiosa inversión realizada, pues produce mezclas que son de alta calidad, desde todo punto de vista. Existen tres tipos diferentes de plantas, la mezcla procedente de cada uno de ellos se maneja de la misma manera. El orden de operaciones de construcción es el siguiente:

a) Barrido: Para quitar la tierra y cualquier otra materia extraña.

b) Capa de imprimación o de ligazón y curado: Opcional, según las condiciones de la base

c) Acarreo de la mezcla desde la Planta Fija: Corrientemente se emplean camiones que vuelcan el material en la acabadora o esparcidora o sobre la base según el sistema empleado para preparar la superficie.

d) Esparcido de la mezcla: Puede hacerse a mano, con motoniveladora o con esparcidora o acabadora mecánica de autopropulsión.

e) Apisonado: Usualmente se inicia en los bordes exteriores de la carretera progresando hacia el centro de la misma. La cantidad de apisonado requerida depende del sistema usado para esparcir y acabar la mezcla.

Dentro de los tipos de planta se encuentran: Planta fija sin secador, clasificación ni graduación. Planta fija con secador, pero sin clasificación ni graduación, Planta fija con secador, clasificación y graduación.

2.7.3 Concretos Asfálticos o mezclas en caliente

Los concretos asfálticos son tipos de mezcla de alta calidad, fabricadas en planta fija y destinadas a producir pavimentos de primera clase.

Los pavimentos de concreto asfálticos presentan la ventaja de un bajo costo de mantenimiento, conforme las prácticas de mantenimiento de carreteras mejoren, se habrá de incrementar el uso de las mezclas en caliente para dichas labores.

2.7.4 Lechadas

Los sellos de lechada con emulsiones asfálticas son mezclas de una emulsión de rotura lenta, agregado fino, polvillo mineral y agua. Se emplean generalmente para revivir asfaltos viejos, sellar grietas, o como capas intermedias entre un asfalto viejo y tratamientos superficiales o carpetas asfálticas. El uso de lechadas con emulsiones asfálticas no es muy corriente en el mantenimiento de carreteras, debido al poco conocimiento de sus bondades.

2.7.5 Sellos

Los sellos son riegos de asfalto generalmente usados para revivir asfaltos viejos, sellar grietas o como antipolvos.

2.7.6 Mezclas de bacheo

Las mezclas para bacheo deben fabricarse en pequeñas plantas mezcladoras, diseñadas para trabajos de mantenimiento y equipadas con un pequeño secador, un tambor mezclador y un inyector que controla la cantidad de asfalto; con este equipo se obtienen las mejores mezclas para bacheo, aunque se pueden hacer también estas mezclas en plantas móviles o fijas, en cuanto a las mezclas de bacheo debe tenerse muy cuenta que el mayor costo resida en su colocación no el valor de los materiales, por lo que resulta más conveniente el uso de materiales de alta calidad.

2.8 DISEÑO DE MEZCLAS

Para el diseño de mezclas asfálticas se emplean generalmente los métodos Hveem, Hubbard-Field y Marshall, los cuales se describirán brevemente a continuación:

2.8.1 Método Hveem

Este método fue desarrollado por el señor Francis N. Hveem, Ingeniero de Materiales e Investigación de la División de Carreteras de California. Este método ha evolucionado a través del tiempo, agregándole algunas mejoras.

El método Hveem es aplicable a mezclas que utilizan cementos asfalticos como Asfaltos líquidos; y que contienen agregados cuyo tamaño sea 1 pulgada, utilizado en mezclas asfálticas densas, este método puede utilizarse ya sea para el diseño de laboratorio como para el control de campo de la pavimentación. El procedimiento está regido por la ASTM, éste utiliza especímenes normales de 2.5 pulgadas de alto y 4 pulgadas de diámetro. Las características principales de este método son: La estimación del contenido de Asfalto por el ensayo del Equivalente de Kerosene, seguido por el ensayo del Estabilómetro, el ensayo del Cohesiómetro, prueba de hinchamiento y el análisis de la relación densidad-vacíos. En el ensayo del Estabilómetro se utiliza un tipo especial de molde para pruebas triaxiales, que miden la resistencia al desplazamiento lateral en la mezcla compactada bajo cargas verticales. El ensayo del Cohesiómetro mide la cohesión o la resistencia a la tensión de las mezclas compactadas y la prueba de hinchamiento mide la resistencia de la mezcla a la acción del agua.

Dentro del proceso se realizan una serie de especímenes con diferentes contenidos de asfalto. Se puede escoger la mezcla con el contenido óptimo de asfalto que llene todos los criterios establecidos en las especificaciones del proyecto, mediante la representación gráfica de una serie de curvas que relacionen el contenido de asfalto con: El peso unitario, El porcentaje de vacíos de la mezcla total, La estabilidad Hveem, y El valor Cohesiométrico.

2.8.2 Método Hubbard-Field

El Método de Hubbard-Field fué desarrollado por los Señores Prevost Hubbard y F. C. Field, quienes trabajaban en el Instituto de Asfalto, originalmente fué desarrollado principalmente para mezclas de pavimentos con áridos finos (Sheet-asphalt paving mixtures), luego se elaboró un método modificado de ensayo para hacer posible el proyecto de mezclas de pavimentación con cantidades de áridos gruesos.

Al igual que el método Hveem éste también utiliza especímenes de un tamaño aproximadamente de 2 pulgadas de diámetro y 1 pulgada de altura.

Dentro de sus características principales se encuentran las siguientes: El análisis de la relación densidad-vacios y la prueba de estabilidad. De los datos que se obtienen se puede escoger la mezcla que cumpla con la especificaciones del proyecto mediante la composición gráfica de las curvas de contenido de asfalto relacionadas con: Peso Unitario, Porcentaje de vacíos en los agregados, y la Estabilidad Hubbard-Field. El método se ha propuesto solamente para el diseño de mezclas de pavimentos en el laboratorio.

2.8.3 Método Marshall

El criterio de diseño del Método Marshall fue formulado por Bruce Marshall, Ingeniero de Materiales Bituminosos del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi, El cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica, por medio de una intensa investigación y estudios de correlación, mejoraron y agregaron ciertas características al procedimiento del ensayo de Marshall.

El método Marshall, tal como lo usa y desarrolló el Cuerpo de Ingenieros, es aplicable solamente a las mezclas en caliente, usando cemento asfáltico de cierta consistencia a la penetración y que contenga agregados de dimensión máxima de 1 pulgada.

El método Marshall utiliza especímenes normales de 2.5 pulgadas de alto y 4 pulgadas de diámetro. Estos especímenes se preparan usando un procedimiento especificado para el calentamiento, mezclado y compactación de las mezclas de asfalto con agregados.

Puede escogerse un diseño de mezcla que reúna todos los criterios establecidos en las especificaciones mediante la realización de una serie de pruebas o ensayos con diferentes contenidos asfálticos, de manera que pueda representarse gráficamente la relación del contenido de asfalto con respecto a: La densidad, el Flujo, el porcentaje de vacíos en los agregados que han sido llenados con asfalto.

2.9 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

2.9.1 Método del Índice de Grupo:

Con el método del índice de grupo se pueden calcular los espesor de sub-base, base y capa de rodamiento, por medio de la figura No. 2a, en donde solo es necesario conocer el índice de grupo del respectivo suelo, se considera la carga por rueda de 9,000 libras (4,086 kilogramos). El método ha sido preparado para las condiciones siguientes:

a) Para terrenos de fundación debidamente compactados a humedad óptima y densidad máxima (no menos del 95 % de la densidad máxima obtenida por el método standard AASHTO T-99).

b) Para sub-bases y bases compactadas a no menos del 100 % de su densidad máxima. También se supone que los sistemas de drenaje, subterráneo y superficial, son buenos y que el nivel de la napa freática se encuentra a una profundidad no perjudicial (mayor de 2 metros).

2.9.1.1 Tipos de Tránsito

En este método se considera la siguiente clasificación dependiendo del volumen del tránsito:

a) Tránsito Liviano: aquel que tiene un tránsito comercial menor de 50 camiones y autobuses diarios .

b) Tránsito mediano: cuyo tránsito comercial está comprendido entre 50 y 300 camiones y autobuses diarios.

c) Tránsito Pesado: corresponde a este cuando el tránsito es mayor de 300 camiones y autobuses diarios.

En todos los casos anteriores, se supone que un máximo de 15 % de los vehículos, tiene una carga por rueda de 9,000 libras.

2.9.2.2 Clases de Pavimento

Según lo indica la figura No. 2a, las clases de pavimento para los diferentes tipos de tránsito serán los siguientes:

a) Pavimentos para tránsito liviano: de acuerdo con la calidad del terreno de fundación:

a.1) Si el terreno de fundación es (IG>9)	30 cm de sub-base
muy malo	15 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del pavimento	45 cm

a.2) Si el terreno de fundación es	20 cm de sub-base
malo (IG: 5-9)	15 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del pavimento	35 cm
a.3) Si el terreno de fundación es	10 cm de sub-base
regular (IG: 2-4)	15 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor del pavimento	25 cm
a.4) Si el terreno de fundación es	05 cm de Sub-base
bueno (IG: 1-2)	15 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del pavimento	20 cm
a.5) Si el terreno de fundación es	no necesita sub-base
Excelente (IG: 0-1)	15 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor del pavimento	15 cm

a.6) Si el terreno de fundación es excelente hace las veces de sub-base y base. Por lo tanto bastará colocar una capa de rodamiento. El espesor combinado de 15 cm de base + capa de rodamiento, puede distribuirse de la siguiente manera: Un tratamiento superficial sobre una base granular de 15 cm o 5 cm de mezcla bituminosa, sobre 10 cm de base granular.

b) Pavimentos para tránsito mediano: como en el caso anterior, el espesor que tenga un pavimento flexible, variará de acuerdo con la calidad de la subrasante, de la sig. manera

b.1) Si el terreno de fundación es	30 cm Sub-base
muy malo	22 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del pavimento	52 cm
b.2) Si el terreno de fundación es	20 cm Sub-base
malo	22 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total	42 cm
b.3) Si el terreno de fundación es	10 cm Sub-base
regular	22 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total	22 cm

b.4) Si el terreno de fundación es bueno	05 cm Sub-base 22 cm Base + Capa de rodamiento
El espesor total del pavimento	27 cm
b.5) Si el terreno de fundación es Excelente	-- Sub-base 22 cm Base + Capa de rodamiento
El espesor total del pavimento	22 cm

c) Pavimentos para Tránsito pesado: según la calidad del terreno de fundación:

c.1) Si el terreno de fundación es muy malo	30 cm Sub-base 30 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del Pavimento	60 cm
c.2) Si el terreno de fundación es malo	20 cm Sub-base 30 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del Pavimento	50 cm
c.3) Si el terreno de fundación es regular	10 cm Sub-base 30 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del Pavimento	40 cm
c.4) Si el terreno de fundación es bueno	05 cm Sub-base 30 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del pavimento	35 cm
c.5) Si el terreno de fundación es excelente	-- Sub-base 30 cm Base + Capa de rodamiento
Espesor total del pavimento	30 cm

El espesor combinado de base + capa de rodamiento, puede ser distribuido en varias formas. Por lo general, se seleccionan previamente el espesor y tipo de mezcla a emplearse en la capa de rodamiento.

Se recomienda además, que la base granular, en ningún caso tenga un espesor menor de 10 cm. Por otra parte, el espesor de la capa de rodamiento, debe ser siempre menor que el de la base granular. Este espesor está condicionado al tipo de mezcla asfáltica.

Así por ejemplo: Los tratamientos superficiales, raras veces pasan de 2.5 cm de espesor; las mezclas en frío o en caliente hechas en planta o en el sitio de la obra, así como los macadam de penetración, comúnmente tienen espesores comprendidos entre 5 cm y 10 cm, excepción hecha de las mezclas de arena-asfalto, cuyo espesor puede ser hasta de 15 cm.

Así, una sub-base regular o buena de 20 cm de espesor podrá sustituirse por una capa de base adicional de 10 cm, siempre y cuando las características del material y de la obra lo permitan.

Ejemplo:

Diseñar el pavimento flexible para una carretera cuyo terreno de fundación esté formado por suelo arcilloso del tipo A-6. El tránsito que se prevé es de 500 camiones y autobuses diarios, de los cuales aproximadamente un 10 % tendrán cargas por rueda de 9,000 libras.

El índice de grupo del material de terreno de fundación es 9. Se recomienda colocar una capa de rodamiento de concreto asfáltico de 7.5 cm de espesor.

El tránsito es de tipo pesado según figura No. 2a.

Para un terreno de fundación cuyo índice de grupo es 9, y para un tránsito pesado, se tiene según la figura No. 2a lo siguiente.

Sub-base de material seleccionado	20.0 cm
Base granular	22.5 cm
Capa de rodamiento de concreto asfáltico	07.5 cm
Espesor total del pavimento	50.0 cm

Si en lugar de la sub-base de material seleccionado, se coloca una capa adicional de base granular, se tiene:

Base adicional	10.0 cm
Base granular	22.5 cm
Capa de rodamiento	07.5 cm
Espesor total	40.0 cm

2.9.2 Método CBR

Para diferentes valores de CBR y cargas por rueda, o por eje, se han determinado los respectivos espesores de pavimentos, en base a datos experimentales. Los diferentes organismos viales y técnicos, han elaborado curvas para facilitar el cálculo, y en la actualidad se conocen un sinnúmero de gráficos para la determinación de espesores de pavimentos flexibles en función del CBR , en este trabajo de tesis, sólo se trabajaran con las curvas más empleadas, hoy en día, para el cálculo de pavimentos flexibles, tanto en carreteras como en aeropistas, véase Figuras No. 2b, y 2c.

Algo importante acerca de estas curvas es que no se considera la influencia de las heladas.

Este método recomienda que en la construcción del pavimento flexible, que el material para sub-base tenga un CBR mayor de 15 %. El material para base debe tener un CBR mayor de 40 %, cuando las cargas por rueda son menores de 10,000 libras (4,540 kilogramos), como en el caso de carreteras en general y un CBR no menor de 80%, cuando las cargas por rueda son mayores de 10,000 libras, como sucede en la mayor parte de las autopistas.

Ejemplo:

Se desea diseñar el pavimento de una carretera o calle, por el método CBR con los siguientes datos, la carretera se construye sobre un terreno que tiene un CBR igual a 5 %. Determinar el espesor del pavimento para cargas por rueda de 4,540 kilogramos.

Como el CBR del terreno de fundación es bajo, se necesita los siguientes materiales.

a) Un material de préstamo cuyo CBR sea igual o mayor del 15 %, para utilizarlo como sub-base.

b) Un material para la capa de base, cuyo CBR sea superior a 40 %.

Suponiendo que analizados los materiales de sub-base y base, se obtengan los siguientes valores:

Material de préstamo CBR = 18 % (para sub-base)
Material de base CBR = 65 % (para base).

RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) EN % PARA 0.1 DE PENETRACIÓN

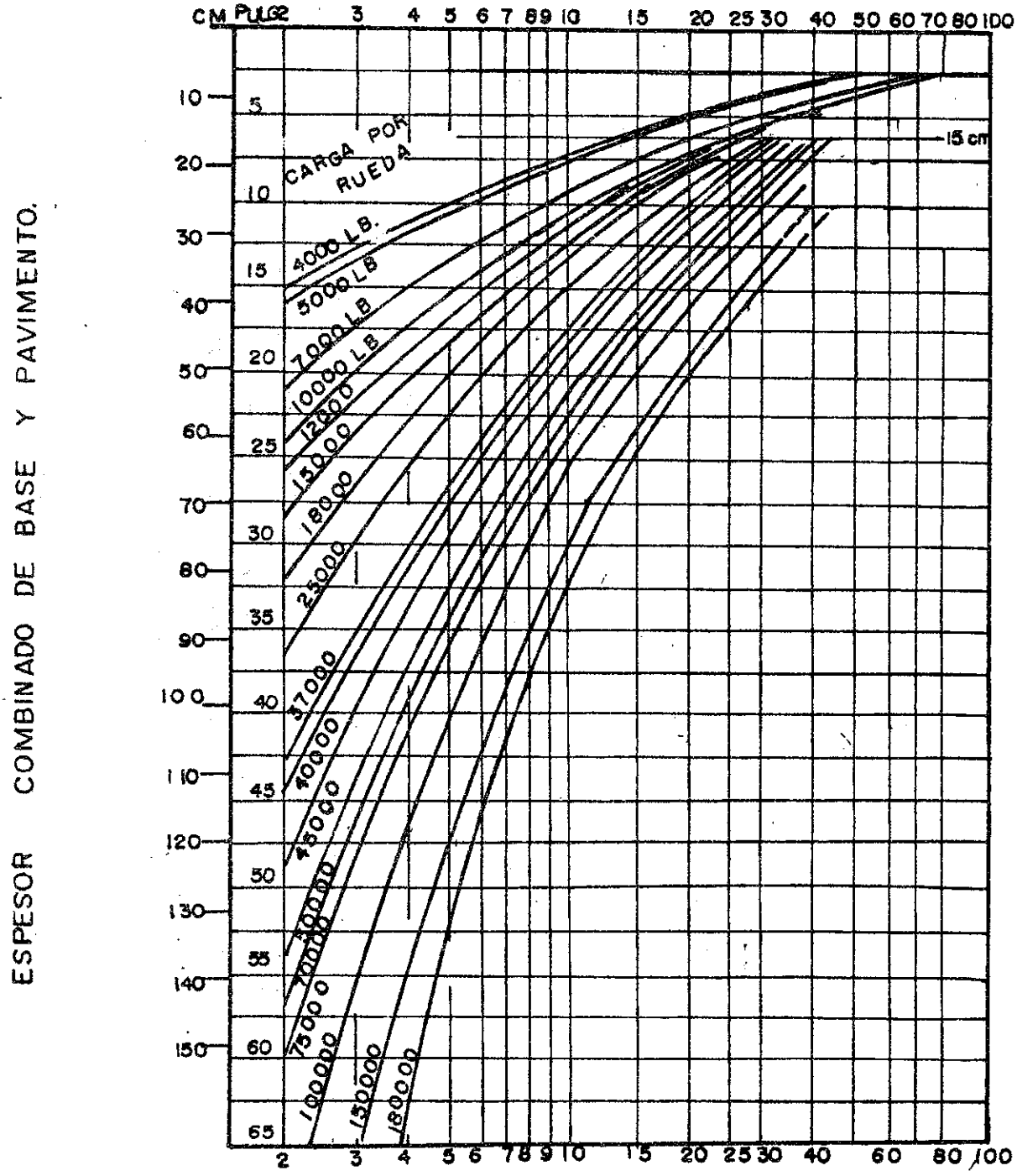


FIGURA No 2b

CURVA PARA EL CÁLCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, PARA DIFERENTES CBR Y CARGAS POR RUEDA.

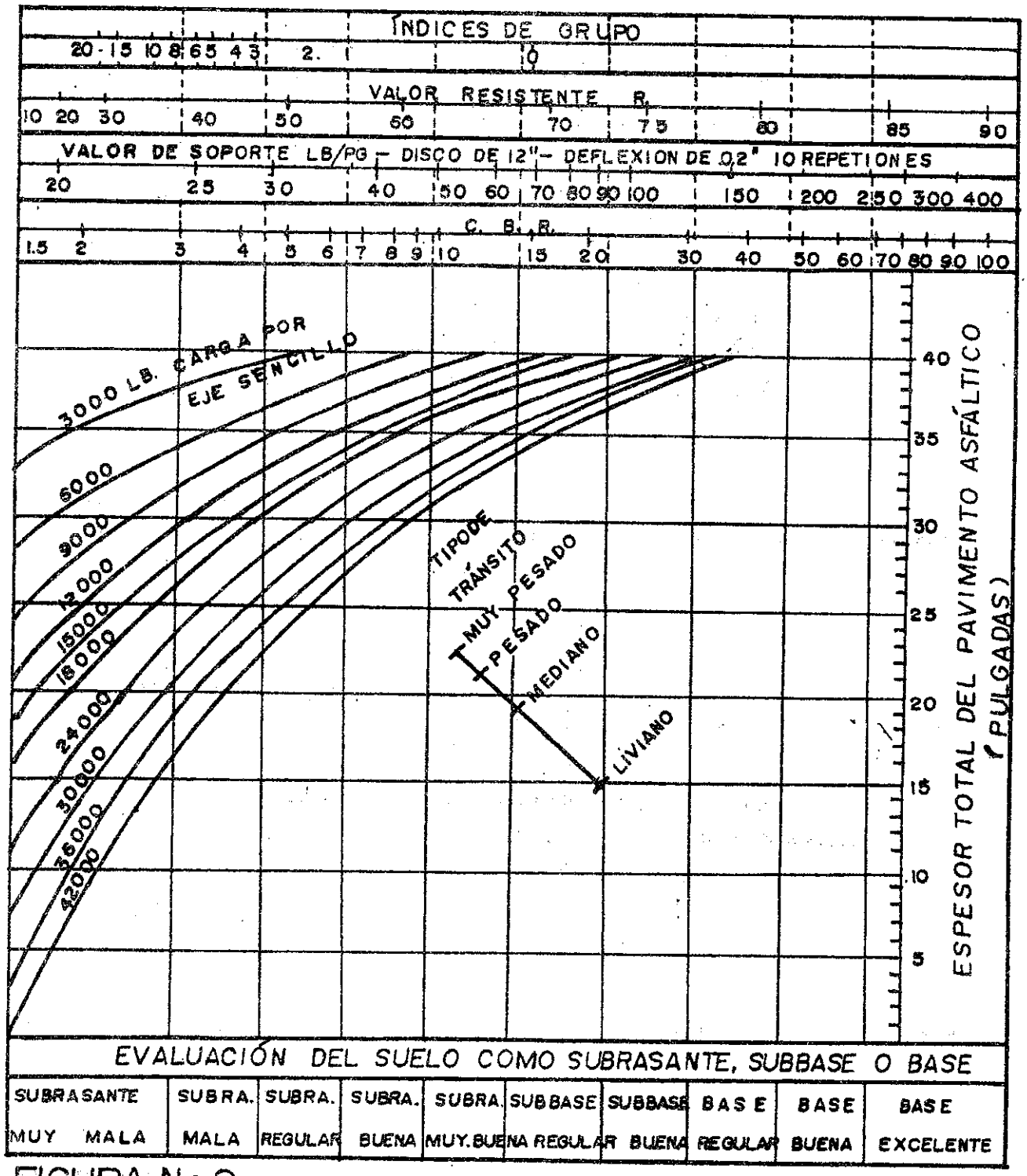


FIGURA No 2c

CURVAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS (INSTITUTO DE ASFALTO DE LOS EE.UU. DE N.A.)

Según la gráfica No. 2b se tiene, que para una carga por rueda de 4,540 kilogramos y un CBR de 5 %, un espesor combinado de 42 cm aproximadamente.

Como el material de préstamo tiene un CBR de 18 %, el espesor encima de este material sería de 20 cm. Luego, se tiene, 42-20=22 cm., de material de préstamo.

Además como el material para base tiene un CBR 65 %, el espesor encima de la base (capa de rodamiento), sería de 9 centímetros.

Por lo tanto 20 - 9 = 11 cm de base.

Resumiendo:

Espesor de la sub-base	22 cm
Espesor de la base	11 cm
Espesor de la capa de rodamiento	09 cm
Espesor total del pavimento	42 cm.

En el monograma de la figura 2c, se correlacionan las curvas para el cálculo de pavimento flexible, con las características de la subrasante, sub-base o base, asi también se correlacionan el CBR con IG, el valor residente R y el valor soporte.

Ejemplo

Con los datos siguientes diseñar el pavimento de una aeropista. Terreno de fundación con un suelo arcilloso cuyo CBR es de 3 %. La carga por rueda de diseño es de 75,000 libras. Existen, asimismo, zonas de préstamo convenientemente situadas, cuyos materiales, una vez analizados en laboratorio arrojan los siguientes resultados:

Material gravo-arenoso-limo-arcilloso	CBR = 20 %
Material gravo-arenoso (Granzón)	CBR = 45 %
Se dispone, además , de piedra triturada	CBR = 80 %

Según el gráfico de la figura No. 2b, para un terreno de fundación cuyo CBR = 3 % el espesor total del pavimento será de 125 cm. El material gravo-areno-limo-arcilloso que se colocaría como sub-base, tiene un CBR 20 %. Encima de la sub-base, según el gráfico, habría que colocar 38 cm de base + capa de rodamiento. luego, el espesor de la sub-base será = 125-38 = 87 cm. Además si se utiliza el granzón tendría, por lo tanto, un espesor de 38-15= 23 cm.

Los 15 cm restantes, podrían distribuirse así: Una capa de rodamiento de concreto asfáltico, de 5 cm de espesor, sobre una base superior de piedra picada de 10 cm.

Como para cargas por rueda mayores de 16,800 kg. se recomienda que se utilice para los últimos 15 de base, un material cuyo CBR sea igual o mayor de 80 %. se podrían modificar los espesores anteriormente obtenidos, en la siguiente forma:

Sub-base con material de préstamo	(CBR = 20 %)	87 cm
Base inferior, de granzón	(CBR = 45 %)	18 cm (En lugar de 23 cm)
Base superior, de piedra triturada	(CBR = 80 %)	15 cm (En lugar de 10 cm)
Capa de rodamiento, de concreto asfáltico		05 cm
Espesor total del pavimento		125 cm

Para el diseño de aeropistas (runways) y pistas de maniobra (taxiways), deben tenerse presentes las recomendaciones dadas por la Agencia Federal de Aeronáutica Civil de los Estados Unidos (Federal Aviation Agency). La FAA, recomienda aumentar en un 20 % los espesores obtenidos mediante la gráfica de la figura No. 2b, en los siguientes lugares:

a) En la pistas de maniobra y pistas de aterrizaje utilizadas en operaciones de maniobra (taxiways), a fin de aminorar el efecto vibratorio ocasionado por los motores.

b) En los últimos 500 pies de ambos extremos de la aeropista, pues en estas zonas, se lleva a cabo, generalmente, la mayor parte de los despegues y aterrizajes.

Como la zona central, a lo largo del eje de la pista, soporta la mayor parte de las cargas de impacto al producirse el aterrizaje de aviones y, asimismo, el efecto vibratorio de los motores, el espesor debe ser mayor en dicha zonas, el cual viene a disminuir progresivamente, a partir de la línea central, hacia la derecha e izquierda, hasta llegar a un 20 % de reducción en la zonas laterales extremas.

Para capas de rodamiento de concreto asfáltico, del tipo de mezclas calientes en planta, se aconseja emplear los siguientes espesores:

TABLA No. 2c

ESPESORES RECOMENDADOS PARA LAS CAPAS DE CONCRETO ASFÁLTICO.

Cargas por Rueda	Espesor de la capa de Rodamiento
Hasta 15,000 Libras	3.8 cm mínimo
Hasta 37,000 Libras	7.5 cm mínimo
Mayores de 37,000 Libras	7.5-15 cm

TABLA No. 2d

CBR MÍNIMOS QUE DEBEN TENER LOS MATERIALES DE BASE SEGÚN LA FAA.

Cargas por Rueda	CBR mínimo para los últimos 15 cm de base
5,000 a 15,000 libras	50 %
15,000 a 37,000 libras	65 %
37,000 en Adelante	80 % o más

2.9.3 Método del Instituto de Asfalto de los Estados Unidos

Este método es basado en las investigaciones realizadas en las pistas de prueba de la Carretera Experimental AASHO, y de los resultados obtenidos, el instituto de asfalto de los EE.UU., sugiere el diseño de pavimentos flexibles mediante el siguiente método.

El sistema se basa en un tránsito probable durante un " período " de 20 años, referido a una carga por " eje sencillo " de 18,000 libras, que es la carga por eje legal en la mayoría de Estados de la Unión y considera, además, el valor portante del terreno de fundación, la calidad de los materiales de base, sub-base y capa de rodamiento que se empleen.

Dicho tránsito, basado en 20 años y referido a una carga por eje sencillo de 18,000 lb, se le llama "valor de tránsito para el diseño", y está en función del "tránsito diario inicial ", que es el promedio, en ambas direcciones, estimado para el primer año de servicio.

En la Figuras Nos. 2d y 2e se indican los gráficos para obtención del "Valor de tránsito para el diseño", en función del tránsito diario, tanto para las principales carreteras interurbanas como para las rurales, las urbanas principales y calles.

Antes de seguir se hace necesario definir algunos términos utilizados por este método los cuales se describen a continuación:

a) Calle

Es aquella vía que tiene comprendido un tránsito, generalmente, de un 95 % o más de automóviles y camiones pequeños (pick up, camionetas de reparto). La porción superior de la franja, de la figura No. 2e, correspondiente a calles, deberá usarse para áreas comerciales o que tengan industrias ligeras. La parte inferior, se utilizará para aquellas áreas residenciales.

b) Carretera rural

Es aquella vía cuyo tránsito se compone, de un 85 % o más de automóviles y camiones pequeños. La parte superior de la franja de la figura No. 2d, se empleará cuando el volumen de camiones pesados se considere relativamente grande. Las carreteras que sirvan zonas industriales mineras o madereras caen dentro de esta categoría. La porción inferior de la franja, se destinará para carreteras que circundan zonas rurales residenciales o haciendas y fincas pequeñas.

c) Carreteras interurbanas

Su tránsito se compone generalmente, de un 75 % o más de automóviles y camiones pequeños. La porción superior de la franja que le corresponde (véase figura No. 2d), se debe de utilizar en los sectores más industrializados del país y en aquellas áreas donde se espera tener volúmenes de tránsito pesado relativamente altos. La parte inferior, deberá utilizarse para las áreas netamente rurales.

d) Carreteras Urbanas

Son aquellas vías que tienen un porcentaje elevado de tránsito de automóviles y camiones pequeños. El volumen de tránsito pesado es generalmente menos del 5 %, en tal caso, se ha de usar la porción inferior de la franja correspondiente (véase figura No. 2e). En áreas altamente industrializadas, donde el volumen de camiones pesados puede llegar hasta un 20 %, se considerará la porción superior de la franja.

Las flechas en la parte superior de las figuras Nos. 2d y 2e, indican, como una guía, si es suficiente una carretera de dos o más vías para absorber el volumen de tránsito que se anticipa.

El valor soporte del terreno de fundación, se obtiene ya sea determinando su CBR o su resistencia R, o mediante ensayos directos de carga en el terreno.

En caso de que no sea posible obtener el valor portante del terreno de fundación aplicando uno de los procedimientos antes indicados, se podría estimar en forma aproximada, en base a su clasificación litológica. En la Tabla No. 1a se señala la correlación aproximada entre los CBR y las clasificaciones de suelos generalmente empleados.

Una vez determinados los "valores de tránsito para el diseño, y conocida la capacidad soporte del terreno de fundación, el espesor del pavimento flexible se determina utilizando los diagramas indicados en las figuras Nos. 2f y 2g. Las curvas de la figura No. 2f, relacionan los espesores totales de la base y la capa de rodamiento con el valor R de resistencia, obtenido mediante el método Hveem. Como se pueden correlacionar los valores CBR, en muestras sin perturbar, con los ensayos efectuados directamente en situ, mediante la aplicación de cargas sobre discos metálicos, se ha establecido en la figura No. 2g, una relación entre dichos valores y los espesores de base y capa de rodamiento para un pavimento flexible.

e) Tránsito:

En los gráficos de las figuras Nos. 2d y 2e, se consideran los siguientes tipos de tránsito: "reducido", "mediano", e "intenso". Se denomina tránsito "reducido", a aquel cuyo " valor de tránsito para el diseño " es menor de 10; " mediano ", el que tiene un

GRÁFICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE TRÁNSITO PARA EL DISEÑO, EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO DIARIO, PARA CARRETERAS URBANAS Y RURALES

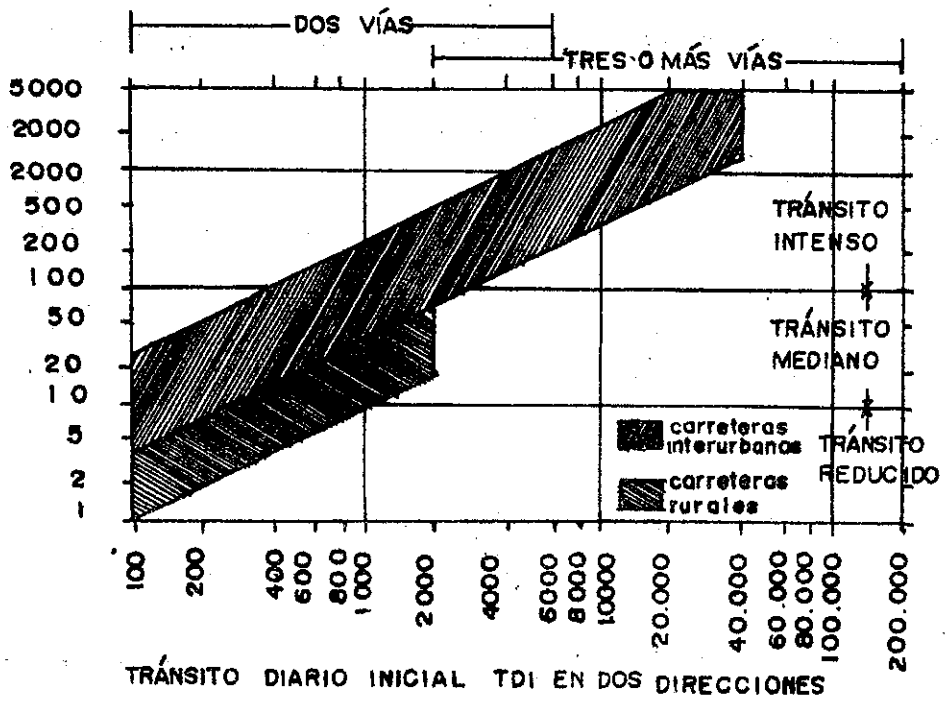


FIGURA No 2d

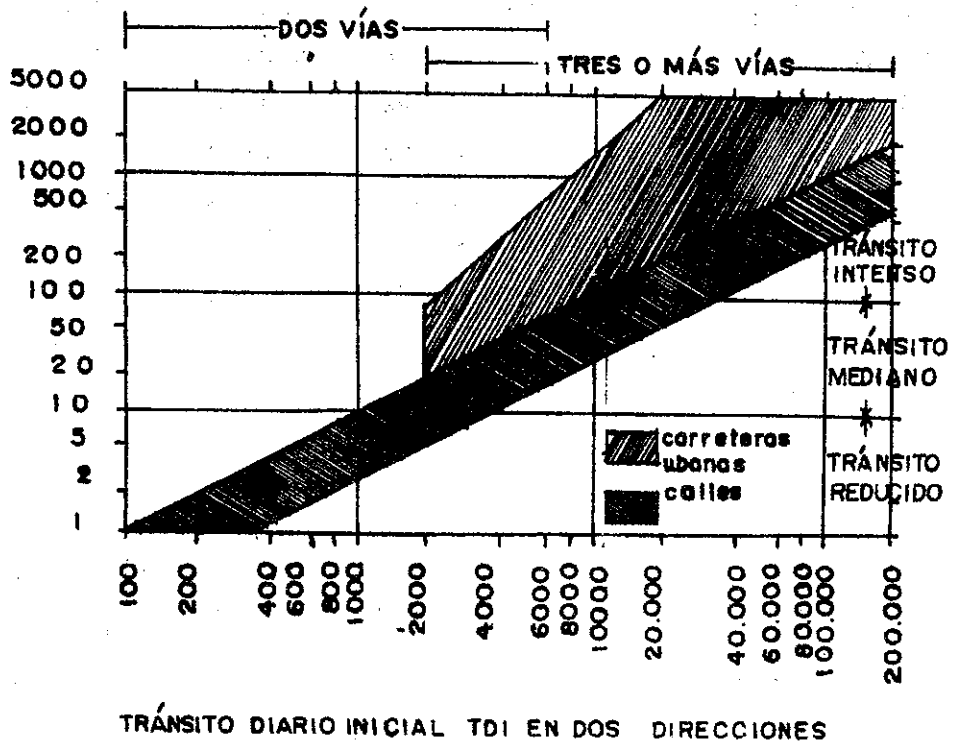


FIGURA No 2e

VALOR SOPORTE EN LBS/PULG^2, CONSIDERANDO UN DISCO DE 12 PULG. DE DIÁMETRO, UNA DEFLEXIÓN DE 0.2 Y 10 REPETICIONES DE CARGA

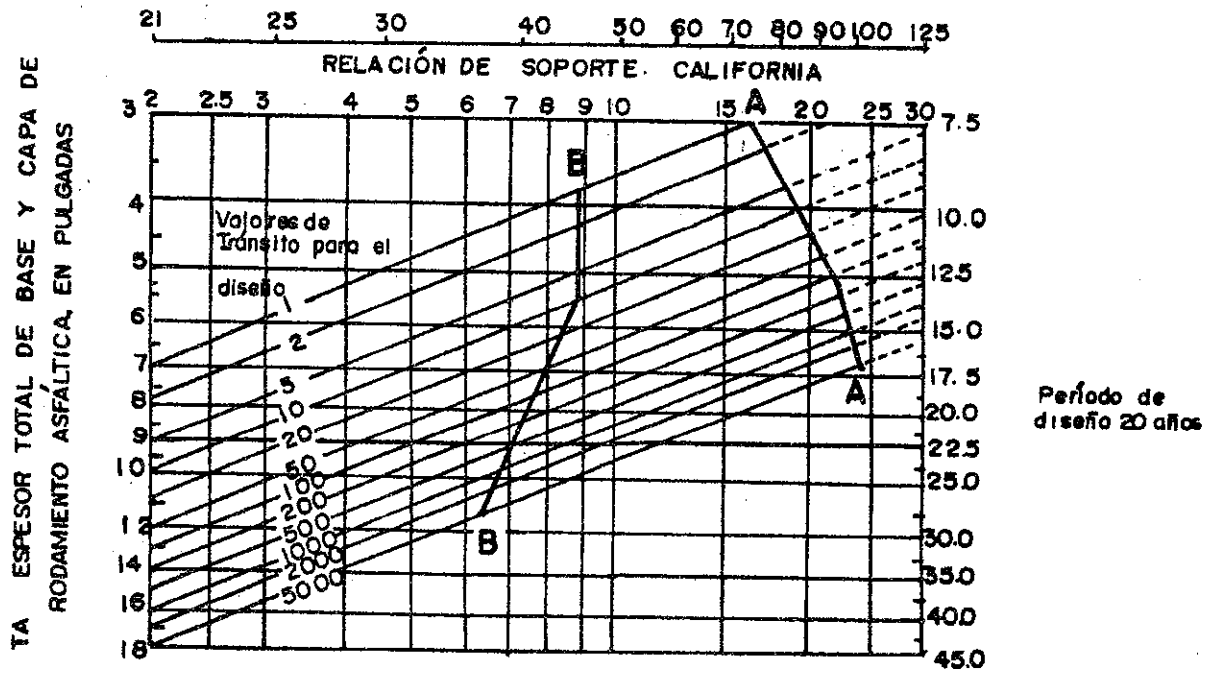


FIGURA No2g
GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA BASE Y CAPA DE RODAMIENTO ASFÁLTICAS, EN FUNCIÓN DEL VALOR SOPORTE Y LA RELACIÓN DE SOPORTE CBR DE LA SUBRASANTE.

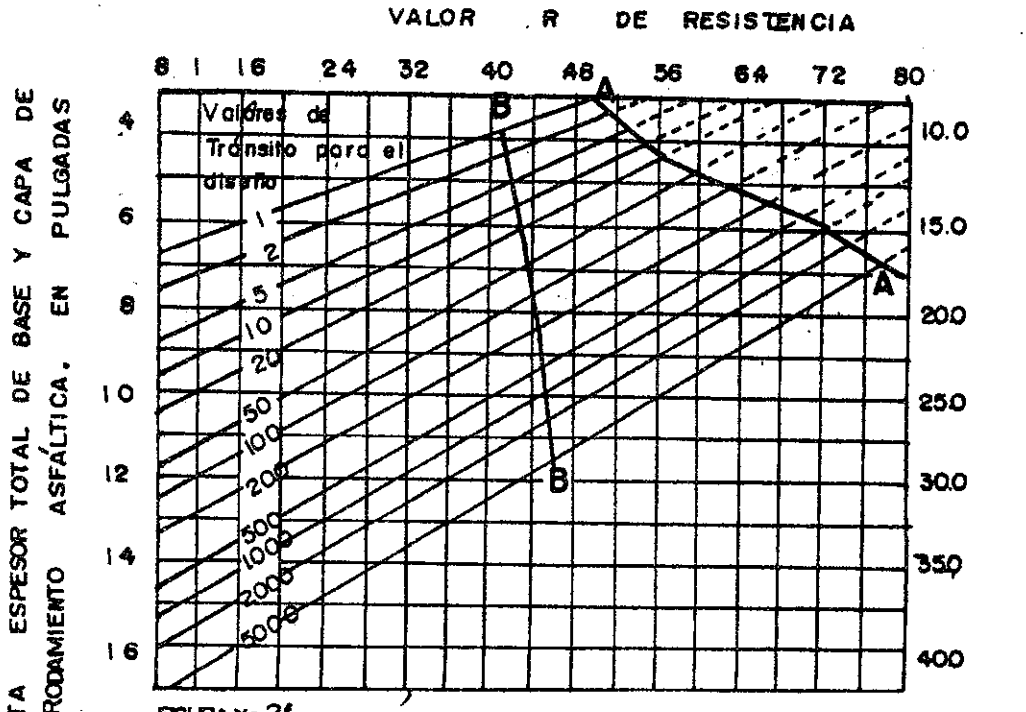


FIGURA No 2f
GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA BASE Y CAPA DE RODAMIENTO ASFÁLTICAS, EN FUNCIÓN DEL VALOR DE RESISTENCIA R DE LA SUBRASANTE.

"valor de tránsito" comprendido entre 10 y 100, e "intenso ", aquel cuyo "valor de tránsito " pasa de 100.

f) Capacidad de Servicio

En los gráficos No. 2f y No. 2g , se considera un índice de capacidad de servicio de 2.5 o sea que se estima que al cabo de 20 años de uso, el pavimento proyectado tendrá un índice de "capacidad de servicio " de 2.5.

g) Drenaje y Compactación

Se da por supuesto que al hacer el diseño de un pavimento, se tendrá la carretera en buenas condiciones de drenaje y que los materiales empleados en la construcción de las diferentes capas de pavimento flexible, serán debidamente compactadas de acuerdo con las normas vigentes enumeradas en el capítulo 1.

h) Características de los materiales que se deben usar en las capas de sub-base y base deben llenar los requisitos enunciados en el capítulo 1.

2.8.4.1. Espesor de un pavimento flexible

Un pavimento flexible es posible que esté compuesto íntegramente de mezclas asfálticas, o de capas con materiales de diferentes características. Así, la sub-base podría estar formada por un suelo granular seleccionado, la base por piedra triturada y la capa de rodamiento por mezclas Asfálticas. Entre las capacidades portantes de estos materiales, existe una relación definida, según se ha podido comprobar mediante estudios realizados por el instituto de asfalto en la carretera experimental de AASHO, enunciados a continuación:

a) Relación 2:1, entre la base granular y la base de concreto asfáltico, o sea: 5 cm de una base granular, de alta calidad, que llene los requisitos enumerados en el capítulo 1, equivalen a 2.5 cm de un concreto asfáltico.

b) Relación de 2,7:1, entre la sub-base granular y la mezcla de concreto asfáltico, es decir: 2.7 pulgadas de una sub-base, que llene los requisitos enumerados en el capítulo 1, equivalen a 1 pulgada de concreto asfáltico.

c) Relación de 1.35:1, entre la sub-base y la base granular, o sea: 1.35 pulgadas de sub-base equivalen a 1 pulgada de base granular.

2.8.4.2 Determinación de los espesores de diseño

Los gráficos de las figuras Nos. 2f y 2g , se utilizan para determinar los espesores de las diferentes capas de un pavimento flexible. Las curvas AA en dichos esquemas se emplean con el objeto de determinar el espesor mínimo de la mezcla de concreto asfáltico, correspondiente tanto a la capa de rodamiento como a la de base. Las curvas BB indican si es necesario colocar una capa de Sub-base. El instituto de Asfalto de los EE. UU., sugiere los siguientes espesores mínimos para capas de rodamiento de concreto asfáltico:

TABLA No. 2e
ESPESORES MÍNIMOS PARA CAPAS DE RODAMIENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO SEGÚN EL INSTITUTO DE ASFALTO DE LOS EE. UU.

"Valor de tránsito para diseño"	Espesor mínimo de la capa de rodamiento a colocar sobre una base de concreto asfáltico.
Menor de 10 (Tránsito reducido)	1" (2.5 cm)
Entre 10 y 100 (Tránsito mediano)	1.5" (3.8 cm)
Mayor de 100 (Tránsito intenso)	2" (5.0 cm)

Se sugiere colocar las capas de base y sub-base en espesores no menores de 3".

a) Porción de TA (Espesor del Pavimento TA) que puede sustituirse por una base granular.
Si una parte del espesor total TA, indicado en las gráficas de la figuras Nos. 2f y 2g se desea reemplazar por una base granular, se procede de la siguiente manera:

a.1) Del punto de intersección entre la línea vertical que indica la capacidad portante de la subrasante y la señala el "valor de tránsito para el diseño ", se dibuja una línea horizontal al eje de ordenadas y se obtiene el valor TA correspondiente. Éste, que deberá leerse con aproximación de 1/2 ", representa el espesor total del pavimento de concreto asfáltico a colocarse sobre la subrasante.

a.2) Del punto de intersección entre la línea representativa del " valor de tránsito para el diseño" y la línea AA se traza una horizontal al eje de ordenadas y se lee un nuevo valor TA. Este es el espesor mínimo de concreto asfáltico que se debe colocar para la base y la capa de rodamiento.

a.3) La diferencia entre las dos lecturas de TA obtenidas, siguiendo los pasos indicados en los incisos anteriores, indican el espesor de concreto asfáltico que podrá reemplazarse por una base granular. Como la relación entre ésta y el concreto asfáltico es de 2:1, la diferencia del espesor, multiplicada por 2, señalará el espesor total de la base granular que puede colocarse en lugar del concreto asfáltico.

a.4) El espesor total del pavimento flexible será igual a la suma del espesor TA de concreto asfáltico, obtenida en el inciso a.2) y del de la base granular obtenido en el inciso a.3). Por lo tanto, en este caso, el pavimento se compondrá de base granular + base de concreto asfáltico + capa de rodamiento de concreto asfáltico. La subrasante hará las veces de sub-base.

b) Porción de TA que puede reemplazarse por una sub-base granular.

El espesor mínimo de la sub-base granular está indicado por las curvas BB, entonces se ha de seguir el procedimiento siguiente:

b.1) Para determinar el espesor Total TA del pavimento de concreto asfáltico, a colocarse sobre la subrasante, se procede en la forma indicada anteriormente, o sea que del punto de intersección entre la línea vertical que indica la capacidad portante de la subrasante y la que señala el " valor de tránsito para el diseño", se traza una horizontal al eje de ordenadas. La lectura de TA, aproximadamente a 1/2 pulgadas, indicaría el espesor total de un pavimento de mezcla asfáltica.

b.2) Del punto de intersección entre la línea del valor de tránsito para el diseño. y la línea , se traza una horizontal al eje de ordenadas, y el valor TA que se lea, representará el espesor mínimo de concreto asfáltico que se colocará, cuando no se haya de usar una base granular.

b.3) La diferencia entre los valores TA obtenidos según b.1) y b.2), mostrará el espesor máximo de concreto asfáltico que puede ser reemplazado por una sub-base.

Como la relación entre la sub-base granular y el concreto asfáltico es de 2.7:1, la diferencia alcanzada según b.3), se multiplicará por 2.7, para conseguir el espesor de la sub-base.

b.4) El espesor total del pavimento flexible a construir, será igual a la suma del espesor de concreto asfáltico obtenido según b.2) y del de la sub-base, logrado según b.3). Por lo tanto, en este caso, el pavimento flexible estará formado por sub-base granular + base de concreto asfáltico + capa de rodamiento de concreto asfáltico.

c) Porciones de TA, que pueden ser remplazadas por base y sub-base granulares.

Si el punto de intersección entre la línea vertical, representativa de la capacidad portante de la subrasante, en la figuras Nos. 2f y 2g y la que representa el " valor de tránsito para el diseño", cae a la izquierda de la línea BB, el pavimento flexible puede ser construido con sub-base y base granulares y una base y una capa de rodamiento, ambas de concreto asfáltico. Estableciéndose la capas de la siguiente manera:

c.1) Para determinar el espesor total del pavimento de concreto asfáltico a colocarse encima de la subrasante, se seguirá el procedimiento que se indicó anteriormente, o sea, del punto de intersección entre la línea vertical representativa de la capacidad portante de la subrasante y la que señala el " valor de tránsito para el diseño ", se traza una horizontal al eje de ordenadas. El valor TA, que se lee con aproximación de 1/2", indicará el espesor total del pavimento de concreto asfáltico a colocarse sobre la subrasante.

c.2) Del punto de intersección entre la línea que representa el " valor de tránsito para el diseño" y la curva AA se dibuja una línea horizontal al eje de ordenadas. El valor TA que se lea indicará el espesor mínimo de concreto asfáltico a aplicarse, si se contempla la colocación de una base granular.

c.3) Del punto de intersección entre la línea que representativa del " valor de tránsito para el diseño" y la curva BB se dibuja una horizontal al eje de ordenadas. El valor TA que se lea, señalará el espesor mínimo de concreto asfáltico que se colocará , si se contempla el empleo de una sub-base granular.

c.4) El valor TA obtenida según c.2), se resta del que se alcanzó en c.3). La diferencia indica el espesor mínimo de concreto asfáltico que puede ser reemplazado por una

base granular si el espesor mínimo de concreto asfáltico indicado en c.2) es usado, como la relación entre la base granular y el concreto asfáltico es de 2:1, este espesor multiplicado por 2 dará el espesor total de la base granular a colocarse.

c.5) El espesor TA conseguido según el inciso c.3) se resta del obtenido en c.1). Esta diferencia representará el espesor máximo de concreto asfáltico que puede ser sustituido por una sub-base granular. Para determinar el espesor máximo de la sub-base, se multiplicará por 2.7 la diferencia lograda, pues, como ya se ha señalado, la relación entre la capacidad portante de una sub-base granular y una capa de concreto asfáltico es de 2.7:1.

c.6) El espesor total del pavimento flexible estará formado por los espesores de sub-base, base granular y mezcla de concreto asfáltico, determinados según c.5), c.4), c.2).

Ejemplo:

Considerar el diseño de un pavimento flexible para una carretera urbana principal, de 2 vías, donde se estima un tránsito diario inicial (TDI), en dos direcciones, de unos 6,000 vehículos con un 10 %, aproximadamente, de camiones pesados.

El terreno de fundación está formado por un suelo A-6, cuyo CBR es 5 %. Se proyecta construir el pavimento colocando capas de concreto asfáltico y una base y una sub-base granular.

Como el porcentaje de los camiones pesados es regular, se tomarán los datos pertenecientes a la franja de la figura No. 2e , el punto correspondiente la mitad de dicha franja. Se observará entonces, que el " valor de tránsito para el diseño" es de 40.

Como el punto de intersección de las líneas correspondientes al CBR 5 % de la subrasante y al "valor de tránsito para el diseño" de 40, cae a la izquierda de la línea BB, en el gráfico de la figura No. 2g , el pavimento que se construya podría tener las diferentes capas de sub-base y base y capa de rodamiento, granulares y de concreto asfáltico; o sea que el procedimiento a seguirse será el indicado anteriormente, en el inciso c) de esta sección.

a) En primer lugar, el espesor total TA, de concreto asfáltico, a colocarse encima de la subrasante, para un " valor de tránsito para el diseño " de 50 y un CBR de 5 %, sería de alrededor de 8.5 pulgadas (según figura No. 2g).

b) Si se contempla la colocación de una base granular, el espesor mínimo de concreto asfáltico para un "valor de Tránsito para el diseño " de 50 (tomando en cuenta la curva AA, de la figura No. 2g) llegaría a unas 4.5 pulgadas.

c) Si se contempla la colocación de una sub-base granular, el espesor mínimo de concreto asfáltico (considerando la curva BB, de la figura No. 2g), sería de una 6.5 pulgadas aproximadamente.

d) La diferencia entre los valores TA, obtenidos según lo indicado en b) y c), dará el espesor equivalente de la base granular a colocar en remplazo del concreto asfáltico. Es decir, que se tendrá una base granular equivalente de: 6.5" - 4.5" = 2 " aproximadamente. Pero como existe la relación 2:1 entre una base granular y una de concreto asfáltico, según se ha visto antes, habrá que multiplicar por 2 el espesor anteriormente obtenido. El espesor de la base granular será entonces de: 2" * 2" = 4".

e) El espesor máximo de concreto asfáltico que puede ser sustituido por una sub-base granular, sería la diferencia entre el espesor total del pavimento conseguido según a) y el que se obtuvo en c), o sea, 2 pulgadas. Como la relación entre el concreto asfáltico y el material de sub-base es 2.7:1, el espesor de la sub-base granular sería de 2*2.7=5.4 pulgadas.

Por lo tanto, se tendría que el pavimento puede construirse íntegramente de concreto asfáltico, en un espesor de 8.5 pulgadas distribuidos de la siguiente manera:

Por una capa de rodamiento de concreto asfáltico de	1.5 pulgadas
y una base de concreto asfáltico de	7.0 pulgadas
Espesor total del pavimento de concreto asfáltico	8.5 pulgadas.

O bien podría estar formado por capas granulares y de concreto asfáltico distribuidas así:

Por una capa de rodamiento de concreto asfáltico	1.5 pulgadas
Por una capa de concreto asfáltico de	3.0 pulgadas
Por una base granular de	2.0 pulgadas
y por una sub-base granular de	5.5 pulgadas
Espesor total del pavimento	12.0 pulgadas.

Entonces se puede observar, que el pavimento con las características dadas, podría estar formado, según el método del Instituto de Asfalto de los EE.UU., por una capa de rodamiento y una base, ambas de concreto asfáltico, cuyo espesor total sería de 8.5 pulgadas, o bien por un pavimento donde solo 4.5 pulgadas, serían de concreto asfáltico y 7.5 pulgadas de base y sub-base granulares, de características semejantes a las señaladas en el capítulo 1.

CAPÍTULO 3

PAVIMENTO RÍGIDO

3. PAVIMENTO RÍGIDO

Es aquel en el cual la capa de rodamiento está formada por concreto de cemento portland, con o sin armadura metálica. En algunos casos, estos pavimentos podrán llevar una carpeta de desgaste formada por una mezcla bituminosa; pero en el presente trabajo sólo se tendrán en cuenta aquellos pavimentos formados por concreto de cemento portland, (véase la figura de la pág. No. 3 del Apéndice, donde se muestra la sección típica del pavimento rígido).

3.1 EL CEMENTO PORTLAND

El concreto hidráulico es la mezcla de cemento portland, arena, agregado mineral grueso (piedra triturada o grava) y agua. Los fabricantes de cemento portland en nuestro medio elaboran producto de primera calidad, el cemento es generalmente distribuido en sacos de 94 libras (42.5 kilogramos), y 0.28 m^3 (un pie cúbico) de volumen.

3.2 PAVIMENTO DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND

Es un pavimento rígido, constituído de losas de concreto de cemento portland simple o reforzado, soportada en toda su superficie.

Los pavimentos de concreto varían en espesor, desde los relativamente delgados de 5 o 6 pulgadas. (13 ó 15 cm) para tráfico de carga ligera, para estacionamientos y algunas calles residenciales; hasta losas más gruesas para calles y carreteras principales, losas para pavimentos interestatales diseñadas para llevar tráfico vehícular de carga pesada, de gran intensidad y velocidad; finalmente , losas para pavimentos de aeropuertos los cuales pueden ser de hasta 24 pulgas (61 cm), con cargas tan grandes de hasta 750,000 libras (340 ton.). Cada uno de estos tipos puede carecer de refuerzo, tener únicamente acero distribuido, ser relativamente reforzado, por ejemplo, pavimento de concreto con refuerzo continuo, e inclusive, ser presforzado.

3.2.1 Requisitos Para los materiales del concreto

a) Cemento Portland:
Debe ser Tipo I o Tipos II y III.

b) Agregado Fino:

La graduación del agregado debe estar dentro de los indicados en la tabla tabla 3a:

TABLA No. 3a
GRADUACIÓN DE AGREGADOS PARA EL CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND

TAMICES AASHTO M 92	PORCENTAJE QUE PASA	
	(a)	(b)
3/8"	100	100
No. 4	95-100	95-100
No.8	---	75--95
16	45-80	50-85
30	---	25-60
50	05-30	05-30
100	05-30	05-30
200	00-04	00-04

El módulo de finura no debe ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1, ni variar en más de 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones de concreto.

El módulo de finura de un agregado se determina, de la suma de los porcentajes por peso acumulado retenidos en los siguientes tamices de malla cuadrada, divida entre 100:

3", 1.5", 3/4", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100.

c) Agregado Grueso:

El porcentaje de partículas planas o alargadas (longitud mayor de 5 veces el espesor promedio), no debe sobrepasar de 15 % en peso.

El porcentaje de partículas friables no debe de exceder de 5 % en peso, pero el contenido de terrones de arcilla no debe ser mayor de 0.25% en peso.

La graduación del agregado grueso, debe satisfacer una de las graduaciones indicadas en la tabla No 3b.

TABLA No. 3b
GRADUACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

No.	Tamiz		Porcentaje en peso que Pasa								
			3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4
1	0.5"	No.4	*					100	90-100	40-70	0-15
2	3/4"	No.4	*				100	95-100	- - -	20-55	0-10
3	1"	No.4	*			100	95-100	- - -	25-60	- - -	0-10
4	1.5"	No.4			100	95-100	- - -	35-70	- - -	10-30	0-05
5	2"	No.4		100	95-100	- - -	35-70	- - -	10-30	- - -	0-05
6	2.5"	No.4	100	95-100	- - -	35-70	- - -	10-30	- - -	- - -	0-05

* No más del 5 % debe pasar el tamiz No.8

d) El agua para mezclado, curado del concreto y lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que pueden ser nocivas al concreto o al acero.

e) Requisitos para el Refuerzo en las losas: cuando las disposiciones especiales lo requieran expresamente, se usarán losas reforzadas. El refuerzo debe consistir en malla de alambre de acero de refuerzo soldado, o emparrillado de barras de acero.

3.3 CALIDAD DEL CONCRETO

a) Generalidades. El concreto debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio lo suficientemente alta, para minimizar la frecuencia de resultados de pruebas por debajo del valor de resistencia a la compresión especificada en los planos. Los planos deben mostrar claramente la resistencia a la compresión del concreto, para la cual se ha diseñado cada parte de la estructura.

Los requisitos para comprobar la resistencia del concreto, deben basarse de cilindros fabricados y probados de acuerdo con los métodos AASHTO o ASTM.

b) Criterios de variación de las Pruebas de Resistencia. Las proporciones del concreto pueden establecerse con base en la experiencia de campo, con materiales semejantes a los que se emplearán en la obra propuesta, o sobre la base de pruebas de tanteo en el laboratorio.

b.1 Criterio No.1 Que haya una probabilidad menor de 1 en 10, de que una prueba individual de resistencia tomada al azar, sea, más baja que la resistencia especificada, en cuyo caso la resitencia promedio requerida se calcula por medio de la fórmula:

$$f'cr = f'c + 1.282 * S$$

b.2 Criterio No.2 Que haya una probabilidad de 1 en 100, de que el promedio de 3 pruebas consecutivas de resistencia, sea más bajo que la resistencia especificada, en cuyo caso la resistencia promedio requerida se calcula por la fórmula:

$$f'cr = f'c + 1.343 * S$$

b.3) Que haya una probabilidad de 1 en 100, de que una prueba individual de resistencia sea 500 libras/pulgada cuadrada (35 kg./cm^2) más baja que la resistencia especificada, en cuyo caso la resistencia promedio requerida, se obtiene por las fórmulas:

$$f'cr = f'c - 500 + 2.326 * S \quad \text{(en libras/pulgada cuadrada)}$$
$$f'cr = f'c - 35 + 2.326 * S \quad \text{(en kg./centímetro cuadrado)}$$

En donde

f'cr = resistencia promedio requerida para la selección de proporciones de la mezcla de concreto.

f'c = resitencia del concreto especificada en los planos, a la edad de 28 días .

S = Desviación Standard de las pruebas individuales de resistencia.

3.4 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

a) Diseño de mezclas con base en la experiencia de Campo:

Cuando se trate de plantas de concreto, con un registro y control adecuado de su producción, con base por lo menos de 30 pruebas consecutivas de resitencia requerida como base para la selección de proporciones, puede calcularse de acuerdo a los criterios de variación No.1 y No.2 del inciso anterior, siempre que la desviación standard de las pruebas consideradas no exceda de 600 libras/pulgada cuadrada (42 kg./cm^2).

b) Diseño de mezclas con base en pruebas de Tanteo en el laboratorio:

Cuando se utilicen bachadas de tanteo en el laboratorio, como base de la selección de las proporciones de una mezcla de concreto, las muestras para los ensayos de resistencia deben prepararse y curarse de acuerdo a AASHTO T 126 y ensayarse de acuerdo a AASHTO T 22. Debe establecerse una curva que muestre la variación de la relación agua/cemento y la resistencia promedio a comprensión a los 28 días. La curva debe basarse por lo menos en tres puntos y preferiblemente en cinco, que representen bachadas que produzcan resistencias por encima y por debajo de la requerida. Cada punto debe representar el promedio de por lo menos tres especímenes probados a 28 días. La máxima relación agua/cemento permisible para el concreto que va a emplearse en la estructura, será la mostrada por la curva, que produzca la resistencia promedio requerida que exceda la resistencia especificada, de acuerdos con la aplicación de los criterios de variación ya señalados.

c) Diseño de mezclas cuando no se cuenta con experiencia de Campo o Datos Adecuados de Bachadas de Tanteo en el Laboratorio.

Cuando se trate de estructuras pequeñas o de poca importancia, y si no se cuenta con experiencia de campo o con datos adecuados de bachadas de tanteo en el laboratorio, puede basarse las proporciones del concreto en los límites de la relación agua/cemento indicadas en la Tabla No. 3c . Esta tabla debe usarse sólo para concreto fabricado con cemento del Tipo I, II, o III, y no será aplicable a concreto que tenga agregados livianos o aditivos que no sean inclusores de aire. La aplicación de este método para estimar las proporciones, no elimina el requisito de cumplir con los criterios de aceptación de las pruebas de resistencia a la comprensión .

d) Clases de Mezclas

Las principales clases de concreto hidráulico utilizadas en carreteras son las siguientes:

d.1) Concreto Clase "A"

Debe tener un mínimo de resistencia a la comprensión de 3,000 libras por pulgada cuadrada, (210.9 Kg., por centímetro cuadrado), a los 28 días; un contenido mínimo de 8 sacos de cemento de 94 libras (42.7 Kg.) por metro cúbico y 6 galones (22.7 litros) de agua por saco de cemento Portland. Normalmente se emplea en construcciones masivas, altamente reforzado (véase tabla No. 3c).

d.2) Concreto Clase "B"

Debe tener un mínimo de resistencia a la comprensión de 2,500 libras por pulgada cuadrada (175.8 Kg./cm^2), a los 28 días; un contenido mínimo de 7.25 sacos de cemento de 94 libras (42.7 Kg.), por metro cúbico y 7 galones (26.5 litros) de agua por saco de cemento. Al igual que el concreto Clase "A" se utiliza en construcciones masivas; pero ligeramente reforzado (véase tabla No. 3c).

d.3) Concreto Clase "C"

Debe tener un mínimo de resistencia a la comprensión de 2,000 libras por pulgada cuadrada (140.6 Kg./cm^2), a los 28 días; un contenido mínimo de 6 sacos de cemento de 94 libras (42.7 Kg.) por metro cúbico y 8 galones (30.0 litros) de agua por saco de cemento. Utilizado sin refuerzo alguno (véase tabla No. 3c).

d.4) Concreto Clase "D"

Se deberá utilizar en concretos hidráulicos pretensados (véase tabla No. 3c).

d.5) Concreto Clase "X"

Se emplea en secciones masivas, ligeramente reforzadas, y cuando se desea obtener un concreto de mejor calidad que la clase "B" (véase tabla No. 3c).

d.6) Concreto Clase "Y"

Puede emplearse en secciones delgadas y reforzadas (véase tabla No. 3c).

d.7) Concreto Clase "S"

Generalmente utilizado para trabajos bajo el agua (véase tabla 3c).

TABLA No. 3c

PROPORCIONES DE LOS DIFERENTES CLASES DE MEZCLAS

(1)	Método de Fabricación	(2)	Tamaño de Agregados Normal	Alternativa	(3)	(4)	Peso en Kg. de Los Agregados Grava		Piedra Trit.	
							Finos	Gruesos	Finos	Grueso
A	Vibrado	8.5	1. 5"- No.4	1" - No.4	5.5	1 - 3	185	430	200	400
A	No Vibrado	8.5	1.5"- No.4	1" - No.4	5.5	2- 4	210	400	230	365
AA	Vibrado	8.0	1" - No.4	3/4"- No.4	6.0	1 - 3	230	440	250	390
AA	No Vibrado	8.0	1" - No.4	3/4"- No.4	6.0	2 - 4	260	405	280	360
B	Vibrado	7.3	2"- No.4	1.5"- No.4	7.0	1 - 2	275	680	310	620
B	No Vibrado	7.3	2"- No.4	1.5"- No.4	7.0	2 - 3	320	635	355	575
C	Vibrado	6.0	2.5"- No.4	2" - No.4	8.5	1 - 2	345	910	390	835
C	No Vibrado	6.0	2.5"- No.4	2" - No.4	8.5	2 - 3	410	835	455	770
D	Vibrado	9.8	1"- No.4	3/4"- No.4	4.5	1 - 3	170	340	175	325
X	Vibrado	7.0	2" - No.4	1.5"- No.4	6.0	1 - 2	200	560	230	510
X	No Vibrado	7.0	2" - No.4	1.5"- No.4	6.0	2 - 3	240	525	270	470
Y	Vibrado	9.0	1/2" - No.4	3/4"- No.4	5.5	1 - 3	235	285	240	270
Y	No Vibrado	9.0	1/2" - No.4	3/4"- No.4	5.7	2 - 4	260	260	270	240
S	No Vibrado	9.0	1" - No.4	3/4"- No.4	6.0	4.8	195	355	220	305

(1) Clase de Concreto

(2) Bolsas de Cemento de 94 Libras por Metro Cúbico

(3) Relación Neta Máxima Agua/Cemento en Galones por Bolsa de Cemento

(4) Revenimiento o Slump Test, en Pulgadas.

3. 5 CONTROL EN EL CAMPO DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

La Prueba de Revenimiento O Slump Test se debe de efectuar cuando se haga necesario, puesto que proporciona una idea clara de la trabajabilidad de la masa de concreto, así como de la relación agua-cemento. En los cuadros anteriores se recomienda el Revenimiento para cada clase de concreto. Esta prueba no debe efectuarse cuando el agregado grueso tenga alto porcentaje de material retenido en el tamiz 2".

3.6 MÉTODO Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO SIMPLIFICADO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS (PCA)

La PCA (Asociación del Cemento Portland) ha desarrollado dos métodos para determinar el espesor de losa adecuada para soportar la carga de tránsito de calles y carreteras.

a) Método de Capacidad:

Procedimiento de diseño con posibilidad de obtener datos de carga . Éste asume datos detallados de carga-eje tienen que ser obtenidos de estaciones representativas. Este método no se describirá en la presente tesis.

b) Método Simplificado:

Procedimiento sencillo que determina el espesor de losa necesario, según tablas de distribución, compuestas de carga de eje, que representan diferentes categorías de carreteras y tipos de calles.

El método simplificado, como se mencionó, utiliza los datos de la tabla para las cuatro categorías de tránsito (véase Tabla No. 3d). Éstas están diseñadas para un período de diseño de 20 años. Estas tablas han sido elaboradas contemplando el factor de seguridad de carga. Este factor incrementa el valor de carga estática por eje, ya que los esfuerzos producidos por movimiento son más que los ocasionados cuando el mismo eje está detenido, para que el esfuerzo producido por un

eje estático alcance su máximo valor. Los factores de seguridad por los cuales deben multiplicarse las cargas nominales de ejes son 1.0, 1.1, 1.2, y 1.3, respectivamente, para las cuatro categorías de eje de carga. 1, 2, 3, y 4.

Para la determinación del espesor de la losa de concreto se hace necesario conocer los esfuerzos combinados de la subrasante y sub-base, (véase tabla No. 3e), ya que mejoran la estructura de un pavimento. Una comparación importante de bases, de suelo-cemento en relación con las bases granulares, es que, existen mayor grado de resistencia estructural en las primeras que en las segundas.

El valor aproximado de Ks (módulo de Reacción), cuando se usan bases granulares y bases de suelo cemento, respectivamente, se muestran en las Tablas Nos. 3f y 3g.

En ausencia de los valores de los ensayos de laboratorio, puede usarse la relación aproximada entre Ks y CBR o valor soporte de California para diferentes tipos de suelo, en la Tabla No. 1a se muestra esta relación.

3.6.1 Tránsito

En el diseño utilizando éste método se hace necesario conocer el TPDC, el cual puede ser expresado como un porcentaje de TPD. El tránsito futuro tiene considerable influencia en el diseño, por lo que la razón de crecimiento es afectada por factores como el tránsito desarrollado, todos estos factores pueden causar razones de crecimiento anual del 2 al 6 %, que corresponden a factores de proyección de tránsito a 20 años de 1.2 a 1.8 (véase tabla No. 3h). El uso de razones altas de crecimiento para calles residenciales no son aplicables, ya que sus calles llevan poco tránsito, generalmente, es originado en las mismas o es ocasionado por vehículos de reparto, por lo que las tasas de crecimiento podrían estar debajo de 2 % por año (factores de proyección de 1.1 a 1.3). Las tablas están diseñadas para un período de 20 años, para otros períodos de diseño, las estimaciones de tránsito TPDC se multiplican por un factor apropiado para obtener un valor ajustado para poder usar las tablas. Por ejemplo, se decide utilizar un período de diseño de 40 años en lugar de 20 años, la estimación del valor del TPDC permisible es multiplicado por 40/20.

3.6.2 Etapas del Método Simplificado

a) Estimar el tránsito promedio diarios de camiones (TPDC) en ambas direcciones, no incluyendo camiones de dos ejes y cuatro llantas.

b) Seleccionar la categoría de carga por eje, según la Tabla No. 3d.

c) Encontrar el espesor de la losa requerida en la tabla apropiada.

El TPDC incluye solamente camiones de seis llantas o más y unidades simples o combinadas de tres ejes o más. No se incluyen paneles, pick ups, o algún otro camión de dos ejes y cuatro llantas. El número permisible de camiones pesados por día de todo tipo tiene que ser mayor que el TPDC arbitrario, por lo menos en el doble para autopistas y el triple para calles y carretas secundarias.

Para el uso correcto de la Tabla No. 3d , los valores de TPD y TPDC no deben ser usados como un criterio primario para seleccionar la categoría de carga de eje, los datos son mostrados únicamente para ilustrar valores típicos. En lugar de ello, lo correcto es confiar más en la descripción de una categoría en base a los valores esperados de máxima carga de eje. El valor de diseño del TPDC será obtenido por una clasificación de conteo de los camiones esperados.

Las tablas de diseño Nos. 3i a la 3ñ , incluyen el diseño para pavimento con bordillo integrado y sin bordillo de concreto con cemento portland. El bordillo integrado ofrece ventajas sobre bordillo-cuneta separados. El bordillo integrado provee un espaciamiento del borde del pavimento que disminuye sus flexiones y tensiones, y, mejora su capacidad estructural, con lo cual se reduce el espesor de la losa de un pavimento determinado entre 1 a 1/2 pulgadas.

La transmisión de carga de tránsito de una losa a otra adyacente, a través de las juntas, puede llevarse a cabo por medio del sistema de dovelas (barras de acero liso), no siendo necesarias para volúmenes de tránsito de camiones bajos y por juntas aserradas (interacción de agregados), a continuación se presentan las correspondientes tablas para el diseño de pavimentos rígidos.

TABLA No. 3d CATEGORÍAS DE CARGA POR EJE

CARGA POR EJE CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	TRÁFICO			MÁXIMA CARGA POR EJE, KIPS	
			ADTT			
		ADT	%	POR DÍA	Eje Sencillo	Eje Tandem
1	CALLES RESIDENCIALES CARRETERAS RURALES Y SECUNDARIAS. (BAJO A MEDIO).	200 A 800	1-3	ARRIBA DE 25	22	36
2	CALLES COLECTORAS CALLES RURALES Y SECUNDARIAS (ALTAS) CARRETERAS PRIMARIAS Y CALLES ARTERIALES (BAJO).	700 A 5,000	5-18	DE 40 A 1,000	26	44
3	CALLES ARTERIALES Y CARRETERAS PRIMARIAS (MEDIO) SUPERCARRETERAS INTERESTATALES URBANAS Y RURALES (BAJO A MEDIO).	3,000- 12,000 2 CARRILES 3,000-50,000 4 CARRILES O MAS	8-30	DE 500 A 5,000	30	52
4	CALLES ARTERIALES, CARRETERAS PRIMARIAS, SUPER-CARRETERAS (ALTAS), INTERESTATALES URBANA Y RURAL (MEDIO A ALTO).	3,000-20,000 2 CARRILES	8-30	DE 1500 A 8,000	34	60

LOS DESCRIPTORES ALTO, MEDIO Y BAJO SE REFIEREN AL PESO RELATIVO DE. LAS CARGAS POR EJE PARA EL TIPO DE CALLE O CARRETERA.
ADTT: CAMIONES DOS EJES, CAMIONES CUATRO LLANTAS EXCLUIDOS.

TABLA No. 3e
TIPOS DE SUELOS DE SUB-RASANTE Y VALORES APROXIMADOS DE "K"

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K PCI
SUELOS DE GRANO FINO EN EL CUAL EL TAMAÑO DE PARTICULAS DE LIMO Y ARCILLA PREDOMINAN	BAJO	75 - 120
ARENAS Y MEZCLAS DE ARENA CON GRAVA, CON UNA CANTIDAD CONSIDERADA DE LIMO Y ARCILLA	MEDIO	130 - 170
ARENAS Y MEZCLAS DE ARENA CON GRAVA RELATIVAMENTE LIBRE DE FINOS	ALTO	180 - 220
SUB-BASE TRATADA CON CEMENTO	MUY ALTO	250 - 400

TABLA No. 3f

VALORES DE K PARA DISEÑO SOBRE BASES GRANULARES (de PCA)

VALOR DE K DE LA SUBRASANTE LBS / PULG^3.	VALOR DE K SOBRE LA BASE LBS/ PULG^3			
	ESPESOR 4 PULG.	ESPESOR 6 PULG.	ESPESOR 9 PULG.	ESPESOR 12 PULG.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

TABLA No. 3g

VALORES DE K PARA DISEÑO SOBRE BASES DE SUELO-CEMENTO (DE PCA)

VALOR DE K DE LA SUBRASANTE LBS/PULG^3	VALOR DE K SOBRE LA BASE LBS/PULG^3			
	ESPESOR 4 PULG	ESPESOR 6 PULG	ESPESOR 9 PULG	ESPESOR 12 PULG
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	- - -

TABLA No. 3h

PORCENTAJE ANUAL DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO Y FACTORES DE PROYECCIÓN CORRESPONDIENTES

PORCENTAJE ANUAL DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO %	FACTOR DE PROYECCIÓN 20 AÑOS	FACTOR DE PROYECCIÓN 40 AÑOS
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

TABLA No. 3i

TPDC PERMISIBLE, CARGA POR EJE CATEGORÍA 1
PAVIMENTOS CON JUNTAS
DE TRAVE POR AGREGADO (NO NECESITA DOVELAS)

	SIN HOMBROS DE CONCRETO O BORDILLO				CON HOMBROS DE CONCRETO O BORDILLO			
	ESPESOR DE LOSA PULG	SOPORTE SUBRASANTE SUB-BASE BAJO	MEDIO	ALTO	ESPESOR DE LOSA PULG	SOPORTE SUB-RASANTE SUB-BASE BAJO	MEDIO	ALTO
					4		0.2	0.9
	4.5			0.1	4.5	2	8	25
MR	5	0.1	0.8	3.0	5	30	130	330
DE	5.5	3	15	45	5.5	320		
650	6	40	160	430				
PSI	6.5	330						
	5		0.1	0.4	4			0.1
MR	5.5	0.5	3.0	9.0	4.5	0.2	1	5.0
DE	6.0	8.0	36	98	5	6.0	27	75
600	6.5	76	300	760	5.5	73	290	730
PSI	7.0	520			6.0	610		
	5.5	0.1	0.3	1.0	4.5		0.2	0.6
MR	6.0	1.0	6.0	18	5.0	0.8	4.0	13.0
DE	6.5	13.0	60	160	5.5	13	57	150.0
550	7.0	110	400		6.0	130	480	
PSI	7.5	620						

TABLA No. 3j
TPDC PERMISIBLE. CARGA POR EJE CATEGORÍA 2
PAVIMENTOS CON JUNTAS DOVELAS.

	CONCRETO SIN HOMBROS O BORDILLO					CONCRETO CON HOMBROS O BORDILLOS				
	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO
						5		3	9	42
	5.5				5	5.5	9	42	120	450
	6.0		4	12	59	6.0	96	380	970	3400
MR	6.5	9	43	120	490	6.5	710	2600		
DE	7.0	80	320	840	3100	7.0	4200			
650	7.5	490	1800							
PSI	8.0	2500								
	6.0				11	5.0			1	8
	6.5		8	24	110	5.5	1	8	23	98
MR	7.0	15	70	190	750	6.0	19	84	220	810
DE	7.5	110	440	1100		6.5	160	620	1500	5200
600	8.0	590	2300			7.0	1000	3600		
PSI	8.5	2700								
	6.5			4	19	5.5			3	17
MR	7.0		11	34	150	6.0	3	14	41	160
DE	7.5	19	84	230	890	6.5	29	120	320	1100
550	8.0	120	470	1200		7.0	210	770	1900	
PSI	8.5	560	2200			7.5	1100	4000		
	9.0	2400								

TABLA No. 3k
TPDC PERMISIBLE. CARGA POR EJE CATEGORÍA 2
PAVIMENTOS CON JUNTAS CON AGREGADO DE TRAVE.

CONCRETO SIN HOMBROS O BORDILLO						CONCRETO CON HOMBROS O BORDILLOS				
	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO
						5.5		3	9	42
	5.5				5	5.5	9	42	120	450
MR	6.0		4	12	59	6.0	96	380	700	970
DE	6.5	9	43	120	490	6.5	650	1000	1400	2100
650	7.0	80	320	540	1200	7	1100	1900		
PSI	7.5	490	1200	1500						
	8.0	1300	1900							
	6				11	5			1	8
MR	6.5		8	24	110	5.5	1	8	23	98
DE	7.0	15	70	190	750	6.0	19	84	220	810
600	7.5	110	440	1100	2100	6.5	160	520	1400	2100
PSI	8.0	590	1900			7.0	1000	1900		
	8.5	1900								
	6.5			4	19	5.5			3	17
MR	7		11	34	150	6	3	14	41	160
DE	7.5	19	84	230	890	6.5	29	120	320	1100
550	8	120	470	1200		7.0	210	770	1900	
PSI	8.5	560	2200			7.5	1100			
	9	2400								

TABLA No. 31
TPDC PERMISIBLE. CARGA POR EJE CATEGORÍA 3.
PAVIMENTOS CON JUNTAS DOVELADAS.

CONCRETO SIN HØMBROS O BORDILLOS						CONCRETO CON HOMBROS O BORDILLOS				
	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO
MR DE 650 PSI	7.5				250	6.5			83	320
	8.0		130	350	1300	7.0	52	220	550	1900
	8.5	160	640	1600	6200	7.5	320	1200	2900	9800
	9.0	700	2700	7000	11500	8.0	1600	5700	13800	
	9.5	2700	10800			8.5	6900	23700		
	10	9900								
MR DE 600 PSI						6.5				67
	8.0			73	310	7.0			120	440
	8.5		140	380	1500	7.5		270	680	2300
	9.0	160	640	1700	6200	8.0	370	1300	3200	10800
	9.5	630	2500	6500		8.5	1600	5800	14100	
	10	2300	9300			9.0	6600			
	10.5	7700								
MR DE 550 PSI						7.0				82
	8.5			70	300	7.5			130	480
	9.0		120	340	1300	8.0	67	270	670	2300
	9.5	120	520	1300	5100	8.5	330	1200	2900	9700
	10	460	1900	4900	19100	9.0	1400	4900	11700	
	10.5	1600	6500	17400		9.5	5100	18600		
	11	4900								

TABLA No. 3m
TPDC PERMISIBLE. CARGA POR EJE CATEGORÍA 3
PAVIMENTOS CON JUNTAS CON AGREGADO DE TRAVE

CONCRETO SIN HOMBROS O BORDILLOS						CONCRETO CON HOMBROS O BORDILLOS				
	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO
MR DE 650 PSI						7.0		220	510	750
	7.5			60	250	7.5	320	640	890	1400
	8.0		130	350	830	8.0	610	1100	1500	2500
	8.5	160	640	900	1300	8.5	950	1800	2700	4700
	9.0	680	1000	1300	2000	9.0	1500	2900	4600	8700
	9.5	960	1500	2000	2900	9.5	2300	4700	8000	
	10	1300	2100	2800	4300	10	3500	7700		
	10.5	1800	2900	4000	6300	10.5	5300			
	11	2500	4000	5700	9200	11	8100			
	11.5	3300	5500	2900						
	12	4400	7500							
MR DE 600 PSI										
	8			23	310	7			120	140
	8.5		140	380	1300	7.5	67	270	680	1400
	9.0	160	640	1300	2000	8.0	370	1100	1500	2500
	9.5	630	1500	2000	2900	8.5	950	1800	2700	4700
	10	1300	2100	2800	4300	9.0	1500	2900	4600	8700
	10.5	1800	2900	4000	6300	9.5	2600	4700	8000	
	11	2500	4000	5700	9200	10	3500	7700		
	11.5	3300	5500	7900		10.5	5300			
	12	4400	7500			11	8100			
MR DE 550 PSI										
	8				56	7				82
	8.5			70	300	7.5			130	480
	9.0		120	340	1300	8.0	67	270	670	2300
	9.5	120	520	1300	2900	8.5	330	1200	2700	4700
	10	460	1900	2800	4300	9.0	1400	2900	4600	8700
	10.5	1600	2900	4000	6300	9.5	2300	4700	8000	
	11.0	2500	4000	5700	9200	10	3500	7700		
	11.5	3300	5500	7900		10.5	5300			
	12	4400	7500			11	8100			

TABLA No. 3n
TPDC PERMISIBLE. CARGA POR EJE CATEGORÍA 4,
PAVIMENTOS CON JUNTAS DOVELAS

CONCRETO SIN HOMBROS O BORDILLOS						CONCRETO CON HOMBROS O BORDILLO				
	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE MEDIO	SUB-RASANTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASAMTE MEDIO	SUB-RASAMTE ALTO	SUB-BASE MUY ALTO
MR DE 650 PSI	8.0				270	7.0				400
	8.5		120	340	1300	7.5		240	620	2100
	9.0	140	580	1500	5600	8.0	330	1200	3000	9800
	9.5	570	2300	5900	14700	8.5	1500	5300	12700	41100
	10	2000	8200	18700	25900	9.0	5900	21400	44900	
	10.5	6700	24100	31800	45800	9.5	22500	52000		
	11.0	21600	39600			10.0	45200			
	11.5	39700								
MR DE 600 PSI	8.5				300	7.5			130	490
	9		120	340	1300	8		270	690	2300
	9.5	120	530	1400	5200	8.5	340	1300	3000	9900
	10	480	1900	5100	19300	9.0	1400	5000	12000	40200
	10.5	1600	6500	17500	45900	9.5	5200	18800	45900	
	11.0	4900	21400	53800		10.0	18400			
	11.5	14500	65000							
	12	44000								
MR DE 550 PSI	9.0				260	8.0			130	480
	9.5			280	1100	8.5		250	620	2100
	10.0		390	1100	4000	9.0	280	1000	2600	8200
	10.5	320	1400	3600	13800	9.5	1100	3900	9300	30700
	11.0	1000	4300	11600	46600	10.0	3800	13600	32900	
	11.5	3000	13100	37200		10.5	12400	46200		
	12	8200	40000			11.0	40400			

TABLA No. 3ñ
TPDC PERMISIBLE, CARGA POR EJE CATEGORÍA 4.
PAVIMENTOS CON JUNTAS CON AGREGADO DE TRAVE

CONCRETO SIN HOMBROS O BORDILLO						CONCRETO CON HOMBROS O BORDILLO				
	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUB-RASANTE- MEDIO	ALTO	SUB-BASE MUY ALTO	ESPESOR DE LOSA (PULG)	SOPORTE BAJO	SUBRASANTE- MEDIO	ALTO	SUBBASE MUY ALTO
	8.0				270	7.0			100	400
	8.5		120	340	990	7.5		240	620	910
	9.0	140	580	1100	1500	8.0	330	770	1100	1700
MR	9.5	570	1200	1600	2300	8.5	720	1300	1900	3100
DE	10.0	1100	1700	2200	3400	9.0	1100	2100	3200	5700
650	10.5	1500	2300	3200	4900	9.5	1700	3400	5500	10200
PSI	11.0	2000	3300	4500	7200	10	2600	5500	9200	17900
	11.5	2700	4500	6300	10400					
	12	3600	6100	8800	14900	11	5900	13600	24200	
	13	6300	11100	16800		12	12800			
	14	10800								
	8.5				300	7.5			130	490
	9.0		120	340	1300	8		270	690	1700
	9.5	120	530	1400	2300	8.5	340	1300	1900	3100
MR	10	480	1700	2200	3400	9.0	1100	2100	3200	5700
DE	10.5	1500	2300	3200	4900	9.5	1700	3400	5500	10200
600	11.0	2000	3300	4500	7200	10.0	2600	5500	9200	17900
PSI	11.5	2700	4500	6300	10400					
	12.0	3600	6100	8800	14900	11	5900	13600	24200	
	13	6300	11100	16800		12	12800			
	14	10800								
	9.0				260	8.0			130	480
	9.5			280	1100	8.5		250	620	2100
MR	10.0		390	1100	3400	9.0	280	1000	2500	5700
DE	10.5	320	1400	3200	4900	9.5	1100	3400	5500	10200
550	11	1000	3300	4500	7200	10	2600	5500	9200	17900
PSI	11.5	2700	4500	6300	10400					
	12	3600	6100	8800	14900	11	5900	13600	24200	
	13	6300	11100	16800		12	12800			
	14	10800								

Ejemplo:

Diseñar el espesor de la estructura del pavimento con los siguientes datos:

Una calle principal, con TPD de diseño de 5000 vehículos y un total de camiones por día de 2000, lo que da un TPDC permisible de 900. El análisis o estudio de suelos reveló que el material es arcilla con una capacidad soporte de subrasante-subbase bajo, considerando esto se usará concreto con módulo de ruptura de 650 psi, con juntas con dovelas y mordientes.

a) de la Tabla No. 3d se obtiene la categoria de carga/eje.

b) para esta categoría se escojerá el pavimento con juntas dovelas, Tabla No. 3j.

c) usando el lado derecho de la tabla correspondiente a pistas con hombro o mordiente.

d) con los datos del Módulo de Ruptura, localizado a la izquierda de la tabla, capacidad soporte de la sub-rasante y/o sub-base en la parte superior de la misma tabla, localizar el TPDC de 900, quedando entre un espesor de 6.5 pulgadas, para TPDC de 710 y 7 pulgadas para un TPDC de 4200

e) se asume el espesor de 7 pulgadas.

Ejemplo

Con los siguientes datos diseñar el pavimento rígido de una autopista ficticia.

Proyección de Tránsito con una tasa de crecimiento anual del 6 %

Año	Vehículos Livianos	Medianos	Camiones Pesados	Buses	Total
1997	500	200	300	100	1100
1998	530	212	318	106	1166
1999	562	225	338	112	1237
2000	596	238	358	119	1311
2001	632	252	379	126	1389
2002	670	267	402	134	1472
2003	710	283	426	142	1561
2004	752	300	452	150	1652
2005	797	318	479	159	1753
2006	845	338	508	169	1860
2007	896	358	538	179	1972
2008	950	379	570	190	2089
2009	1007	402	604	201	2214
2010	1067	426	640	213	2346
2011	1131	452	678	226	2487
2012	1199	479	719	240	2637
2013	1271	508	762	254	2795
2014	1347	538	808	269	2962
2015	1428	570	856	285	3139
2016	1514	604	907	302	3327

Datos del Proyecto:
vida útil de 20 años.
CBR de diseño de 2.5 %, obtenido de los ensayos de laboratorio de muestras alteradas del suelo de fundación, se utilizará concreto de cemento portland con un módulo de ruptura de 650 psi, con juntas de trabe por agregados; con esta información se tiene:

Según la proyección del tránsito
TPD = 3327
TPDC = 907

Por medio de la tabla No. 1a, el CBR de diseño de 2.5 %, obtenido, equivale a un módulo de reacción de la subrasante de 50 lb/pulg^3. Al emplear una base granular con espesor de 5 pulg., el valor de la subrasante K incrementa su resistencia a 70 lb/pul^3, con este valor se clasifica la resistencia de la subrasante o combinación de la subrasante y la base como Baja. Según los datos anteriores se usará la tabla No. 3d , la cual corresponde a la categoría de carga eje número 4, que es para calles, carreteras primarias y autopistas de dos o cuatro pistas.

Con los datos anteriores y empleando un concreto de cemento portland con un módulo de ruptura de 650 psi, con juntas de trabe por agregados con hombros (ver Tabla No. 3ñ) se obtiene el espesor requerido que corresponde a 9 pulgadas.

Finalmente el espesor para las capas del pavimento rígido son:
Base Granular de 5 pulgadas
Losa de Concreto 9 pulgadas
Total 14 pulgadas.

CAPÍTULO 4

PAVIMENTO SEMIRÍGIDO

4. PAVIMENTO SEMIRÍGIDO

4.1 PAVIMENTACIÓN CON ADOQUÍN DE CONCRETO

El sistema de adoquines de Concreto, ha venido a constituir una alternativa, todavía económica relativamente ante el costo inflacionariamente ascendente de los productos de petróleo y del cemento Portland, generalmente utilizado para calles y avenidas de ciudades, ver figura de la página No. 4, del apéndice, en donde se muestra la sección típica del pavimento con adoquín.

El sistema del pavimento con adoquín presenta las siguientes ventajas :

a) Costo menor comparado con asfalto o con losas de concreto tradicionales.

b) Costo de mantenimiento sensiblemente menor respecto a los otros tipos de pavimento.

c) Superficie apropiada y de rodadura suave al tránsito de vehículos de cualquier tipo o clase.

d) fabricación y colocación simple con personal no especializado y de poca calificación.

e) Materiales y mano de obra nacionales, en muchos casos local, con lo que evita la fuga de divisas al extranjero.

f) Facilidad para efectuar reparaciones.

4.2 TIPOS DE PAVIMENTO CON ADOQUÍN:

a) Pavimento adoquinado para tránsito pesado:

Debe colocarse en calles que tengan tránsito frecuente de vehículos pesados como camiones y paso constante de gran número de vehículos, aún siendo éstos de tipo liviano. estas calles comprenden las vías principales o arterias principales.

b) Pavimento adoquinado para tránsito Liviano:

Puede colocarse en calles secundarias, algunas áreas de estacionamiento o aún en calles

principales cuando se estime que el volumen de tránsito es relativamente bajo, aún tratándose de vehículos pesados.

La diferencia existente entre los anteriores estriba en que el adoquinado para tránsito liviano no necesita de la capa de material selecto que constituye la sub-base, colocándose la capa de arena gruesa de base directamente sobre la sub-rasante.

4.3 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL PAVIMENTO ADOQUINADO

En las páginas Nos. 4 y 5 del apéndice se presentan las partes principales de los elementos que constituyen el pavimento adoquinado, a continuación se describirán brevemente.

4.3.1 Sub-rasante:

La sub-rasante es la superficie resultante del movimiento de tierras, en corte o relleno; que debe ser conformada y compactada de acuerdo a las secciones transversales y pendientes, en el capítulo 1 se enumeran los requisitos más importantes que debe llenar la subrasante, según las especificaciones usadas en Guatemala.

4.3.2 Sub-base

Dependerá de la sub-rasante; su utilización, sus funciones y requisitos fueron enumerados en el capítulo 1.

4.3.3 Base

Capa de material selecto que se coloca encima de la sub-base o de la sub-rasante, siendo el elemento principal de distribución de las cargas y esfuerzos ejercidos sobre la capa de rodadura, por lo cual el suelo o material compatible a usar debe ser de muy buena calidad; para mayor información consultar el capítulo 1, en donde se enuncian las funciones y requisitos de las Bases, utilizadas en Guatemala.

4.3.4 Cama de Asiento

Es una capa no rígida que se requiere para sostener y compactar la carpeta de rodadura, utilizada únicamente por este tipo de pavimento; sus funciones principales son:

a) Proporcionar un apoyo uniforme en toda la superficie de cada adoquín.

b) Servir de drenaje por si hay filtración en juntas, evitando que se dañe la base.

c) Proporcionar un acomodo para los adoquines sobre la capa de base, cubriendo ciertas irregularidades que ésta pudiera tener.

4.3.5 Carpeta de Rodadura

En un pavimento con adoquín, el propósito de la capa de rodadura o carpeta es proveer una superficie que cumple las funciones enumeradas en el capítulo 1, la capa de rodadura construida con adoquines de concreto cumple satisfactoriamente con estos requisitos. Además reúne las características positivas de los pavimentos de concreto, con las ventajas de los pavimentos flexibles, agregando las ventajas derivadas de la prefabricación, facilidad de colocación y remoción, etc.

La carpeta de rodadura del pavimento con adoquín consta de los siguientes elementos: bloque prefabricado, bordillo, llaves de confinamiento longitudinales y laterales, y relleno de juntas (véase la figura de la hoja número 5 del apéndice) .

a) Llave de confinamiento:

Es un elemento estructural, igual a un bordillo, interrumpido en su construcción a nivel de pista, que sirve para limitar áreas adoquinadas y evitar con ello el deslizamiento de los adoquines y el deterioro, por arrastre, de otras estructuras de rodadura.

b) Bordillo:

Elemento estructural longitudinal, generalmente de concreto, que sobresale de la pista y sirve para dar alineamiento a las calles y banquetas y que funciona como cauce de las aguas superficiales y brinda confinamiento y consolidación a las estructuras de rodadura.

4.4 DESCRIPCIÓN Y MÉTODO DE FABRICACIÓN DE LOS ADOQUINES

4.4.1 Descripción:

Los adoquines son bloques de concreto que constituyen la capa de pavimento que soportará directamente el paso del tráfico, se pueden usar cualquier forma para los adoquines, aunque se recomienda la forma de la figura indicada en la página V del apéndice, por razones de facilidad de construcción, uniformidad de diseño, evitar tener que disponer de varios tipos o formas de moldes, etc.

4.4.2 Materiales:

El adoquín debe ser de un concreto de alta calidad para soportar las cargas producidas por el tránsito de vehículos.

Entre materiales a utilizar en la fabricación del adoquín están los siguientes:

a) Agregado Grueso: puede ser grava (proveniente de ríos, canto rodado), y Piedrín (piedra triturada).

a.1) La Grava es canto rodado de río, se usa en el estado natural en que se encuentre.

a.2) Se obtienen cirniendo los cantos de río en un tamiz o cedazo adecuado al tamaño de grava deseado.

a.3) Su forma es redondeada, sin filos o aristas vivas.

b) Arena: debe de llenar los requisitos siguientes:

b.1) La arena debe ser de río, no muy fina ni muy gruesa; limpia y dura.

b.2) No debe tener arcilla o barro.

b.3) No debe tener desperdicios y desechos vegetales o animales.

b.4) No debe tener sales. No usar arena de mar o estero.

c) Cemento: deben de seguirse las instrucciones del fabricante en cuanto a almacenaje y manejo.

d) Agua: debe ser limpia, transparente y libre de impurezas.

4.4.3 Fabricación del Adoquín

4.4.3.1 Mezclado del concreto: puede mezclarse en mezcladora o a mano.

a) Medidas:

Los cuatro componentes: agua, cemento, arena y agregado grueso deben medirse para obtener una buena mezcla, según el INFOM, se tienen las siguientes proporciones 1: 3: 2, es decir, 1 bolsa de cemento, 3 pies cúbicos de arena, 2 pies cúbicos de agregado, y de 3 a 5 galones de agua.

b) Fundición de los adoquines:

b.1) Los moldes se colocan sobre una superficie plana, no muy lisa, por ejemplo tablones de madera sin cepillar.

b.2) Se funde el concreto en 2 capas, o preferentemente en 1 operación, compactando cada capa cuidadosamente con una varilla de 1/2 pulgadas o de 5/8 pulgada, lisa de preferencia y con plancheta en la punta.

b.3) Se le dá cierto acabado final, sin tratar de dejarlo demasiado liso. El largo de la plancha deberá ser más grande que el lado largo del adoquín, con el objeto de obtener una superficie más uniforme. Puede darse el acabado final golpeando suavemente la superficie, con lo cual los finos y el agua aflorará a la superficie.

c) Sacar el molde con cuidado, pero con firmeza, para no dañar las orillas del adoquín, no debe moverse del tablón hasta el día siguiente, cubrirlos inmediatamente con bolsas vacías de cemento o cualquier material que conserve la humedad, humedecerse y mantenerse húmedos.

4.5 MÉTODO Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LA NATIONAL CONCRETE MASONORY ASSOCIATION PARA PAVIMENTOS DE ADOQUIN

El método de diseño de la national concrete masonory association para pavimentos de adoquín, se utilizará en este trabajo un periodo de diseño de 35 años. Para poder aplicarlo se deben considerar los siguientes factores:

a) Análisis de Tránsito:

En este método se puede analizar el tránsito aún cuando existe ausencia de datos sobre el volumen del tráfico o carga por ejes , una información que es valiosa por los datos proporcionados, ésta se puede apreciar en las tabla No. 4b, en donde se ilustran las categorías de tránsito utilizadas por este método, Las curvas de tránsito (M, A, B,.... E) son guías apropiadas para determinar el espesor estructural en las curvas de diseño.

b) Subrasante:

En general los suelos que tengan un valor de CBR menor del 3.0 %, serán evaluados para su eliminación y restitución con material apropiado (selecto), o mejorando la resistencia por medio de la estabilización del suelo, cumpliendo las especificaciones enumeradas a cerca de la subrasante en el capítulo 1.

c) Materiales para la Sub-base y la Base.

Las especificaciones para sub-base y base granular suelta para calles y avenidas, sería confiado sobre un mínimo de resistencia de C.B.R.

Además de los requisitos descritos para la sub-base y base en el capítulo 1, se debe cumplir con lo siguiente.

TABLA No. 4a

REQUISITOS PARA EL MATERIAL DE SUBBASE

Valor de CBR	No. de repeticiones recomendados recomendadas de tránsito	Índice de Plasticidad	Límite Líquido
20	Tránsito menor de 500,000 emplear curvas M, A, B y C	Menor que 10	Menor de 25
30	Para repeticiones de tránsito mayores emplear curvas D y E	Menor que 10	Menor de 25

En la construcción de estos tipos de pavimentos se hace necesario tener en cuenta el espesor mínimo en el diseño de los mismos por lo cual se dan a continuación los valores recomendados para tal efecto:

4 pulgadas (10 cm) para todas las capas granulares sueltas y para bases tratadas con cemento. Para diseño, un mínimo de espesor de base granular suelta (CBR = 80 %) será de 4 pulgadas, para tránsito liviano debajo de 500,000 (curva C) y 6 pulgadas (15 cm), para mayores repeticiones de tránsito (tránsito pesado).

d) Cama o Lecho de Arena

El material usado como colchón, para la colocación del adoquinado de concreto, será arena bien graduada, no plástica. La capa será de 2 pulgadas (5 cm) de espesor.

e) Curva de Diseño Estructural

La figura No. 4a representa la curva de diseño para espesores de base o sub-base de material granular suelto. Estos valores de espesores están en función de la resitencia al corte de la subrasante (C. B. R.) y de las repeticiones de tránsito, (expresado en 18 Ksal repeticiones, tal como 10 o para la categoría de tránsito típica anotada en las curvas de la tabla No. 4c).

Los espesores presentados en estas figuras no incluyen las dos pulgadas (5 cm) del lecho o la cama de arena, tampoco no incluyen el espesor de blockes de concreto de cemento portland; los espesores recomendados de los blocks son:

TABLA No. 4b

ESPESORES DE LOS BLOCK DE ADOQUÍN

18 Ksal Repeticiones	50,000	150,000	500,000	1,500,000
Espesores de diseño de los blockes	2 1/2 pulg 6 cm.	3 1/8 pulg 8 cm.	3 5/8 pulg 9.5 cm.	4 pulg 10.0 cm.

Tomando en cuenta que el pavimento de adoquín se considera un pavimento semi-flexible, se tiene la opción de efectuar sustituciones de espesores empleando las relaciones definidas para el diseño de pavimento flexibles, propuestas por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos, indicadas en el capítulo 2.

TABLA No. 4c

DISEÑO TÍPICO PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO

Curva de Tránsito	Descripción del Tránsito de Diseño	Repeticiones típicas en la vida de diseño equivalentes a 18 Ksal.
M	Patios para peatón, patios, áreas para los alrededores de estaciones de natación, caminos de paseo en bicicleta.	no hay
A	Multi-domicilios de parqueos, lotes de parqueo (autos solamente), calles residenciales (menos de 15 vehículos comerciales por día).	50,000
B	Calles residenciales menores (15 a 150 vehículos comerciales por día), áreas de estación de servicio.	150,000
C	Terminales de camiones de motor y áreas de almacenamiento, pisos para industrias ligeras, calles residenciales (50 a 150 vehículos comerciales por día), paradas de bus.	500,000
D	Caminos completos urbanos (150 a 500 vehículos comerciales por día), pisos para industrias donde existe tránsito mediano y pesado y accesos para industrias donde existe tráfico pesado.	1,500,000
E	Caminos completos urbanos (500 a 1,500 vehículos comerciales por día) y pisos para industrias donde existe tránsito pesado.	5,000,000

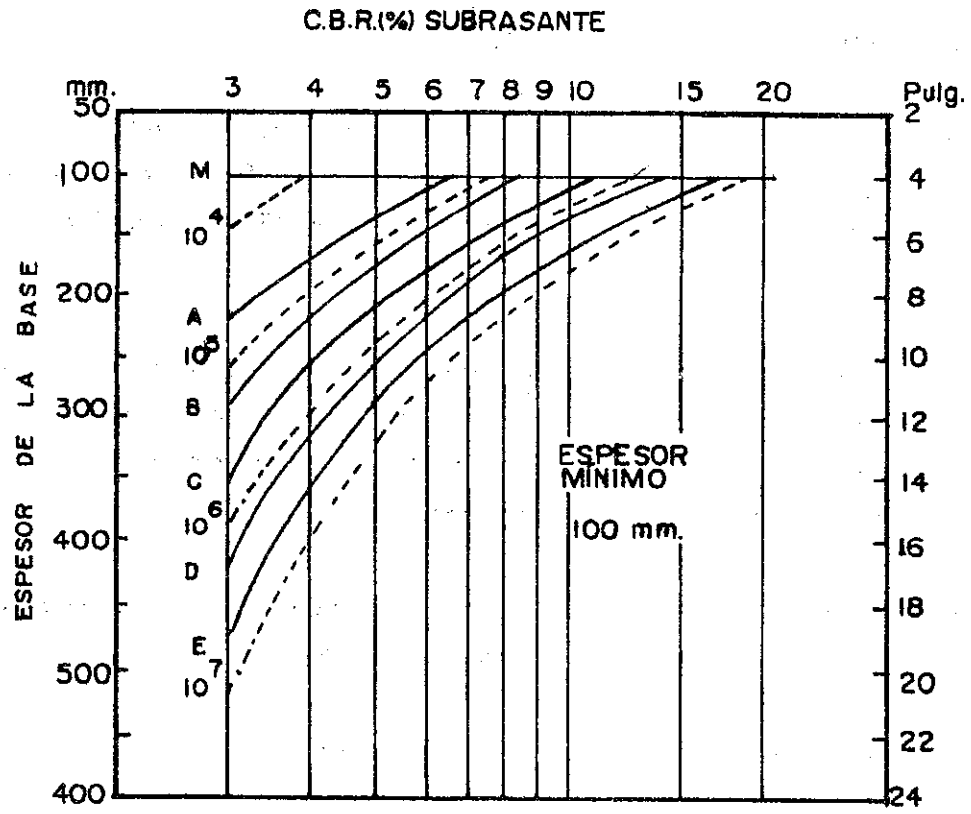


FIGURA No 40

GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE BASE PARA PAVIMENTO CON ADOQUÍN.

Ejemplo:

Diseñar la estructura del pavimento con adoquín para un sector residencial en donde por medio de ensayos de laboratorio se sabe que el suelo de fundación tiene un CBR del 6 %.

a) De la tabla No. 4c se tiene que las repeticiones típicas para esta clase de tránsito le corresponde 150,000 (expresado en 18 Ksal repeticiones), y la curva de tránsito es la B.

b) Para este tipo de estructura, con repeticiones de 150,000, se utilizará bloques de adoquín de concreto de 8 cms de espesor.

c) Según la figura 4a , utilizando un CBR del 6 % y con la clasificación de tránsito (curva B) se determina el espesor de la base, el que es de 15 cm.

d) El espesor mínimo de base recomendado según el gráfico de la figura No. 4a es de 10 cm, sustituyendo el resto por subbase granular, empleando un factor de conversión de 1:1.35 entonces se tiene la siguiente operación (15-10)*1.35=6.75 cm; es decir aproximadamente 8 cm.

e) Se colocará una capa de arena de río, la que deberá ser gruesa y con granos de aproximadamente 6 mm. de tamaño máximo, esta capa cubrirá deformaciones menores y, principalmente, servirá para dar el nivel requerido del pavimento y, sobre todo, como base de sustentación y colocación de los adoquínes, el espesor mínimo de esta capa es de 5 cm.

f) Finalmente el espesor para las capas de pavimento de adoquín para uso del tránsito, dadas las condiciones iniciales se tienen los siguientes resultados:

Bloques de Adoquín	8.0 cm
Cama o lecho de arena	5.0 cm
Base granular	10.0 cm
Subbase (material selecto)	8.0 cm
Espesor Total	31.0 cm

CAPÍTULO 5

CONSIDERACIONES PARA COLOCAR SOBRECARPETAS

DE CONCRETO SOBRE PAVIMENTOS DE ASFALTO

EXISTENTES (Whitetopping)

5 CONSIDERACIONES PARA COLOCAR SOBRECARPETAS DE CONCRETO SOBRE PAVIMENTOS DE ASFALTO EXISTENTES (Whitetopping)

5.1 GENERALIDADES:

A continuación se dará una introducción acerca de la utilización del pavimento de concreto colocadas encima del asfalto, realizado en EE. UU., proporcionando éste una superficie segura, que dará muchos años de servicio a bajo costo y con mantenimiento mínimo.

Las sobrecarpetas de concreto se han colocado sobre todo tipo de vías terrestres desde 1,981. En los Estados Unidos, las aeropistas, carreteras interestatales, caminos primarios e inclusive caminos secundarios, calles urbanas y áreas de estacionamiento se han podido mejorar considerablemente a base de una sobrecarpeta de concreto sobre el pavimento de asfalto.

El pavimento de concreto proporciona una superficie más resistente y más durable que el asfalto. El concreto también mejora las características del drenaje superficial al eliminar desviaciones inseguras tales como las roderas y dislocaciones en los pavimentos de asfalto.

5.2 VENTAJAS DE LAS SOBRECARPETAS DE CONCRETO:

La utilización de sobrecarpetas de concreto proporciona ventajas a largo plazo para los usuarios de caminos y para los organismos encargados de carreteras y aeropuertos, reduciendo el tiempo y los retrasos, que generalmente acompañan al mantenimiento constante de una superficie de asfalto. Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamiento tipo piel de cocodrilo y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales. Las sobrecarpetas de concreto son particularmente efectivas, en proyectos donde las restricciones en el presupuesto anual y altos niveles de tráfico, hacen que las interrupciones frecuentes en la circulación y los costos de mantenimientos sean intolerables.

También se puede colocar una sobrecarpeta de concreto para aumentar la seguridad de una superficie de concreto. Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Especialmente en intersecciones en donde el tráfico es parado o frenado y arrancado. Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar derrapamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales.

El hidroplaneo es también un problema serio en caminos con roderas, en carreteras en donde existe un tráfico considerable. En estudios efectuados en los Estados Unidos sobre las consideraciones de seguridad en la formación de roderas y/o de ondulaciones en superficies de rodamiento, los parámetros medidos indican que las distancias de frenado para superficies de concreto son mucho mayores que para las superficies de asfalto, sobre todo cuando el asfalto está húmedo y con roderas, Las cargas pesadas no forman roderas ni dislocamientos en el concreto, el cual conserva una alta resistencia antiderrapante.

Las sobrecarpetas de concreto no desarrollan las fallas típicas presentes en los reencarpetados de asfalto. Una vez que se han formado roderas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitará que se vuelva a presentar. Las roderas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en la roderas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día. El concreto puede cubrir uniformemente las roderas en el asfalto y corregir el perfil de la superficie.

Otra ventaja de la sobrecarpeta blanca o "Whitetopping", es que con ella, se pueden evitar posible problemas de construcción que pueden ocurrir durante la reconstrucción de un pavimento. En algunos lugares los pavimentos existentes se construyeron sobre terrenos de apoyo muy pobres. Las subrasantes saturadas y los suelos débiles, producen dificultades durante la construcción y aumentan el tiempo necesario para terminar el proyecto. La presencia de un nivel freático alto y/o suelos débiles subyaciendo a un pavimento asfáltico que ha fallado, es muy probable que necesiten excavarse y rellenarse en un espesor a veces de más de un metro, como etapa previa a la construcción. Una sobrecarpeta de concreto permite que la construcción se haga directamente sobre la superficie flexible existente, sin tener que eliminar o reparar la sub-base o la subrasante en toda la extensión del proyecto. El espesor gradual para ligarse a un puente o a estructuras en línea se logra rebajando con fresadora el asfalto existente hasta obtener la pendiente adecuada.

La colocación de una sobrecarpeta de concreto directamente sobre un pavimento de asfalto, también puede ahorrar costos de construcción cuando hay mal tiempo. Después de una lluvia fuerte, la construcción de nuevos pavimentos se puede retrasar varios días, mientras la subrasante se seca hasta alcanzar una condición adecuada. Con la sobrecarpeta de concreto el contratista usa una barredora mecánica, para eliminar el agua en exceso acumulada en las roderas dejadas por las ruedas. Por lo tanto, en muchos casos la construcción de pavimentos de concreto sobre el asfalto se puede reanudar inmediatamente después de que deja de llover.

Un estudio efectuado en pavimentos de prueba en Carreteras de la AASHTO también muestra que " Las variaciones estacionales tienen mucho menos efecto en el comportamiento de los pavimentos de concreto ". Casi el 61 % de todos los tramos asfaltados fallaron durante los meses de primavera, en comparación con sólo el 5,5 % de los tramos de prueba pavimentados con concreto. El concreto es elástico durante todo el año.

5.3 EFICIENCIA DEL WHITETOPPING:

Las sobrecarpetas de concreto mantienen un alto nivel de servicio durante toda su vida útil. El grado de eficiencia es una medición de la capacidad de un pavimento para soportar el tráfico, y depende de la integridad estructural y del grado de comodidad de recorrido. La vida útil de las sobrecarpetas flexibles es mucho más corta.

Las sobrecarpetas de concreto mejoran la capacidad estructural. La capa de refuerzo reacciona estructuralmente, como si se hubiera construido sobre una capa de base resistente. Esto evita las fallas del tipo estructural tales como pérdida de apoyo, efecto de bombeo de finos, agrietamiento y despostillamiento de las esquinas. En un estudio reciente, hecho por la ACPA, acerca de las sobrecarpetas de concreto, no se encontró evidencia alguna de fallas estructurales. Un reencarpetado de concreto actuará como puente para librar los problemas aislados que pudieran reflejarse a través de uno de asfalto, véase la figura de la pagina número 6 del apéndice . Una sobrecarpeta de aslfato sobre un pavimento antiguo de asfalto necesita trabajos de reparación de consideración. Esto se debe a que en cualquier sistema flexible las capas subyacentes necesitan repartir una parte importante de la carga. En vista de que una sobrecarpeta de concreto toma el lugar de los riegos de asfalto para soportar las cargas por encima del asfalto en malas condiciones, se necesitaron menos reparaciones.

5.4 CRITERIOS DE DISEÑO

Las sobrecarpetas de concreto sobre pavimentos asfálticos, se pueden unir entre sí a través de juntas simples (con o sin pasajuntas), de juntas reforzadas o con un refuerzo continuo. La mayor parte de las sobrecarpetas de concreto sobre asfalto se unen con juntas simples, cualquiera que sea el caso, se debe usar un procedimiento de diseño confiable, para calcular el espesor de la sobrecarpeta.

El procedimiento debe ser capaz de caracterizar la capacidad de carga estructural, que el pavimento existente impartirá a la sobrecarpeta de concreto. Al igual que sucede con todos los pavimentos de concreto, se necesita especificar una separación adecuada entre juntas, la

transferencia de carga, una estimación del volumen de tráfico y las condiciones de drenaje, a fin de garantizar una larga vida. Un diseño confiable permitirá una calidad de servicio excelente a lo largo de toda la vida útil esperada (de 20 a 30 años o más).

a) Espesor Mínimo:

El nivel de tráfico esperado afecta el espesor de diseño. El espesor se puede determinar por medio de los mismos procedimientos usados en pavimentos nuevos de concreto. En la Tabla No. 5a se presenta el espesor mínimo recomendado para los diseños estándar de concreto colocada sobre asfalto.

El espesor generalmente varía entre 20 y 30 cm, en el caso de carreteras importantes. En la redes secundarias, la mayoría de sobrecarpetas de concreto tienen un espesor comprendido entre 13 y 18 cm, aunque en algunos proyectos se ha usado un espesor de 10 cm.

En aeropuertos también se han empleado sobrecarpetas de concreto. El espesor de diseño en aeropuertos de aviación general, usualmente varía entre 10 y 15 cm. El espesor de diseño de aeropuertos de gran actividad depende de la aeronave y del diseño.

TABLA No. 5a

ESPESOR MÍNIMO RECOMENDADO PARA LOSAS DE REENCARPETADO.

ESPESOR MÍNIMO RECOMENDADO PARA LAS LOSAS DE REENCARPETADO A BASE DE CONCRETO COLOCADAS SOBRE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EXISTENTES					
	CARRETERAS PRIMARIAS (CM)	CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO Y SECUNDARIOS	ÁREAS DE ESTACIONAMIENTO (CM)	AEROPUERTOS DE AVIACIÓN GENERAL (CM)	AEROPUERTOS DE GRAN ACTIVIDAD (CM)
CON JUNTAS REFORZADAS	15	10	10 *	10	* *
CONTINUAMENTE	15	15	---	15	* *

* AERONAVES DE 12,500 LIBRAS DE PESO BRUTO O MENOS.

** EL ESPESOR EN EL CASO DE AEROPUERTOS DE GRAN ACTIVIDAD DEPENDE DE LA AERONAVE DE DISEÑO.

b) Flexocreto:

Los trabajos relacionados con la búsqueda de una solución adecuada para la reparación de pavimentos asfálticos deteriorados, han conducido a la investigación y desarrollo del llamado Flexocreto ("flexcrete" en inglés). El flexocreto es una sobrecarpeta delgada de concreto de alta resistencia, de corta vida, colocada sobre un pavimento original de asfalto.

El flexocreto está pensado sobre todo para estacionamientos al aire libre, calles residenciales y urbanas y caminos con bajo volumen de tráfico. Las losas tienen menos de 10 cm de espesor y cuentan con juntas espaciadas a cada 1.80 m o menos. El refuerzo a base de fibras se ha pensado para impartirle confinamiento y resistencia.

El flexocreto es una combinación de sobrecarpeta de concreto con el sistema constructivo " Fast Track " (Pavimento de concreto de apertura rápido al tráfico, para mayor información acerca de este sistema consultar la bibliografía). En la actualidad se están haciendo más estudios de esta innovación prometedora. La tecnología del flexocreto puede venir a revolucionar la construcción de sobrecarpetas en el futuro.

c) Caracterización del apoyo:

Un requisito adicional en el diseño de sobrecarpetas de concreto es la determinación de las condiciones de apoyo que las capas existentes le proporcionan a la nueva capa de refuerzo. La mejor y más recomendable caracterización se obtiene al usar ensayos de deflexión no destructivos. Con un deflectómetro de caída libre se miden los parámetros de deflexión de las capas existentes. Se calcula la resitencia (módulo de elasticidad) de cada una de las capas del pavimento, a partir de los datos de deflexión. Estos valores se incorporan posteriormente al procedimiento del diseño del espesor.

Como alternativa a los ensayos, el valor del llamado módulo de apoyo de la cimentación " Kfs ", proporciona una estimación razonable de la capacidad de carga de las capas existentes. El módulo de apoyo de la cimentación Kfs es semejante al módulo efectivo de reacción de la subrasante (k) para varias capas de base. Esta estimación es particularmente útil donde las mediciones a base del deflectómetro resultan demasiado costosas o simplemente no se cuenta con ellas.

Estimación del valor de Kfs, el módulo de apoyo de la cimentación Kfs se calcula por medio de una combinación de gráficos. La información sobre el suelo de subrasante se puede obtener a partir del informe original sobre los suelos o se puede estimar a base de sondeos. En la tabla No. 1a se ilustran las interrelaciones aproximadas entre las clasificaciones de suelos y los valores de capacidad de carga.

Las gráficas de las figuras Nos. 5a y 5b se pueden usar para determinar del soporte efectivo de materiales de base típicos granulares. La Figura No. 5a se usa para materiales de base de arena natural o grava, con un índice de plasticidad de más de 8. La figura No. 5b corresponde a materiales de base formados por roca triturada, bien graduada y de la subrasante. Para el caso de capas de base tratadas con cemento, en la tabla No. 5b se presentan los valores de apoyo efectivo.

Una vez determinado el valor de la capacidad de carga efectiva de las capas de base y de la subrasante, se puede obtener una estimación del módulo de apoyo de la cimentación Kfs a partir de la Figura No. 5c . Las curvas representan el apoyo de la cimentación, para valores promedio del módulo de elasticidad de las capas Asfálticas existentes. Se entra a la gráfica con el valor efectivo de k de las capas de base, se traza una línea hasta alcanzar la curva que representa el espesor de las capas de base. Por último , se traza otra línea para llegar al módulo de apoyo de la cimentación (Kfs).

TABLA No. 5b VALOR EFECTIVO DE K POR ENCIMA DE BASES TRATADAS CON CEMENTO

VALOR DE K DE LA SUBRASANTE (KG/CM^2/CM)	VALOR EFECTIVO DE K POR ENCIMA DE LA SUB-BASE (KG/CM^2/CM)			
	10 CM	15 CM	20 CM	25 CM
1.38	4.7	6.4	8.6	10.8
2.80	7.75	11	14.4	17.7
5.50	13.00	17.7	23.0	

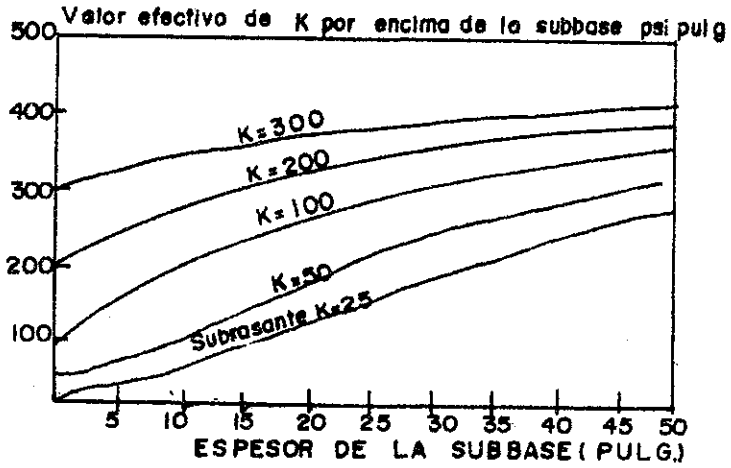


FIGURA No. 5a
GRÁFICA PARA DETERMINAR EL VALOR EFECTIVO DE K POR ENCIMA DE MATERIALES DE BASE FORMADOS POR ARENA NATURAL Y GRAVA.

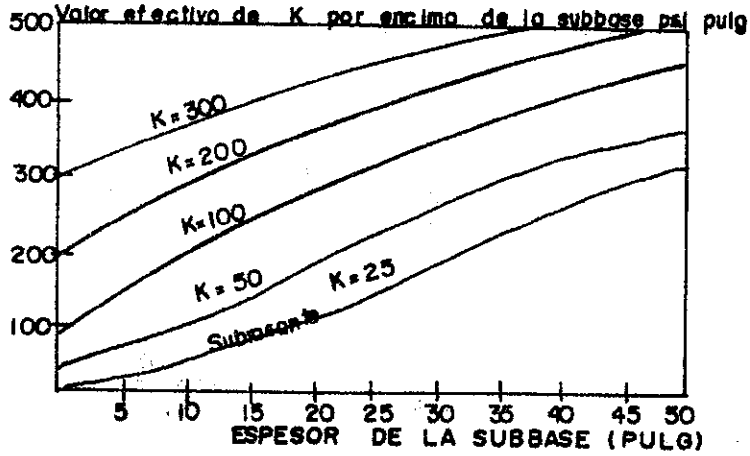


FIGURA No 5b
GRÁFICA PARA DETERMINAR EL VALOR EFECTIVO DE K POR ENCIMA DE MATERIALES DE BASE FORMADOS POR ROCA TRITURADA BIÉN GRADUADA.

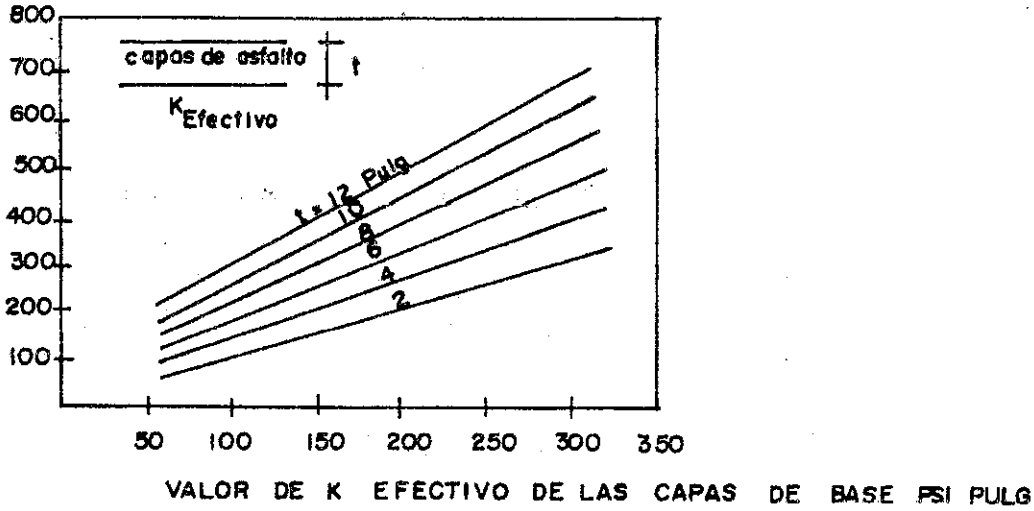


FIGURA No 5c
GRÁFICO PARA DETERMINAR EL MODULO DE APOYO DE LA CIMENTACIÓN (K_{fs}).

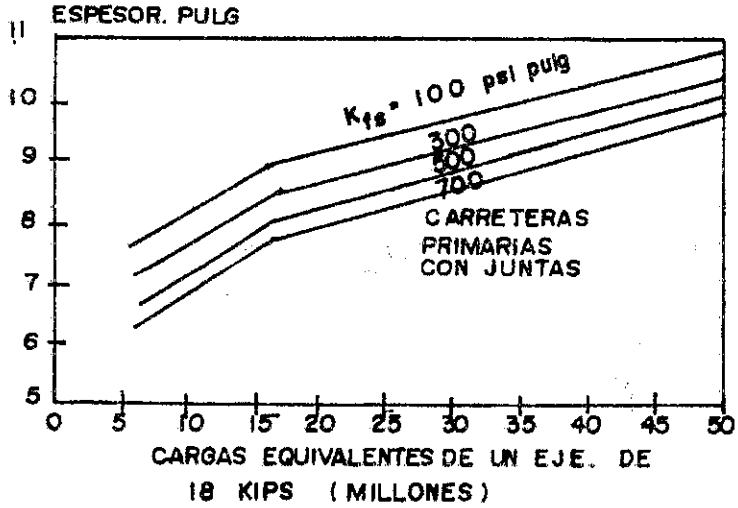


FIGURA No 5d
CURVA PARA DETERMINAR EL ESPESOR EN DISEÑOS ESTANDAR DE SOBRECARPETAS DE CONCRETO, PARA CARRETERAS PRIMARIAS Y CAMINOS CON TRÁFICO DE CAMIONES PESADOS SEGÚN AASHTO.

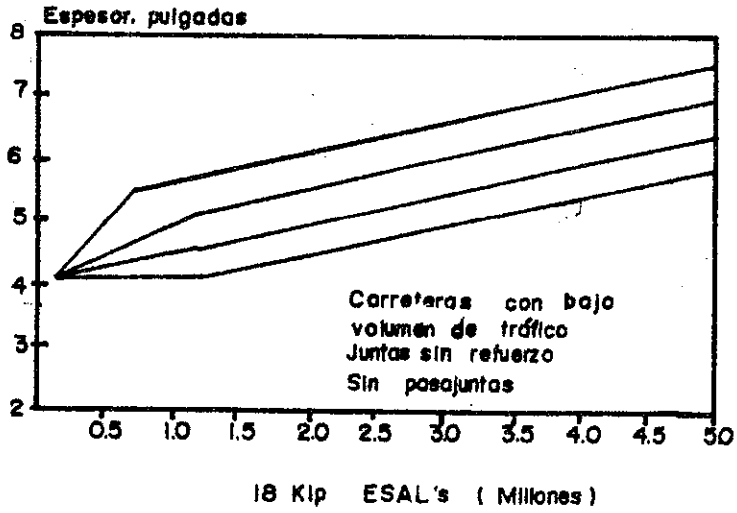


FIGURA 5e

CURVAS PARA DETERMINAR EL ESPESOR EN DISEÑOS ESTANDAR DE SOBRECARPETAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS SECUNDARIOS O CON BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO. PREPARADAS A PARTIR DEL MANUAL DE DISEÑO AASHTO 1,986.

Ejemplo: Se construyó un pavimento asfáltico sobre un suelo tipo AASHTO A-5 (k=2.8 Kg/cm^3 aproximadamente 100 psi/pulg). El diseño del pavimento establecía una superficie de asfalto de 10 cm (4 pulg.) de espesor, por encima de una base de piedra triturada de 25 cm de (10 pulg.) espesor.

De la figura No. 5b , el valor efectivo de k por encima de las capas de base resulta: k=5.3 kg./cm^3 (aproximadamente 191.5 psi/pulg). De la figura No. 5c , el módulo de apoyo de la cimentación es igual a: Kfs = 7.6 kg./cm^2/cm (aproximadamente 274.5 psi/pulg).

Aplicación del valor Kfs el módulo de apoyo de la cimentación se usa en lugar del módulo de reacción de la subrasante en los procedimientos estándar de diseño de pavimentos. Todos los demás valores de entrada para el procedimiento de diseño se determinan de la misma manera que para pavimentos nuevos. En las figuras No. 5d y No. 5e se presentan las curvas de diseño para distintos valores del módulo de apoyo de la cimentación.

Las envolventes se dibujaron a partir del Manual de Diseño AASHTO de 1,986, curvas de diseño semejantes, se pueden conseguir usando otros procedimientos válidos de diseño de pavimentos de concreto.

5.5 PREPARACIÓN PREVIA A LA COLOCACIÓN DE LA SOBRECARPETAS

En este trabajo sólo se hará mención de los pavimentos cuyo problemas sean serios en los pavimentos asfálticos durante las etapas avanzadas, tales como acanalamieanto serio, dislocamiento o formación de baches. Las zonas con fallas en la subrasante que no vayan a impartir un apoyo uniforme a la sobrecarpeta se necesitan excavar y reemplazar en la Tabla No. 5c se presenta una guía para las reparaciones necesarias en fallas de pavimentos asfálticos construidos en EE. UU. Una vez reparado, los encargados del proyecto deben decidir cómo tratar una superficie distorsionada antes de proceder a colocar la sobrecarpeta. Las instituciones han recurrido a diversos métodos, entre ellos se tienen los siguientes:

a) Colocación Directa:

Cuando se coloca directamente, la superficie no se trata y las roderas se sellan con la propia sobrecarpeta de concreto, no es necesario el fresado ni la nivelación precisa u otros procedimientos. Se recomienda la nivelación directa, para todos los casos en los que las roderas no excedan de 5 cm de profundidad máxima.

Se hace necesario que una brigada de topografía haga levantamientos a cada 30 metros para determinar las secciones transversales y con esos datos determinar también el volumen de concreto necesario para este caso. El cálculo de la secciones transversales, es semejante al que se usa para determinar los volúmenes de movimientos de tierras, en curvas será necesario que los intervalos sean más frecuentes.

La colocación directa rinde dividendos. No son necesarios los procedimientos de construcción preparatorios. Los costos de ingeniería se reflejan en el levantamiento de las secciones transversales, aunque no son tan altos como el costo que representa nivelar la superficie.

TABLA No. 5c LINEAMIENTOS PARA PODER REPARAR LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS DE ASFALTO ANTES DE COLOCAR LA SOBRECARPETA

CONDICIÓN GENERAL DEL PAVIMENTO	TRABAJO DE REPARACIÓN REALIZADO*
Formación de roderas (< 5 cm)	Ninguno **
Formación de roderas (> 5 cm)	Fresado o Nivelación
Dislocamiento	Fresado
Baches	Rellenar con piedra triturada Mezcla en frío o en caliente
Falla de la Subrasante	Eliminar y reemplazar/Reparar
Grietas de piel de cocodrilo	Ninguno
Agrietamiento en bloques	Ninguno
Agrietamiento transversal	Ninguno
Agrietamiento longitudinal	Ninguno
Desgaste	Ninguno
Exudación	Ninguno

* Otros factores que se deben tomar en cuenta; drenes laterales, costo de colocación directa vs. fresado vs. nivelación.

** Considerar la profundidad de aserrado de la junta.

b) Fresado de la superficie asfáltica existente:

Las distorsiones superficiales se pueden eliminar por medio de una máquina fresadora de perfil o de fresado. Generalmente se necesita remover un espesor comprendido entre 25 y 75 mm para poder lograr un perfil uniforme. Con el fresado se establece la rasante final y se puede ajustar la pendiente transversal, si es necesario. La sobrecarpeta se construye como si estuviera encima de una capa de base nivelada. Este método implica menos tiempo de topografía, menor costo que en la colocación directa, pero incluye el costo del fresado y en algunos casos la eliminación de material extraído.

En algunos casos, limitaciones geométricas, de holgura vertical o, de derecho de vía impiden elevar la superficie final del pavimento. Una capa de inserción a base de concreto constituye una opción excelente ante estas circunstancias. La superficie actual de asfalto, se cepilla con la profundidad suficiente como para poder colocar el pavimento de concreto dentro de la restricciones geométricas presentes. Siguen siendo válidas en este caso, las ventajas de usar el pavimento existente como plataforma de construcción. Típicamente la rasante final, se fija entre 3.75 y 5 cm por arriba de la elevación de acotamiento. Después de colocar el inserto de concreto, el contratista reencarpeta los acotamientos existentes o usa el material removido como relleno granular del acotamiento.

c) Capa de Nivelación:

Con una capa de nivelación también se puede crear una superficie uniforme para pavimentación. Típicamente se necesita una capa de asfalto de 25 a 50 mm de espesor para eliminar las distorsiones. En virtud de este gasto, esta porción no debe considerarse cuando las distorsiones sean menores de 50 mm. Una capa de nivelación, generalmente no se puede comparar en costo con el fresado o con la colocación directa.

Un factor importante es, que en general, el costo por volumen de concreto es menor que el costo en volumen de asfalto. Otro factor es el tiempo y los requisitos de terminación. La colocación de una capa de nivelación implica otra operación en la ruta crítica para la terminación de un proyecto. En vista que el concreto llena las roderas al mismo tiempo que se coloca la sobrecarpeta, la colocación directa implica menor tiempo de colocación. En general, el fresado también resulta más económico que una capa de nivelación. De hecho, un departamento estatal de

transporte de los Estados Unidos encontró que la colocación de una capa de nivelación costaba casi tres veces más que el cepillado.

5.6 COLOCACIÓN Y ACABO DEL CONCRETO

Colocar el concreto hasta alcanzar como mínimo el espesor mostrado en los planos. Las desviaciones con respecto a los ajustes del perfil y/o a los ajustes en la sección transversal deben estar por arriba del espesor nominal. Generalmente, se fijan dos cordeles guía de alineación a lo largo del camino.

a) Texturizado

Para el caso de autopistas y de otras redes primarias, el escobillado a través de cerdas metálicas proporciona una resistencia antederrapante excelente a largo plazo.

b) Curado:

Inmediatamente después que la superficie se ha texturizado, aplicar el compuesto de curado para evitar la pérdida de humedad y la formación de grietas por contracción. Aplicar el aditivo en todos los bordes expuestos y en la superficie a la velocidad normalmente especificado por el organismo que contrae. El compuesto no debe resbalarse ni encharcarse en la superficie. Se deben tomar medidas especiales durante las épocas de calor o de frío.

c) Juntas:

Las juntas transversales y longitudinales se deben ranurar tan pronto como sea posible, a fin de aliviar los esfuerzos iniciales. La profundidad de la ranura para las juntas transversales no debe ser menor de la tercera parte del espesor nominal de la sobrecarpeta. Con los avances recientes en las técnicas para el aserrado temprano de las juntas, se podrá obtener una ranura de menor espesor. La misma profundidad ser deberá usar para las juntas longitudinales. El espaciamiento máxima entre juntas (en pies) no debe exceder del doble del espesor de la losa (en pulgadas), por ejemplo, una losa de sobrecarpeta de concreto de 8 pulgadas, no debe tener juntas separadas a más de 16 pies. El espaciamiento entre juntas también se puede determinar con base en la experiencia local.

d) Transferencia de carga para Tráfico:

La necesidad de dispositivos de transferencia de carga en juntas transversales de contracción depende de las condiciones de apoyo, del tráfico y del diseño propio de la losa.

En un camino que va a recibir un gran volumen de tráfico es de suma importancia la colocación de pasajuntas. Los diámetros de las barras lisas deben estar comprendidos entre 1.25 y 1.5 pulgadas.

El diámetro de la barra pasajuntas será una función del espesor de la losa, como se indica en la Tabla No. 5d. Las pasajuntas no deberán tener una longitud mayor de 40 cm, con un espaciamiento a cada 30 cm. Para evitar la corrosión y los problemas futuros de transferencia de carga, se recomienda aplicar un recubrimiento epóxico u otro tipo adecuado de protección anticorrosiva.

Con el diseño de losas de refuerzo continuo, también se consigue una transferencia de carga excepcional y se debe considerar en el caso de carreteras con alto volumen de tráfico.

TABLA No. 5d
DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA PASAJUNTAS EN JUNTAS DE SOBRECARPETAS DE CONCRETO.

Espesor del Pavimento (Pulg.)	Diámetro de la Pasajuntas (Pulg)	Longitud de la barra (cm)	Separación entre centros (cm)
4	no son necesarias		
5	no son necesarias		
6	no son necesarias		
7	no son necesarias		
8	1.25	38	30
9	1.25	38	30
10	1.50	41	30
11	1.50	41	30
12	1.50	41	30

5.7 ASPECTOS EN EL SITIO DE LA OBRA:

a) Las estructuras elevadas tendrán que analizarse por separado, en los casos de diseño y construcción de sobrecarpetas de concreto. La AASHTO recomienda un gálibo mínimo de 4.3 m por encima de todo el camino. El diseño apropiado de las secciones de espesor decreciente o acuñamiento entre la sobrecarpeta y las secciones reconstruidas en el espesor completo, mejorará la eficiencia de la construcción y la comodidad de manejo. Generalmente los requisitos para un espesor en acuñamiento decreciente, para áreas reconstruidas de proyectos con sobrecarpeta de concreto, establecen simplemente rebajar el espesor del asfalto por medio de fresado. En la mayor parte de los casos basta con un espesor desvanecido y de transición comprendido entre 90 y 150 m.

Los puentes sobre la carretera también deberán analizarse por separado. La transición vertical entre la sobrecarpeta y el piso del puente, también se puede obtener desvaneciendo con fresado el espesor del pavimento existente. La longitud del fresado dependerá de la diferencia en elevación entre la sobrecarpeta y las losas de piso o de aproche del puente. Aproximadamente 12 m por centímetros de reducción del espesor proporcionarán una transición gradual. Se deberán construir juntas de expansión en los estribos del puente, como parte de la sobrecarpeta.

b) Acotamientos:

En donde se deseen acotamientos rígidos se debe considerar la solución a base de concreto por su bajo costo, facilidad de construcción y ventajas, en comparación con el acotamiento a base de agregados, éstos se pueden construir económicamente usando el material desbastado de las correcciones de irregularidades en la superficie y de las transiciones.

Algunas instituciones especifican una ampliación del carril exterior de 60 a 90 cm en carreteras primarias e interestatales. Con un carril más ancho se obtienen beneficios estructurales, similares a los derivados de acotamientos de concretos rígidos.

CONCLUSIONES

Un dato valioso y fundamental en el diseño estructural de cualquier clase de carreteras, es el valor soporte del suelo de fundación donde se va a construir la misma, pues analizando este dato con la carga que se le va aplicar, se puede hallar el espesor de la distintas capas que componen el pavimento, por ende, para un suelo de fundación excelente, desde el punto de vista de resistencia, éste tendrá un espesor de la estructura total del pavimento menor que , uno con resistencia baja.

Los pavimentos de concreto no necesitan un material de cimentación muy resistente, resulta mucho más importante que el apoyo sea razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en la capacidad soporte, esto contrasta con el principio de diseño de los pavimentos flexibles, en los que se necesitan capas de sub-base y de base sucesivamente más resistentes, a fin de distribuir las presiones mucho más altas transmitidas por las cargas sobre las ruedas a través de la superficie de asfalto.

Los pavimentos con adoquín son semiflexibles o semirígidos, ya que aunque cada adoquín es un bloque de concreto rígido, es a la vez una unidad independiente de los que lo rodean, al recibir un adoquín una carga concentrada, ésta se distribuye por contacto de partícula a partícula como un pavimento flexible. El pavimento de adoquín es un sistema que satisface los objetivos de una estructura de pavimentación, brindando un servicio eficiente al tránsito, de fácil diseño y construcción.

Las sobrecarpetas de concreto sobre pavimentos asfálticos existentes, son adecuadas para casí todos los tipos de pavimento flexible, independientemente de cuáles sean sus condiciones, los procedimientos de diseño son los mismos que para pavimentos de concreto. El proyectista necesita solamente estimar el módulo de la cimentación que proporciona la superficie flexible existente, luego aplicando cualquier método para pavimentos rígidos se podrá calcular el espesor de la losa que cubra las necesidades del proyecto.

RECOMENDACIONES

La utilización del pavimento con adoquín tiene ventajas comparadas con los sistemas constructivos tradicionales, como el pavimento con asfalto y concreto, por su facilidad en diseño, construcción y mantenimiento, por lo cual se recomienda la utilización de éste en las áreas en donde se desee una superficie de rodamiento, para el tráfico vehicular poco intenso asi como peatonal.

Se recomienda hacer un análisis de costo de las sobrecarpetas de concreto y compararlo con otros sistemas de mantenimiento de carreteras, para poder decidir sobre su utilización desde el punto de vista económico, ya que desde el punto de vista estructural y funcional éste provee mayores ventajas.

Se recomienda a las personas interesadas en esta área de la ingeniería civil que amplíen sus conocimientos referentes a los llamados Pavimentos Semirígidos como El empedrado y acerca de las técnicas de mantenimiento de carreteras.

Se recomienda a los estudiantes de la carrera de ingeniería civil utilizar esta tesis como un complemento a las enseñanzas dadas por los catedráticos en el área de Transporte de la Facultad de Ingeniería.

REFERENCIAS

1. Cal y Mayor, Rafael. I. C., I. T.
   INGENIERÍA DE TRANSITO.
   Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A.
   Tercera Edición, México 1,972.

2. Collins, H. John y C. A. Hart
   INGENIERÍA DE CARRETERAS.
   Traducción del inglés por Juan de Arespacochaga Felipe.
   Aguilar, S. A. de Ediciones. Madrid S. F.

3. Derivados de Petróleo S. A.
   Departamento Técnico Asfalto Información Técnica.
   PRODUCTOS PARA LA PAVIMENTACIÓN.
   S.F., S.E.

4. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas
   República de Guatemala.
   ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES. Guatemala, 1975

5. Instituto Nacional de Fomento Municipal, División de Obras Municipales.
   INSTRUCTIVO PARA PAVIMENTACIÓN CON ADOQUINES DE CONCRETO.
   Mayo 1978, 2da. Edición.

6. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (IMCYC)
   DISEÑO Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.
   S.F., S.E.

7. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (IMCYC)
MANUAL PARA SUPERVISAR OBRAS DE CONCRETO ACI 311-92.

8. Montabes, Miguel
MANUAL DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS
BARBER - GREENE COMPANY AURORA, ILLINOIS, U.S.A.
S.F., S. E.

9. Portland Cement Association (PCA), DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA CARRETERA Y CALLES, Traducción División Técnica, Dirección General de Caminos, 1985.

10. Secretaría Permanente del Tratado General de Integración Económica Centroamericana.
(SIECA) 1,974 MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS, ALCANTARILLADOS Y PUENTES .

11. Valle Rodas, Raúl
CARRETERAS, CALLES Y AEROPUERTOS PRINCIPIOS GENERALES DE LA MECÁNICA DE SUELOS APLICADOS A LA PAVIMENTACIÓN Y MÉTODOS PARA EL CALCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.
Editorial El ateneo, Sexta Edición.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials.
   AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
   Washington, D. C., 1986.

2. Bebuti Goñi, Juan Carlos.
   Estudio Comparativo de los métodos de diseño de pavimento rígido de AASHTO y PCA, Caso típico: Diseño de la carretera de Escuintla-Nuevo Puerto Quetzal.
   Tesis de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería,
   Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 1,987

3. Girón Wetjen, Rodolfo Ernesto.
   Tesis de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería.
   Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 1,976.

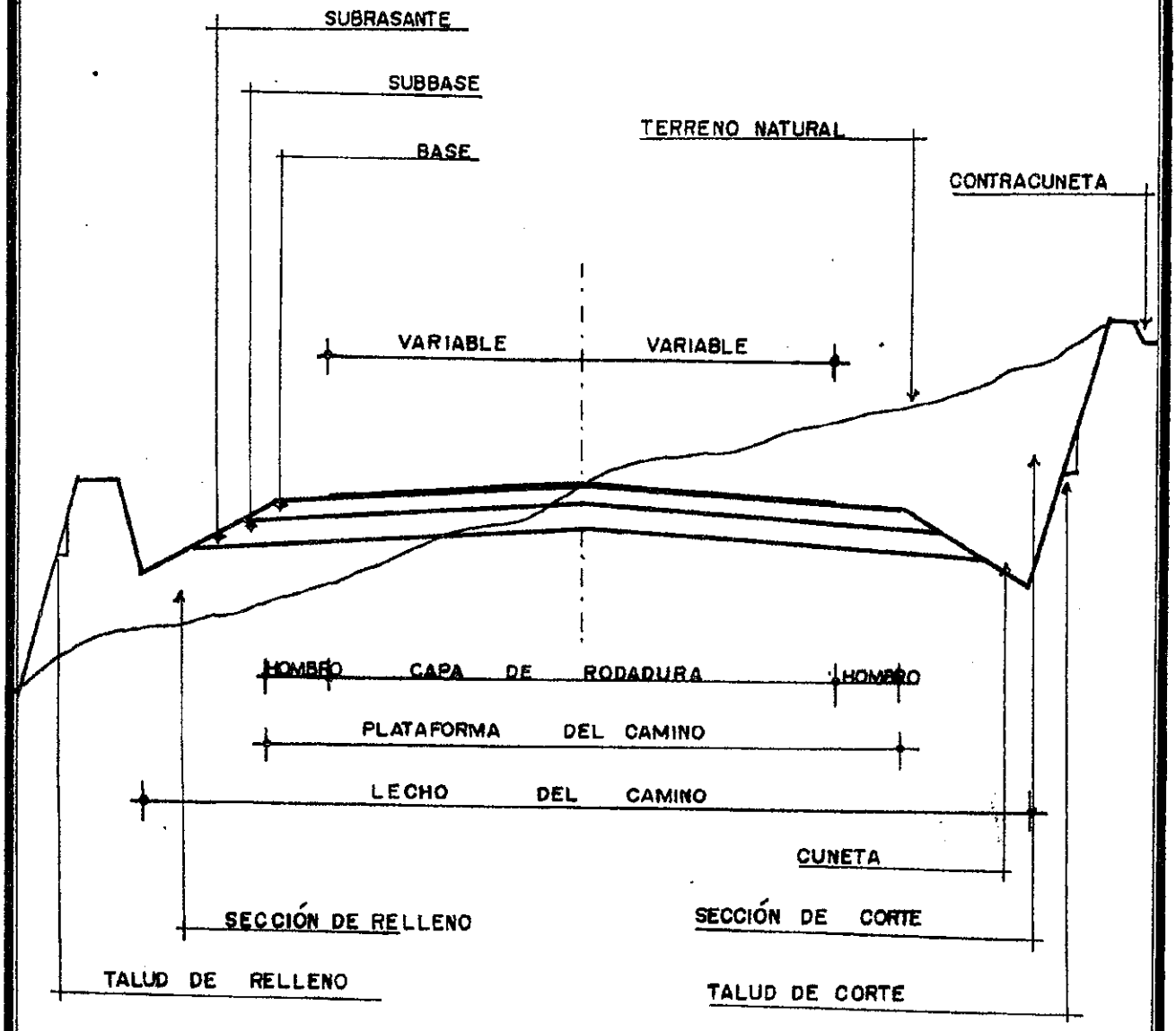
4. Hernández Corado, César Arnoldo.
   Tesis de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería.
   Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 1,988.

5. Lilley, A. A.
   Walker, B. J.
   Clark. A. J.
   Adoquines de Concreto
   Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

6. Neumann, Erwin.
   Las Carreteras Modernas.
   Editorial Labor S. A., Barcelona, 1955.

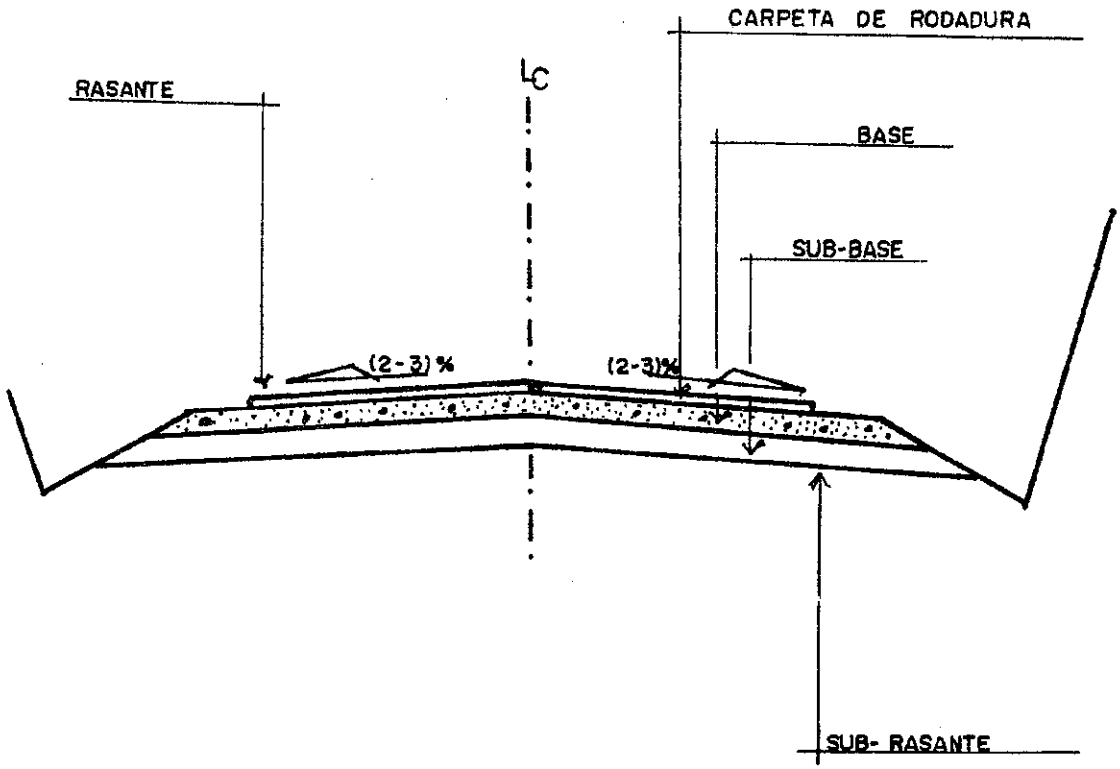
7. Portland Cement Association.
   National Ready Mixed Concrete Association.
   Design of Concrete Overlays (Whitetopping) for Asphalt Parking Lots.

APÉNDICE



SECCIÓN TÍPICA TRANSVERSAL DE UNA CARRETERA

SECCIÓN TÍPICA DE UNA CARRETERA		
DIBUJO: JORGE HERNÁNDEZ M.	FECHA: SEPT. 1,997.	1/6



ESTRUCTURA TÍPICA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

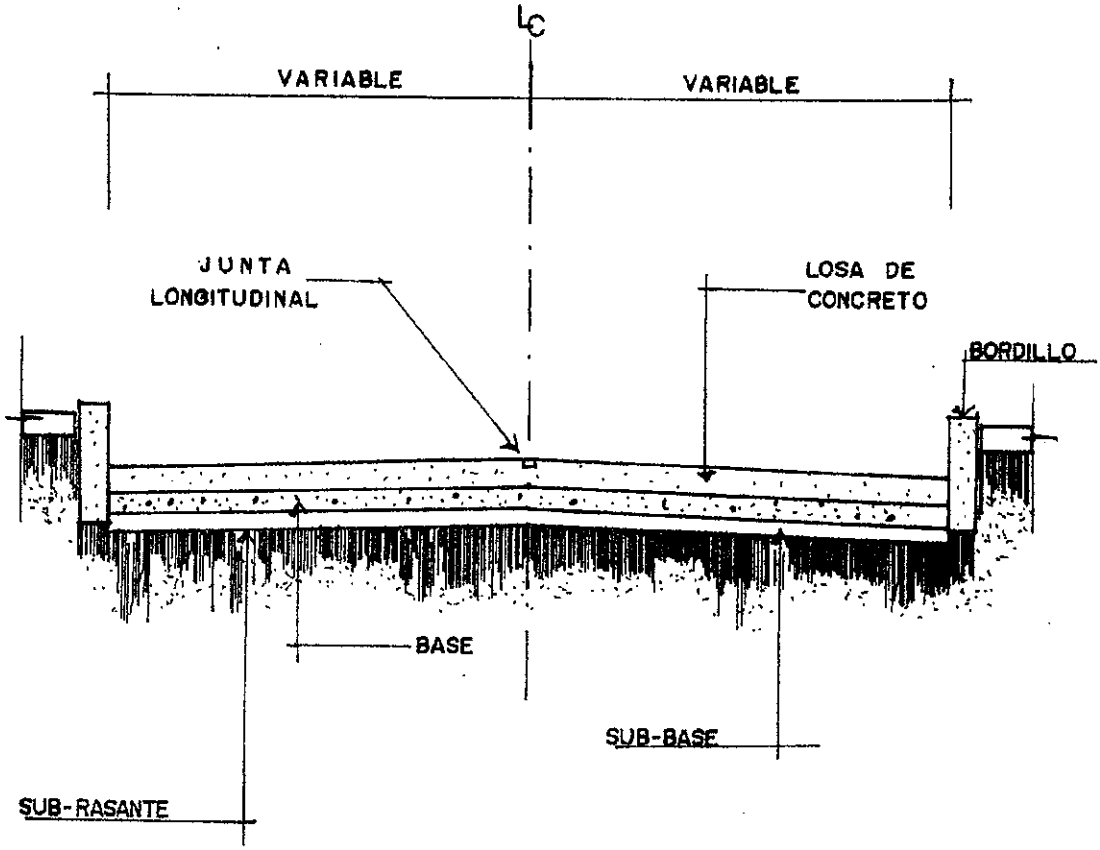
CR	CR	CR
B		
SB	B	SB
SR	SR	SR

SECCIÓN TÍPICA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

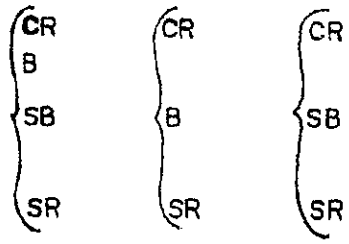
DIBUJO: JORGE HERNÁNDEZ

FECHA: SEPT. 1.997.

2/6



ESTRUCTURA TÍPICA DEL PAVIMENTO RÍGIDO

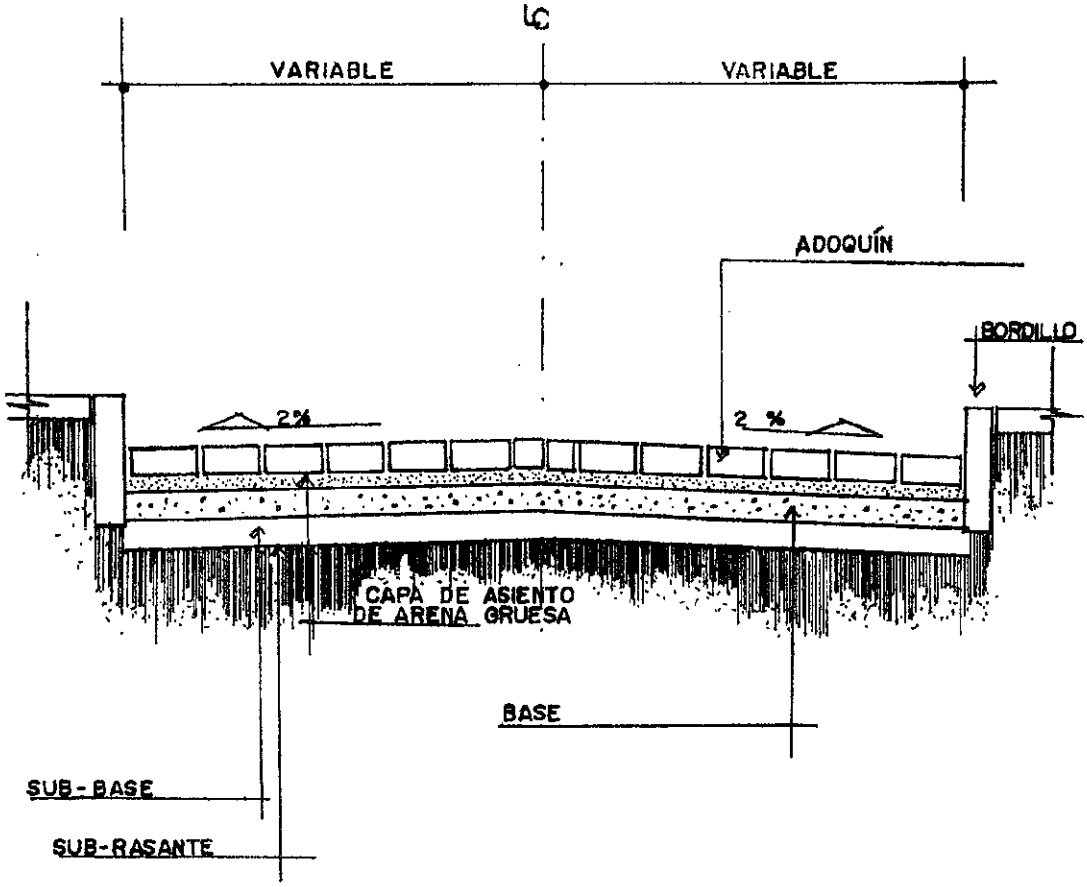


SECCIÓN TÍPICA DEL PAVIMENTO RÍGIDO

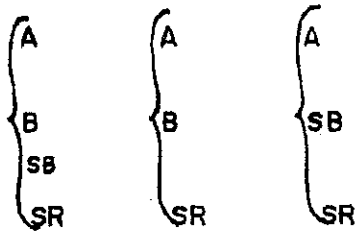
DIBUJO: JORGE HERNÁNDEZ

FECHA SEPT. 1997

3/6



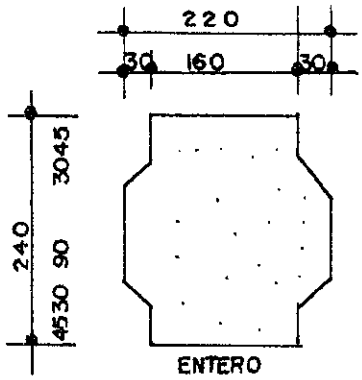
ESTRUCTURA TÍPICA DEL PAVIMENTO CON ADOQUÍN



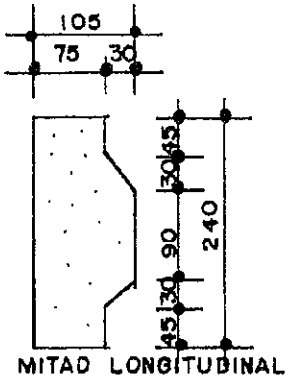
SECCIÓN TÍPICA DEL PAVIMENTO CON ADOQUÍN

IV

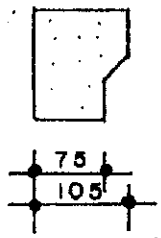
DIBUJO:	FECHA:	
JORGE HERNÁNDEZ.	SEPT. 1,997.	4/6



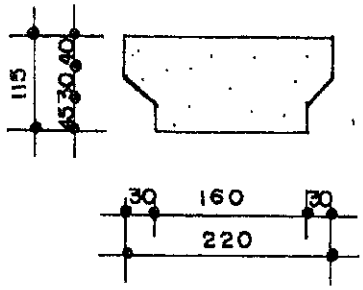
ENTERO



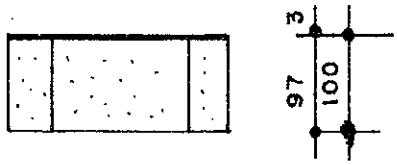
MITAD LONGITUDINAL



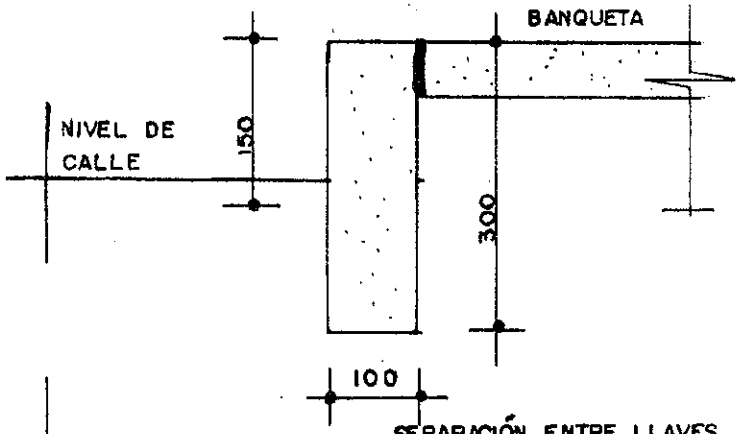
1/4 ADOQUÍN



MITAD TRANSVERSAL



ELEVACIÓN

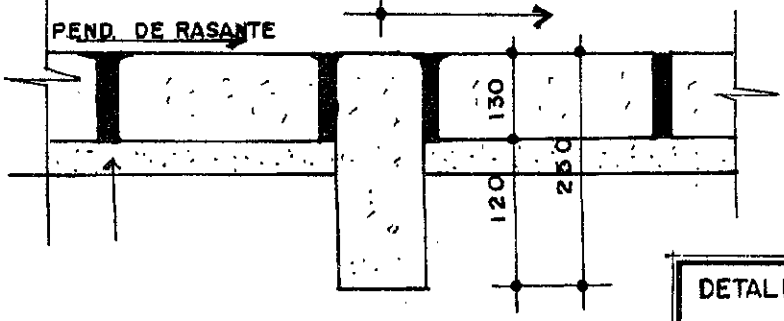


DETALLE DE BORDILLO

SEPARACIÓN ENTRE LLAVES S LA PEND. LONGITUDINAL DE LA SR

PEND. DE RASANTE

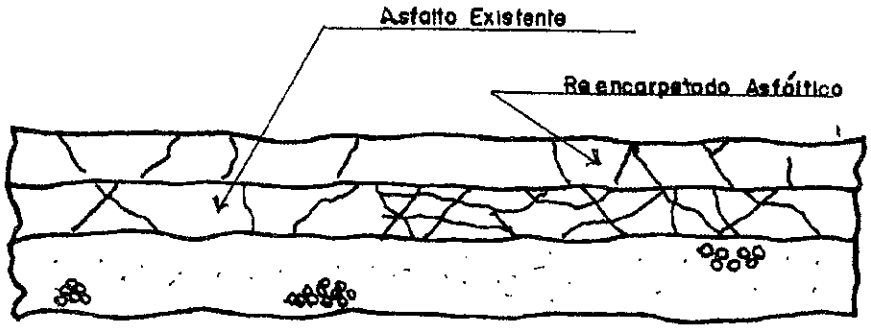
NOTA: TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILÍMETROS



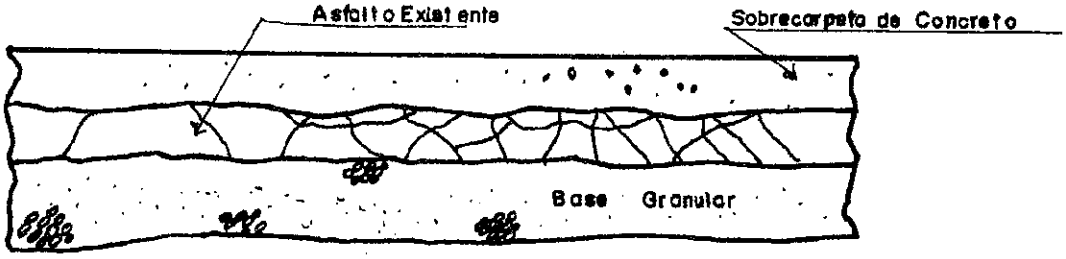
LLAVE TRANSVERSAL

V

DETALLE DE ADOQUÍN, BORDILLO. Y LLAVE TRANSVERSAL		
DIBUJO: JORGE HERNÁNDEZ.	FECHA: SEPT. 1,997.	5/6



EL ASFALTO REFLEJA LOS PROBLEMAS EXISTENTES



EL CONCRETO PUENTEA LOS PROBLEMAS

LAS SOBRECARPETAS DE ASFALTO REFLEJAN LA MAYORÍA DE LOS PROBLEMAS INTERNOS. CON LAS SOBRECARPETAS DE CONCRETO SE SALVA LA MAYOR PARTE DE LOS PROBLEMAS SUBYACENTES.

WHITETOPPING

DIBUJO: JORGE HERNÁNDEZ M.

FECHA: SEPT. 1.997.

6/6