

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA; Managua

UNAN- Managua

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION



PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO CIVIL

Título:

**“ PROPUESTA DE MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CARPETAS DE
RODAMIENTO PARA PAVIMENTOS RIGIDOS PARA NICARAGUA EN EL AÑO 2014 ”**

Presentado por:

Br. Pedro José Herrera Cáceres

Tutor:

Ing. Wilber Javier Pérez Flores

Asesor Metodológico:

Ing. Héctor José González Sequeira

Junio de 2014

Managua, Nicaragua C.A.

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCION	8
2.	ANTECEDENTES	9
3.	JUSTIFICACION	10
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
5.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	12
5.1.1.	Objetivo general	12
5.1.2.	Objetivos específicos	12
6.	MARCO REFERENCIAL	13
6.1.	Marco Conceptual	13
6.2	Marco Teórico	15
6.2.1	Clasificación de las vías en Nicaragua	15
6.3	Consideraciones básicas para proyectos de pavimentación.....	17
6.3.1	Disponibilidad de carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos	18
6.3.1.1	Clasificación de carpetas rígidas	18
7.	VARIABLES DE DISEÑO DE CARPETAS RIGIDAS	22
7.1	Aspectos Técnicos	22
7.1.2	Calidad en los materiales para concreto	23
7.1.2.1.	Cemento.....	23
7.1.2.2.	Agua de Mezclado.....	24
7.1.2.3.	Agregados	25
7.1.2.4.	Aditivos.....	29
7.2.	Resistencia de Diseño	29
7.3.	Evaluación de la Sub Rasante (Suelo de Cimentación)	30
7.3.1	Granulometría:.....	31
7.3.2	Límites de Atterberg.....	31
7.3.3	Valor soporte de California.....	31
7.4	Módulo de reacción.....	33
7.5	Clasificación de Suelos	33
7.5.1.	Clasificación AASHTO.....	33
7.5	Análisis del Tráfico	36
7.6	Cargas por tránsito	37

7.7	Factor de equivalencia de carga por eje	38
7.8	Factores de Tránsito	38
	Ecuación 1: Factor de Tránsito Pesado.....	38
8.	MÉTODOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL.....	41
8.1	Método PCA, Reseña Histórica	41
8.2.	Filosofía de diseño estructural de la PCA, edición 1984	42
8.2.1.	Criterios de diseño.....	42
8.2.2.	Erosión	43
8.2.3.	Fatiga	43
8.3.	Factores de Diseño	45
8.4.	Resistencia a la flexión del concreto.....	46
8.5.	Soporte de la sub base y de la sub rasante	46
8.6.	Período de diseño	46
8.7.	Tráfico	46
8.8.	Factores de seguridad para las cargas.....	47
8.9.	Formulario y Flujograma de Diseño.....	48
8.10.	Tablas y figuras para el diseño de espesores de pavimento rígido utilizado por el método PCA, edición de 1984.....	51
8.10.1.	Distribución del tráfico y factor de crecimiento anual.....	51
8.11	Método AASHTO, Reseña Histórica.....	59
8.12	Filosofía de diseño estructural de la AASHTO; edición 1993.	62
8.12.1	Factores de diseño	62
8.12.2	Espesor (D).....	63
8.12.3	Tráfico	63
8.12.4	Coeficiente de confiabilidad (R)	64
8.12.5	Módulo de reacción de la sub rasante–sub base (k)	65
8.12.6	Pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = P_0 - P$)	66
8.12.7	Propiedades del concreto. (Módulo de elasticidad y módulo de ruptura).....	67
8.12.8	Coeficiente de transferencia de carga. (J).....	67
8.12.9	Coeficiente de drenaje (Cd)	68
8.12.10	Flujograma de diseño AASHTO 93.....	68
8.13	Tablas y figuras para el diseño de espesores de pavimento rígido utilizado por el método AASHTO, edición de 1993.....	69

8.13.1	Factor de sentido	69
8.13.2	Factor de carril.....	69
8.13.3	Factor de crecimiento.....	70
8.13.4	Tasa de crecimiento.....	70
8.13.5	Período de diseño.....	70
8.13.6	Confiabilidad	71
9	PREGUNTAS DIRECTRICES	80
10	DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION	81
10.1.	Tipo de investigación	81
10.2.	Universo, Población y Muestra de la Investigación	81
10.3.	Material y Métodos de obtención de la información.....	81
10.3.1	Fuentes Primarias	81
10.3.2	Fuentes Secundarias.....	81
11.	MANUAL DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARPETAS RIGIDAS	82
11.1.	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	82
11.1.1.	Aplicación de la filosofía de diseño estructural de la PCA (edición 1984).....	82
11.1.1.2	Formulario base para cálculo estructural de la PCA (edición 1984)	83
11.1.1.3	Flujograma de Análisis Estructural de la PCA (edición 1984)	85
11.1.1.4	Ejemplo de diseño de espesor de losa por el Método PCA (edición 1984)	86
	Análisis por Fatiga.....	87
	Análisis por Erosión.....	88
	Parámetros para los espesores encontrados	88
11.1.2	Aplicación de la filosofía de diseño estructural de la AASHTO; edición 1993.....	90
11.1.2.1	Ejemplo de diseño de espesor de losa por el Método AASHTO edición 1993	91
	Procedimiento de Diseño estructural	93
11.2	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL	96
11.2.1	Consideraciones generales de diseño	96
11.2.2	Parámetros de diseño	96
11.2.3	Esfuerzos y deflexiones	97
11.2.4	Movimiento en las losas.....	98
	Fuente de Tabla 10: (Cemex, 2002).....	99
11.2.5	Transmisión de cortante losa-losa por fricción	99

11.2.6 Cambios Volumétricos en el concreto	100
11.2.7 Esfuerzos en el Acero	100
11.2.8 Diseño de Juntas	100
11.2.9 Tipos de juntas.....	101
Espaciamiento entre juntas	102
11.2.9.1 Consideraciones para diseño de juntas	106
11.2.9.1.1 Consideraciones ambientales	106
11.2.10 Apoyo lateral	107
11.2.11 Agrietamiento	107
11.2.13 Gradientes.....	108
11.2.14 Eficiencia en las juntas	108
Ilustración 11. Transferencias de cargas entre losas de pavimentos.....	108
11.3 MANUAL CONSTRUCTIVO PARA CARPETAS DE RODAMIENTO RIGIDAS.....	109
11.3.1 Barras de amarre y barras pasa juntas	109
11.3.2 Cimbras	109
11.3.3 Material de sello para Juntas	110
11.3.3.1 Selladores.....	110
11.3.3.2 Sellado de juntas	110
11.3.3.3 Selladores líquidos	110
11.3.3.4 Selladores pre moldeados a compresión:	111
11.3.3.6 Caja para alojar el sello de la junta	112
11.3.3.7 Tirillas de respaldo.....	112
11.3.3.8 Concreto.....	113
11.3.4 Diseño geométrico requerido	113
11.3.5 Drenaje	114
11.3.5.1 Conjunto sub-base-acotamiento- losa.....	114
11.3.5.2 Superficie del pavimento.....	114
11.3.6 CONSTRUCCION DE CARPETAS RIGIDAS	114
11.3.7 Cimbras (Formaletas)	115
11.3.8 Colocación de Barras pasa juntas.....	116
11.3.9 Colocación del concreto hidráulico.....	119
11.3.10 Vibrado y perfilado de la losa.....	120

11.3.11	Texturizado y curado de la superficie de rodadura.....	121
11.3.12	Creación de las Juntas	122
11.3.12.1	Juntas transversales de contracción	123
11.3.12.3	Juntas longitudinales de construcción.....	123
11.3.12.4	Juntas longitudinales de contracción	123
11.3.12.5	Juntas de aislamiento	124
11.3.12.6	Sellado de las juntas.....	124
11.3.13	Consideraciones para trabajos en climas fríos y cálidos	124
11.3.14	Vaciado del concreto en la pasa junta	125
11.3.15	Guarniciones integrales o sujetadas	125
11.3.16	Tolerancias.....	125
12	CONCLUSIONES	128
13	RECOMENDACIONES.....	129
14	BIBLIOGRAFIA.....	130
15	ANEXOS.....	131

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. CARPETA RÍGIDA SIN ELEMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CARGA	19
ILUSTRACIÓN 2. CARPETA RÍGIDA CON ELEMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CARGA.....	20
ILUSTRACIÓN 3. CARPETA RÍGIDA CON ACERO DE REFUERZO NO ESTRUCTURAL	20
ILUSTRACIÓN 4. CARPETA RÍGIDA CON ACERO DE REFUERZO ESTRUCTURAL.....	21
ILUSTRACIÓN 5. CARPETAS RÍGIDAS CON ACERO DE REFUERZO CONTINUO	22
ILUSTRACIÓN 6. VEHÍCULOS DE DISEÑO UTILIZADOS POR LA PCA; AASHTO Y SU TIPOLOGÍA EN EL DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES PARA LAS VÍAS PRINCIPALES DE NICARAGUA.....	39
ILUSTRACIÓN 7. DISTRIBUCIÓN TÍPICA DE JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES	103
ILUSTRACIÓN 8. DETALLES TÍPICOS DE JUNTAS	104
ILUSTRACIÓN 9. DETALLES TÍPICOS DE JUNTAS	105
ILUSTRACIÓN 10. DETALLES DE CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS	106
ILUSTRACIÓN 11. TRANSFERENCIAS DE CARGAS ENTRE LOSAS DE PAVIMENTOS	108
ILUSTRACIÓN 12. CONSTRUCCIÓN Y SELLADO DE JUNTAS	111
ILUSTRACIÓN 13. CAJA PARA SELLO DE JUNTA.....	112
ILUSTRACIÓN 14. ESQUEMA DE CANASTAS PASA JUNTAS.....	117
ILUSTRACIÓN 15. CUADRILLA COLOCADORA DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	119
ILUSTRACIÓN 16. CONFORMACIÓN DE CONCRETO CON CODAL VIBRATORIO.....	120
ILUSTRACIÓN 17. TEXTURIZADO MANUAL.....	121
ILUSTRACIÓN 18. CORTES Y MODULACIÓN EN LA LOSA	122
ILUSTRACIÓN 19. PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE ESPESOR DE LA LOSA DE CONCRETO	127

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESPECIFICACIONES- SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN EL AGUA.....	24
TABLA 2: ESPECIFICACIONES - GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA.....	25
TABLA 3: ESPECIFICACIONES - SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LA GRAVA.....	26
TABLA 4: ESPECIFICACIONES - GRANULOMETRÍA DE LA ARENA	27
TABLA 5: ESPECIFICACIONES - AJUSTE GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA	27
TABLA 6: ESPECIFICACIONES - SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LA ARENA	28
TABLA 7: PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D-68.....	32
TABLA 8: PROCTOR MODIFICADO ASTM D- 1557.....	33
TABLA 9: VALORES DE COEFICIENTES DE EXPANSIÓN TÉRMICA Y CONTRACCIÓN DEL CONCRETO	99
TABLA 10: TOLERANCIAS EN EL TRABAJO TERMINADO	126

1. INTRODUCCION

En Nicaragua como en la mayoría de los países que conforman la región centroamericana, es necesario que la infraestructura vial esté en perfectas condiciones, debido al creciente desarrollo económico de cada una de sus zonas. Por tal motivo se debe garantizar un excelente funcionamiento en nuestras vías e igualar nuestros estándares de circulación actuales a niveles internacionales. Durante los últimos años el importante avance científico y tecnológico obtenido por la técnica de pavimentación con concreto hidráulico ha despertado el interés de muchos diseñadores y constructores alrededor de todo mundo.

En pos de generar nuevas y mejores técnicas constructivas para Nicaragua y proporcionar una visión diferente acerca de las diversas formas de construir y mejorar un camino, de tal manera que este sea cómodo y transitable durante todo el año. Se elaborará un documento técnico en forma de manual práctico para agilizar tanto el diseño como la construcción de las carpetas rígidas, lo que redundará en el mejoramiento de nuestras vías de comunicación. El presente documento contiene los fundamentos técnicos necesarios requeridos para el diseño y construcción de las carpetas de rodamiento que constituyen a los pavimentos rígidos; con el propósito de que en un momento dado pueda ser aplicado para tales fines (Apertura y Mejoramiento de vías de comunicación) en Nicaragua.

2. ANTECEDENTES

Los manuales de diseño y construcción de pavimentos a nivel centroamericano hacen mención de los de tipo asfálticos, semirrígidos(adoquín) y rígidos; aunque existe una clara tendencia hacia los pavimentos asfálticos, recientemente en El Salvador, Costa Rica y Guatemala están incrementando el uso del concreto hidráulico premezclado como técnica de pavimentación para calles y carreteras principales, este cambio ha sido motivado principalmente por la nivelación de los precios de mercado y la realización de grandes avances en equipo y tecnología.

En Nicaragua el uso del concreto hidráulico premezclado como técnica de pavimentación está experimentando un importante crecimiento. Aunque no se cuenta con un manual práctico disponible para todas nuestras instituciones, en Julio de 2011 en nuestra ciudad capital se realizaron trabajos de mejoramiento de las calles principales de los Barrios: La Esperanza, Hayalia y Villa Venezuela. Es preciso hacer mención que en estos proyectos se realizaron con el juicio y la experiencia de los consultores encargados de estas obras, por lo que no queda claro el método de diseño estructural que utilizaron ni las normas de calidad de los materiales.

A nivel nacional, uno de los proyectos más importantes ha sido el reforzamiento de la terminal aérea de la ciudad de Bilwi, cabecera departamental de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN), la cual se realizó en el año 2010. El proyecto tuvo un costo de 30 millones de dólares y permitirá el aterrizaje de aviones de 300 mil libras de peso, la pista tiene una longitud de 2,500 metros de 30 centímetros de espesor. Al igual que en el mejoramiento de las calles de los barrios antes mencionados, también se trabajó con la misma metodología.

3. JUSTIFICACION

En un país en vías de desarrollo, como Nicaragua, se requiere de una adecuada infraestructura vial que permanezca en óptimas condiciones durante toda su vida útil. En la constante búsqueda de mejores alternativas constructivas, las carpetas de rodamiento rígidas han despertado el interés respecto a las técnicas de pavimentación ya conocidas por muchos constructores y proyectistas de todo el mundo, debido principalmente a las bondades que nos ofrece el concreto hidráulico; lo que redundará en dos grandes beneficios como son: una larga vida útil de la carpeta de rodamiento y el poco mantenimiento que requiere.

El objetivo principal de este documento es exponer de manera práctica las metodologías requeridas para el diseño y construcción de las carpetas rígidas. Es decir, se pondrá a disposición de entidades nacionales públicas o privadas, un documento técnico fundamentado que podrá ser utilizado como una herramienta para el diseño o bien para la supervisión de la ejecución física de cualquier proyecto de este tipo.

Con la presente investigación se pretende maximizar la inversión pública realizada en el mejoramiento o en la apertura de nuevas calles y carreteras en el territorio nacional. No se trata de imponer la utilización de este sistema constructivo, si no de proveer un documento técnico listo para su aplicación.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carpetas de rodamiento rígidas en Nicaragua son poco utilizadas como técnica de pavimentación debido a que existe una clara tendencia hacia los pavimentos de tipo asfáltico.

La poca utilización de las carpetas rígidas se debe principalmente a la gran inversión inicial de construcción que estas requieren respecto a otros tipos de pavimentos, por otra parte esta la ausencia de un documento técnico bien completo y fundamentado que oriente a los proyectistas acerca de: las filosofías de diseño estructural, la calidad en los materiales para la elaboración del concreto, normas mínimas de construcción de la losa en el sitio.

Si bien es cierto, a nivel regional, existe el Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA) aborda esta temática, pero lo hace a grandes rasgos y no contienen una metodología clara y precisa: un ejemplo de ello es de que no se muestra la edición de la filosofía de diseño (AASHTO 1993 o PCA 1984).

5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

5.1.1. Objetivo general

Realizar una propuesta de un manual de diseño y construcción de carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos para ser aplicado en Nicaragua.

5.1.2. Objetivos específicos

- Mostrar las diferentes alternativas de carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos de que se existen.
- Definir las variables requeridas en el diseño de las carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos.
- Exponer las principales metodologías de diseño estructural de las carpetas de rodamiento rígidas que se utilizarán en el manual.
- Efectuar un caso práctico aplicando la filosofía de diseño estructural de la AASHTO edición 1993 y PCA edición 1984.
- Presentar de manera simplificada y sencilla una propuesta de manual constructivo para las carpetas de rodamiento rígidas.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. Marco Conceptual

A continuación se presentarán algunos de los conceptos fundamentales en que se sustenta la presente investigación.

Pavimento: Se conoce como pavimento al conjunto de capas de materiales debidamente seleccionados que reciben en forma directa las cargas ocasionadas por el tránsito; cuya misión es transferirlas a las capas inferiores y distribuirlas uniformemente de manera rápida y cómoda. Este conjunto de capas también constituye la superficie de rodamiento.

Pavimento rígido: Conjunto de losas de concreto, con o sin refuerzo, interconectadas mediante juntas transversales y longitudinales, y conectores de acero, apoyadas sobre un suelo mejorado que constituye la estructura de apoyo formada por la base y la sub-base, las cuales a su vez se apoyan sobre la sub-rasante.

Terraplén: Es una estructura formada por capas compactadas de suelo colocado sobre el terreno natural, que tiene como objetivo principal dar un determinado nivel de proyecto, así como el mejoramiento de las condiciones de apoyo del pavimento.

Capa sub-rasante: Nivel superior del terraplén o del terreno natural, si no hay terraplén, sobre el cual se coloca la capa sub-base o la base. Actúa como el terreno de cimentación del pavimento, puede ser el terreno natural, debidamente recortado y compactado; o puede ser, material de buena calidad seleccionado para relleno, debido a los requerimientos del proyecto, cuando el suelo natural es deficiente.

Base: Capa intermedia entre la capa de rodamiento y la capa sub-base. Generalmente se usa en los Pavimentos flexibles y se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica, esta capa permite reducir los espesores de carpeta ya que tiene una función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores, proporcionando además una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

Carpeta: Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para disipar los esfuerzos hacia las terracerías. Se forma de materiales granulares con o sin liga o más comúnmente de concreto hidráulico en sus diferentes variantes.

Drenaje: Es un sistema para controlar el agua en las cercanías, sobre el pavimento o la terracería.

Acción de “bombeo”: Acción debida a la expulsión del agua que se acumula bajo la losa de pavimento por el efecto de las cargas rodantes. Al ser expulsada por las juntas o las grietas del pavimento el agua arrastra partículas de la base, deteriorándola.

Límite líquido, LL: El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

Límite plástico, LP: Es el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Plasticidad: Es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse.

Índice plástico: Es la diferencia de valores absolutos entre el mayor y el menor contenido de agua entre los límites líquido y plástico. $LL - LP$.

Calles y Carreteras: Se designa así a la parte pública de la vía para fines de tránsito de Vehículos y personas que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Valor relativo de Soporte, VRS: Es el índice de resistencia al esfuerzo cortante en determinadas condiciones de compactación y humedad.

Permeabilidad (k): La facilidad con que el agua circula a través del suelo. Se expresa en términos de velocidad de flujo de acuerdo con la Ley de Darcy para flujo laminar.

Confiabilidad: Probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto bajo las sollicitaciones de carga e intemperismo.

6.2 Marco Teórico

6.2.1 Clasificación de las vías en Nicaragua

Según la división general de planificación (Ministerio de Transporte e Infraestructura M.T.I, 2008), la clasificación de la red vial según la función de cada una de las vías es la que se describe a continuación:

Vías Rurales: Son denominadas caminos cuando estos responden a ciertas características geométricas determinadas; cuando estas sirven para acomodar un tránsito relativamente grande de vehículos motorizados entonces reciben el nombre de carreteras.

Las vías Urbanas: Conocidas con el nombre de calles o Avenidas. También se conoce con el nombre de calles locales. Esta clasificación corresponde a la función que las vías desempeñan, pero existen quienes las clasifican de acuerdo al servicio que estas prestan. De conformidad con esta última función se podrían clasificar en: residenciales, comerciales, industriales, etc. Otros clasifican de conformidad con los volúmenes y tipos de tránsitos que por dichas vías, se clasifican en:

- ✓ **Arterias:** Son aquellas calles o avenidas con volúmenes de tránsito relativamente grandes, el ancho de la calzada normalmente debe de ser de 13.50 m y la velocidad promedio de circulación es de 70 km/hora aproximadamente. Se han subdividido en “Arterias Radiales” y en “Arterias de Circunvalación”. Las primeras son llamadas así por parecer radios que se alejan del núcleo central de la población en dirección a las zonas rurales. Las segundas han sido llamadas de esa manera porque precisamente sirven para circunvalar la población sin necesidad de entrar al centro urbano.

- ✓ **Calles colectoras o de enlace:** Es el segundo tipo de nuestra clasificación y como anteriormente se dijo su misión consiste en recoger el tránsito de una

zona para conducirlo a las arterias de tránsito mayor. Generalmente el ancho de la calzada es de unos 11.00 m y la velocidad media es de 55 km/h.

Las calles colectoras corresponden al tercer tipo de vías urbanas dentro de nuestra clasificación, su definición permanece igual que se explicó anteriormente y los anchos de la calzada normalmente son de unos 8.00 m con una velocidad media de 55 km/h.

A su vez los Caminos Rurales se pueden clasificar de la siguiente manera:

Carreteras Internacionales: Aquellos que tienen por objeto unir al país con otros vecinos. Ejemplo de esto lo constituye la Carretera Panamericana, recorre desde el norte a sur; desde la vecina república de Honduras hasta Costa Rica.

Carreteras Nacionales: También se le conoce como carreteras troncales, y se caracteriza por su gran capacidad de tránsito y por la utilización de vehículos de grandes dimensiones de velocidades comerciales relativamente altas. Responden a la necesidad de unir los grandes centros urbanos, agrícolas, industriales o comerciales del país, para incorporarlos a la economía nacional. Como ejemplo de este tipo de carreteras, podemos citar en nuestro país, la ruta que va desde la Costa Atlántica a través de grandes centros productivos del país.

Caminos Regionales, Comarcales o Secundarios: Destinados a incorporar al sistema vial de la nación, grandes áreas o comarcas, de interés vital para la economía del país. Para su capacidad de tránsito no llega a adquirir los valores de los tipos mencionados atrás. También las distancias recorridas son menores y el trazado geométrico es más económico o menos amplio que las anteriores. Casi siempre estos tipos de caminos tienen acceso a los caminos nacionales o bien a las rutas internacionales.

Caminos Locales o Vecinales: Son aquellos que proporcionan acceso a puntos más apartados del país, y que sirven para unir dos o más localidades entre sí, o bien una localidad con un centro urbano más importante.

Generalmente, el recorrido en este tipo de caminos es siempre mucho más corto que en los tipos anteriores, y además el diseño geométrico es mucho más pobre, debido a que el camino en sí obedece casi siempre a intereses locales.

6.3 Consideraciones básicas para proyectos de pavimentación

Antes de iniciar cualquier proyecto de pavimentación se deben tener en cuenta, específicamente para el área, tramo o zona a construir, las siguientes consideraciones:

- a) Condiciones del terreno de fundación (Estudio de Suelo)
- b) El tránsito vehicular (Estudio de Transito), para lo cual se debe contar con aforos de tránsito confiables, el tipo y distribución de vehículos, peso y características, considerando todas las sobrecargas por ejes de los camiones (composición en número de vehículos y pesos por eje).
- c) El Estudio Geotécnico del área a pavimentar, dirigido al estudio de la solución de los pavimentos incluyendo el estudio de los materiales de los bancos de aprovisionamiento.
- d) La descripción y especificación de los materiales para la fabricación del concreto.
- e) El diseño geométrico.

6.3.1 Disponibilidad de carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos

Además de resistir los esfuerzos normales y tangenciales transmitidos por los neumáticos y su constitución estructural (Gran Resistencia a la Flexo-Tracción, a la Fatiga y elevado Módulo de Elasticidad), las carpetas de concreto hidráulico deben tener el espesor suficiente que les permita introducir en los casos más desfavorables solo depresiones débiles a nivel del terreno de fundación y cada nivel estructural apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido. Los pavimentos de concreto hidráulico deben estar previstos de los siguientes aspectos técnicos:

- ✓ Regularidad superficial; longitudinal y transversal.
- ✓ Resistencia adecuada al derrape durante todo el tiempo.
- ✓ Rápida eliminación del agua superficial.
- ✓ Bajo nivel de ruido.
- ✓ Bajo nivel de desgaste en las llantas.
- ✓ Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
- ✓ Apariencia Agradable.
- ✓ Vida útil prolongada.
- ✓ Bajo mantenimiento.

6.3.1.1 Clasificación de carpetas rígidas

1. Carpeta rígida simple
 - ✓ Sin elementos de transferencia de carga
 - ✓ Con elementos de transferencia de carga
2. Carpeta rígida con Acero de Refuerzo
 - ✓ Con refuerzo de acero no estructural
 - ✓ Con refuerzo de acero estructural
3. Carpeta rígida con Refuerzo Continuo
4. Carpeta rígida Pre o Pos tensado
5. Carpeta rígida Reforzado con Fibras

Descripción de carpetas rígidas

1) **Carpeta Rígida Simple:** El concreto asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad.

a. **Sin elementos de Transferencia de Carga:** Aplicación: Tráfico Ligero, clima templado y se apoya sobre la sub-rasante, en condiciones severas requiere del Cimiento granular y/o tratado, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga.

Ilustración 1. **Carpeta rígida Sin elementos de Transferencia de Carga**



Fuente: (MORA, 2009)

b. **Con elementos de Transferencia de Carga o Pasadores:** Pequeñas barras de acero, que se colocan en la sección transversal, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando las condiciones de deformación en las juntas, evitando los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento) los Aplicación: Tráfico mayor de 500 Ejes Equivalentes. de 18 Kips.

Ilustración 2. Carpeta rígida con elementos de Transferencia de Carga



Fuente: (MORA, 2009)

2. Carpeta rígida con acero de refuerzo

- a. Carpeta con acero de refuerzo no estructural.** El refuerzo no cumple función estructural, su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos. Tienen el acero de refuerzo en el tercio superior de la sección transversal a no menos de 5cm. Bajo la superficie. La sección máx. de acero es de 0.3% de la sección transversal del Pavimento. Su aplicación es restringida, mayormente a pisos Industriales.

Ilustración 3. Carpeta rígida con acero de refuerzo no estructural



Fuente: (MORA, 2009)

b. PR A.R Estructural: El refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión, por lo que es factible reducir el espesor de la losa hasta 10 o 12 cm.

Aplicación: Pisos Industriales, las losas resisten cargas de gran magnitud.

Ilustración 4. Carpeta rígida con acero de refuerzo estructural



Fuente: (MORA, 2009)

- ✓ **Carpeta rígida con refuerzo continuo:** El refuerzo asume todas las deformaciones, en especial las de temperatura, eliminando las juntas de contracción, quedando solo las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte. La fisura es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento de la estructura del pavimento. Aplicación: zonas de clima frío, recubrimientos en pavimentos deteriorados.

Ilustración 5. Carpetas rígidas con acero de refuerzo continuo



Fuente: (MORA, 2009)

- ✓ **Carpeta rígida reforzada con fibras:** Incorpora fibras metálicas, de propileno, carbón, etc. Con excelentes resultados en Aeropuertos y sobre capas delgadas de refuerzo. El diseño es más estructural y de buen comportamiento mecánico, pero sus costos y los cuidados requeridos en su ejecución, dificultan su desarrollo.

7. VARIABLES DE DISEÑO DE CARPETAS RIGIDAS

La selección del tipo de carpeta está determinada por muchas variables, entre las que están los factores técnicos, económicos del país o de la zona, de las fuentes de materiales, su idoneidad, las distancias de acarreo, ahorros de energía u otros, que en algún momento pueden inclinar la decisión hacia un tipo de pavimento (LONDOÑO NARANJO, 2008).

7.1 Aspectos Técnicos

Según (LONDOÑO NARANJO, 2008), la característica que identifica las carpetas de concreto es su alta rigidez, razón por la cual le transmiten al suelo las cargas y esfuerzos en áreas muy grandes. Esta característica hace que con frecuencia los

costos de construcción compitan con los de otras alternativas cuando el suelo tiene baja capacidad de soporte o cuando se trata de vías con tráfico pesado o intenso, además de carreteras de tráfico muy bajo. Otra característica de los pavimentos rígidos es que se construyen en una sola etapa, lo cual hace que no exista incertidumbre sobre su comportamiento a largo plazo, pues no necesita sobre capas rutinarias para mantener un adecuado nivel de servicio.

Las variables requeridas en el diseño de las carpetas rígidas son las siguientes: Materiales para la elaboración de las mezclas, La resistencia en el concreto, Suelo de fundación (Sub rasante), Tránsito esperado (Tránsito de Diseño). A continuación se presenta la descripción de cada una de estas variables.

7.1.2 Calidad en los materiales para concreto

Para la elaboración de una carpeta de rodamiento de pavimento rígido es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento.

7.1.2.1. Cemento

Según (Cemex, 2002), el cemento a utilizar será preferentemente portland, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo especificado en las normas NMX - C-414 - 1999 - ONNCCE. Si los documentos del proyecto o una especificación particular no señalan algo diferente, se emplearán los denominados CPO (Cemento Portland Ordinario) y CPP (Cemento Portland Puzolánico) dependiendo del caso y con sub - clasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo I y Tipo IP. Es importante que se cumplan respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las cláusulas 4.01.02.004-B y 4.01.02.004-C de las normas de calidad de los materiales de la secretaría de comunicaciones y transportes. El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en acopios de no más de siete metros (7 m) de altura. Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la

suficiente para el consumo de un día o una jornada de producción normal. Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) en silos, deberá ser examinado por el Supervisor del proyecto, para verificar si aún es susceptible de utilización.

7.1.2.2. Agua de Mezclado

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con la norma NMX-C-122, debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

Tabla 1: Especificaciones- Sustancias perjudiciales en el agua

Sustancias perjudiciales	ppm(máximos)
Sulfatos(Convertidos a Na ₂ SO ₄)	10
Cloruros(Convertidos a Na Cl)	10
Materia Orgánica (Oxido consumido en medio acido)	50.000
Turbiedad y/o lignito.	1,5

(Fuente de tabla 1: (Cemex, 2002))

Notas importantes:

El pH, medido según norma ASTM D-1293, no podrá ser inferior a cinco (5). El contenido de sulfatos, expresado como SO₄=, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516. Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g/l).

7.1.2.3. Agregados

Estos materiales se sujetarán a tratamientos necesarios para cumplir con los requisitos de calidad que se indican en cada caso, debiendo el contratista prever las características en el almacén y los tratamientos necesarios para su utilización. El manejo y/o almacenamiento subsecuente de los agregados, deberá hacerse de tal manera que se eviten segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales y de que se mantenga una condición de humedad uniforme, antes de ser utilizados en la mezcla.

Gravas: El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 2: Especificaciones - Granulometría de la grava

Tamiz (Pulg)	Tamiz(mm)	% Que pasa
2"	50.00 mm	100
1 1/2"	37.50 mm	95-100
3/4"	19.00 mm	35-70
3/8"	9.50 mm	0-30
Núm. 4	4.75 mm	0-5

Fuente de tabla 2: (Cemex, 2002)

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3: Especificaciones - Sustancias perjudiciales en la grava

Sustancias Perjudiciales	%
Partículas Deleznales	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Fuente de tabla 3: (Cemex, 2002)

El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- ✓ Desgaste “Los Ángeles” 40% máximo.
- ✓ Intemperismo Acelerado 12% máximo (utilizando sulfato de sodio).

Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el Especificador podrá ordenar que se efectúen pruebas de desgaste de los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales, en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en donde vayan a ser utilizados. En ninguno de los casos mencionados se deberán obtener desgastes mayores que cuarenta por ciento (40%).

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado grueso, a juicio del Supervisor se llevará a cabo la determinación de la pérdida por Intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de doce por ciento (12%), en el entendido que el cumplimiento de esta característica no excluye las mencionadas anteriormente.

Arenas: El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y uno milímetros (9.51 mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 4: Especificaciones - Granulometría de la Arena

Tamiz (Pulg)	tamiz (mm)	% Que pasa
3/8"	9.50 mm	100
Núm. 4	4.75 mm	95-100
Núm. 8	2.36 mm	80-100
Núm. 16	1.18 mm	50-85
Núm. 30	600 µm	25-60
Núm. 50	300 µm	oct-30
Núm. 100	150 µm	02-oct
Núm. 200	75 µm	4 máximo

Fuente de tabla 4: (Cemex, 2002)

La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla excepto en los siguientes casos: Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables, en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios. En este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

El porcentaje de material que pasa la malla #200 esta modificado según los límites de consistencia lo cual se indica en la siguiente tabla:

Tabla 5: Especificaciones - Ajuste granulométrico de la Arena

Limite liquido	Índice Plástico	Material máximo permisible que pasa el tamiz #200
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	05-oct	16.0
Hasta 25	oct-15	6.0
Hasta 25	15-20	4.0
Hasta 25	20-25	1.0
25-35	Hasta 5	16.0
25-35	05-oct	14.0
25-35	oct-15	11.0
25-35	15-20	8.0

25-35	20-25	1.0
35-45	Hasta 5	15.0
35-45	05-oct	9.0
35-45	oct-15	6.0
35-45	15-20	2.0
35-45	20-25	1.0
45-55	Hasta 5	9.0
45-55	05-oct	8.0
45-55	oct-15	5.0
45-55	15-20	4.0
45-55	20-25	1.0

Fuente de Tabla 5: (Cemex, 2002)

La arena no deberá tener un retenido mayor de cuarenta y cinco por ciento (45%), entre dos (2) mallas consecutivas; además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- ✓ Equivalente de arena** 80% máximo
- ✓ Módulo de finura 2.30 mínimo y 3.10 máximo
- ✓ Intemperismo Acelerado 10% máximo (Empleando sul. sodio)

** Al ser modificado el porcentaje de material que pasa la malla #200 según los límites de consistencia el equivalente de arena también debe de ser modificado.

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Tabla 6: Especificaciones - Sustancias perjudiciales en la Arena

Sustancias Perjudiciales	% Máximo
Partículas Deleznables	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Fuente de Tabla 6: (Cemex, 2002)

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado fino, a juicio de la Secretaría se llevará a cabo la determinación de la pérdida por Intemperismo

acelerado, la cual no deberá ser mayor de 10%, en el entendido de que esta condición no excluye las mencionadas anteriormente.

7.1.2.4. Aditivos

Deberán emplearse aditivos del tipo “D” reductores de agua y retardantes con la dosificación requerida para que la manejabilidad de la mezcla permanezca durante dos (2) horas a partir de la finalización del mezclado a la temperatura estándar de veintitrés grados centígrados (23° C) y no se produzca el fraguado después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado. Los aditivos deberán ser certificados por la casa productora.

Para asegurar la Trabajabilidad de la mezcla, también se utilizará un agente inclusor de aire, con los requisitos que señala la norma ASTM C 260. Estos aditivos se transportarán desde la fábrica hasta la planta de concreto en camiones cisternas y se depositarán en tanques especialmente diseñados para su almacenamiento y dosificación.

7.2. Resistencia de Diseño

La resistencia de diseño especificada a la tensión por flexión ($S'c$) o Módulo de Ruptura (MR) a los 28 días, se verificará en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15 x 15 x 50) centímetros, compactando el concreto por vibro compresión y una vez curados adecuadamente, se ensayarán a los 3, 7 y 28 días aplicando las cargas en los tercios del claro. (ASTM C 78)

Se deberán tomar muestras de concreto para hacer especímenes de prueba para determinar la resistencia a la flexión durante el colado del concreto. Especímenes de prueba adicionales podrán ser necesarios para determinar adecuadamente la resistencia del concreto cuando la resistencia del mismo a temprana edad limite la apertura del pavimento al tránsito.

El procedimiento seguido para el muestreo del concreto deberá cumplir con la norma ASTM C 172.

La frecuencia de muestreo será de 6 especímenes para prueba de módulo de ruptura y 3 especímenes más para determinar el módulo elástico y resistencia a la compresión por cada 150.0 m³ de producción de concreto. En el caso de la determinación del módulo de ruptura, se ensayarán dos especímenes a los 3 y 7 días de colado, y los otros dos restantes a los 28 días. En el caso de la determinación del módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, se ensayará un espécimen por cada prueba a los 3 y 7 días de colado, y el restante a los 28 días de transcurrido el colado.

7.3. Evaluación de la Sub Rasante (Suelo de Cimentación)

Según el (Manual Centro Americano Para Diseño de Pavimentos , 2002) , la sub rasante es el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento, las propiedades de la subrasante, son las variables mas importantes que hay que considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas permanecen invariables. Las capas de apoyo del pavimento de concreto pueden ser el terreno natural, o una capa de transición o de sub-base, a fin de que se cumpla con la función estructural, para que los espesores requeridos sean menores. Esta capa, al ser de tipo granular, servirá también para drenar el agua que tiende a acumularse en la parte inferior del pavimento de concreto, ya sea por la lluvia o por elevaciones estacionales de los niveles freáticos del terreno.

Para el diseño de pavimentos es necesario determinar las propiedades de la capa de apoyo que nos permitan conocer las características generales y comportamiento de los suelos, estas propiedades se deben obtener mediante la toma de muestras (sondeos alternados), en todo el desarrollo del sitio del proyecto; y se deben efectuar las pruebas que se describen a continuación: **Granulometría, Límites de Atterberg, Valor Relativo Soporte (C.B.R), Densidad, Humedad.**

- 7.3.1 Granulometría:** El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el uso de mallas o tamices (**AASHTO T27- 88**). Sin embargo, al aumentar la finura de los granos la granulometría por mallas se va haciendo más difícil, teniendo que recurrir al procedimiento de sedimentación.
- 7.3.2 Límites de Atterberg (Plasticidad):** Se debe medir el comportamiento de deformación de los suelos haciendo uso de los límites de Atterberg, ya que las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Estos límites de consistencia (Límite Líquido LL, Límite Plástico LP, Límite de Contracción LC) se determinan empleando suelo que pasa por la malla No. 40, la diferencia entre los valores del límite líquido y del límite plástico da como resultado el índice plástico (IP) del suelo.
- 7.3.3 Valor soporte de California (C.B.R):** El valor soporte de california (CBR), de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento:

Proctor Modificado (AASHTO T-180): Esta prueba se usa para la determinación del peso por unidad de volumen; cuando el suelo ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad, se efectúa a través de la prueba proctor modificada para suelos que pasen totalmente la malla No. 4, o con retención de 10% en esta malla, pero que dicho retenido pase totalmente por la malla 3/8 ". La compactación mínima debe ser del 95 %.

Proctor Estándar: Esta prueba se aplica para la determinación del peso volumétrico seco máximo de compactación y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8", a los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Con esta prueba se determina también la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado período de saturación.

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lb/pulg².) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm²), dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lb/pulg².) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar modificada del experimento.

Tabla 7: Proctor Estándar ASTM D-68

Material	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Peso del martillo (lb)	5.5	5.5	5.5
Diámetro de molde(Pulg)	4	4	6
Numero de Capas	3	3	3
Numero de golpes/Capas	25	25	56

Fuente de Tabla 8: (Manual de Pavimentos Rígidos de CEMEX, 2000)

Tabla 8: Proctor Modificado ASTM D- 1557

Material	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Peso del martillo (lb)	10	10	10
Diámetro de molde(Pulg)	4	4	6
Numero de Capas	3	3	3
Numero de golpes/Capas	25	25	56

Fuente de Tabla 9: (Manual de Pavimentos Rígidos de CEMEX, 2000)

7.4 Módulo de reacción (k): Se debe tomar en cuenta como parámetro de resistencia de la sub-rasante el valor del módulo de reacción (k), cuando la losa va apoyada directamente sobre ella o en su caso adoptar el valor del módulo de reacción del conjunto sub-base-base. Esta característica de resistencia se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo, su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo, lo cual incide directamente en el diseño del espesor del pavimento.

7.5 Clasificación de Suelos

Para la Escuela de Ingeniería de Antioquia (2002), Muchos de los sistemas de clasificación de suelos son basados en las propiedades como la distribución del tamaño de grano y la plasticidad. Sin embargo, se debe ser precavido al usarlas, la solución de problemas de suelos a partir únicamente de la clasificación puede conducir a resultados desastrosos, por eso se deben considerar como una guía para predecir un comportamiento y no excluye la realización de determinados ensayos.

7.5.1. Clasificación AASHTO

El sistema de Clasificación de la AASHTO fue desarrollado en 1929 por la American Association of State Highway and Transportation Officials y el Committee on

Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board de la ASTM.

La clasificación se realiza basada en el tamaño del grano y en la plasticidad, de acuerdo a este sistema el suelo es clasificado en siete grupos principales: desde A-1 hasta A-7; los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos grueso granulares con un 35% o menos que pasa la malla número 200, y los que presentan una cantidad superior que pasa malla número 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, estos son suelos finos o materiales limosos y arcillosos. La clasificación es basada en los siguientes criterios:

Tamaño de grano: Se distinguen tres tamaños principales: grava, arena y finos (limo y arcilla). Los bloques de roca (tamaño superior a los 75mm) encontrados dentro de la muestra de suelo, se excluyen de la porción de análisis para la clasificación, pero se registra la cantidad presente.

Plasticidad: El término limo es aplicado a aquellas fracciones finas donde el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, el término arcilloso a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.

Índice de Grupo (IG): Para evaluar la calidad de un suelo desde el punto de vista de vías, se desarrolló una expresión matemática conocida como Índice de Grupo, este índice es escrito entre paréntesis luego de la designación de grupo o subgrupo. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$IG = (F-35) (0.2 + (0.005(LL-40)))+0.01 (F-15) (IP-10)$$

Donde:

F: es la fracción del suelo que pasa la malla 200

LL: es el límite líquido del suelo

IP: es el Índice de plasticidad del suelo

Algunas reglas con respecto al uso de esta ecuación son las siguientes:

- Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como $IG = 0$
- No hay un límite superior para el Índice del Grupo
- El IG debe redondearse a valores enteros: Por ejemplo si el valor obtenido es $IG = 3.3$ realmente es $IG = 3$ o si es $IG = 3.5$ realmente es $IG = 4$
- El Índice de grupo de A-1, A-3 y A-2-4 y A-2-5 siempre es igual a cero
- Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el Índice de grupo se calcula con la segunda parte de la ecuación, dependiendo solo del IP.

En general, la calidad en el comportamiento de un suelo cuando está como sub base es inversamente proporcional al Índice de Grupo.

Nota: De lo descrito anteriormente se concluye que para los suelos gruesos, la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg.

Grupo	Sub grupo	(% que pasa, tamiz U.S No.			Carácter de la fracción que pasa el tamiz No.40		Índice de grupo	Descripción del suelo	Calidad como sub rasante
		10	40	200	L.L	LP			
A-1			50max	25max		6max	0	Grava o arena de buena graduación, puede incluir finos	Excelente
	A-1-a	50max	50max	15max		6max	0	Mayormente gravas, pero puede incluir arena y finos	
	A-1-b		50max	25max		6max	0	Arena gravosa o arena graduada, puede incluir finos	
A-2				35max			0-4	Arena y gravas con exceso de finos	Excelente a buena
	A-2-4			35max	40max	10max	0	Arenas, gravas con finos de limo de baja plasticidad	
	A-2-5			35max	41min	10max	0	Arenas, gravas con fino de limos elásticos	
	A-2-6			35max	40max	11min	4max	Arena, gravas con finos de arcillas	
	A-2-7			35max	41min	11min	4max	Arenas, gravas con finos de alta plasticidad	
A-3			51min	10max		No. plas	0	Arenas finas	
A-4				36min	40max	10max	8max	Limos de baja compresibilidad	Regular a pobre
A-5				36min	41min	10max	12max	Limos muy compresibles, limos micáceos	
A-6				36min	40max	11min	16max	Arcilla de compresibilidad baja a media	
A-7	A-7-5			36min	41min	11min	20max	Arcillas limosas de alta compresibilidad	
	A-7-6			36min	41min	11min	20max	Arcillas de alta compresibilidad y alto cambio de volumen	
A-8								Turba, suelos muy orgánicos	No satisfactoria

Clasificación revisada del Departamento de Caminos Públicos o clasificación AASHTO.

Fuente: (Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2002)

7.5 Análisis del Tráfico

Para (Ministerio de Transporte e Infraestructura M.T.I, 2008), el análisis de tráfico y la clasificación de la vía se obtendrán a partir del número de vehículos que, probablemente, pasarán diariamente por el sistema vial proyectado. El diseño final de los pavimentos estará regido por el número de repeticiones de los ejes de cada uno de los grupos de vehículos durante el período de diseño, los volúmenes de tránsito serán determinados a través de mediciones en campo mediante básculas de cargas móviles o en su caso se podrán emplear los registros con que cuenta la dirección de vialidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura (M.T.I). El tránsito vehicular diario actual

e inicial total en ambas direcciones, se debe afectar por factores direccionales, de distribución por carril y de crecimiento para obtener el tránsito promedio diario durante el período de diseño.

7.6 Cargas por tránsito

Tránsito: Se define como el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje, se debe cuantificar estableciendo el espectro de cargas y el número de repeticiones de cada rango de cargas que se espera en el carril de diseño durante el período de diseño, incluyendo el crecimiento del tránsito. Se debe considerar tanto la geometría de las cargas o la configuración de los vehículos, como la distribución e intensidad de cargas, estos efectos de los vehículos se deben considerar de las siguientes formas:

Tránsito fijo: De acuerdo con el criterio de tránsito fijo, toda la distribución vehicular se convierte a una carga de llanta sencilla equivalente CLLSE, la cual determina el espesor del pavimento y diseñar para la carga mayor que se pueda anticipar, inclusive transformando las cargas por arreglos múltiples de llantas a una carga sencilla.

Vehículo fijo: El espesor del pavimento viene regido por el número de repeticiones de carga de un vehículo estándar o de carga por eje de peso nominal, usualmente de 8.2 ton (18 Kips). A tales ejes ya normalizados se les denomina comúnmente ESAL's, (Equivalent Single Axis Loads). Las repeticiones de una carga por ejes, sencilla, o cargas de ejes múltiples se multiplican por los FCEE correspondientes para obtener los efectos de los ejes reales en términos de ejes normalizados o ESAL's, este valor de tránsito es el que se debe utilizar en el diseño.

Vehículos y tráfico variables: Con este enfoque los vehículos y variables se toman en cuenta por separado e individualmente para evaluar sus efectos en el diseño del pavimento, formando grupos de cargas similares para luego determinar y sumar los efectos separados de cada grupo, tales como esfuerzos, deformaciones y deflexiones.

7.7 Factor de equivalencia de carga por eje

Se requiere un factor de equivalencia de carga por eje (FCEE) para cuantificar el tránsito real a un cierto número de ejes normalizados, el FCEE depende del tipo de pavimento, espesor o de la capacidad estructural y el índice de servicio terminal o nivel de rechazo que se considere para la estructura del pavimento. Estos valores son empíricos y normalmente se utilizan los proporcionados por el método AASTHO de acuerdo a las tablas 8.4 a la 8.12 de la Guía IMCYC.

7.8 Factores de Tránsito

Tránsito pesado promedio: El promedio de tránsito pesado puede conocerse numéricamente si se cuenta con monitoreo del tránsito o bien puede estimarse como porcentaje del TPD (Tránsito Promedio Diario) en ambos casos este valor puede conocerse si se cuenta con información de caminos cercanos cuyos patrones de tránsito, tendencias de crecimiento y composiciones estén disponibles o a través de equipo sencillo para el pesaje de vehículos en movimiento.

Factor de tránsito pesado: Es el cociente que se obtiene de dividir el total de ESAL's que representan todo el conjunto de ejes de camiones pesados entre el número de estos últimos.

Ecuación 1: Factor de Tránsito Pesado

$$FTP = \frac{ESAL's}{Num. camiones}$$

Este factor se puede aplicar a todos los camiones, excepto en aquellos casos en los que se prevea que el crecimiento es diferente para cierto grupo de camiones pesados, en cuyo caso se multiplicará cada grupo por su factor respectivo. Conocido el tránsito, el valor de *FTP* puede conocerse suponiendo el nivel de rechazo y un espesor tentativo de la losa de rodamiento.

Factor de crecimiento: El factor de crecimiento puede determinarse asignando una tasa de crecimiento constante al tránsito promedio en toda la vida del proyecto, este factor multiplicado por la estimación del tránsito durante el primer año dará el tránsito total en ESAL's en el período de diseño.

Factor de distribución por carril: Sólo en los casos en que existan dos carriles, cada uno de ellos representará el de diseño, este factor de distribución será del 100 %, en los casos que se requiera más de dos carriles regirá el de baja o el exterior, para el cálculo de este factor se deberá consultar la gráfica desarrollada en el capítulo “Thickness Design for Concrete Highways and Street Pavements” de la PCA y AASHTO.







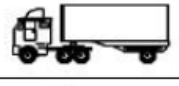


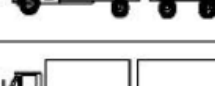

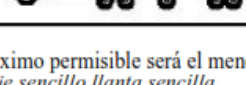
Factor de sentido: Se debe diferenciar el sentido de las vialidades mediante un factor, siendo para un sentido de 1.0 y para doble sentido de 0.5, en los casos en que los camiones viajan cargados en una dirección y regresan vacíos se debe tomar en cuenta el sentido con mayor tráfico.

La **PCA y la AASHTO**, como avanzada tecnológica, sólo consideran los vehículos pesados, tales como camiones, autobuses, etc. en el cálculo de la estructura, con carga superior a 5 t. Este tipo de vehículos, generalmente, corresponden a 6 o más ruedas; los de peso inferior o vehículos ligeros como camionetas o tractores sin carga, provocan un efecto mínimo sobre el pavimento y no son considerados en los cálculos estructurales del pavimento rígido.

Ilustración 6. Vehículos de diseño utilizados por la PCA; AASHTO y su tipología en el diagrama de cargas permisibles para las vías principales de Nicaragua

Tipo de Vehículo PCA-AASHTO
A2
B2
B3
B4
C2
C3
C4
T2-S2
T3-S2
T3-S3
T3-S2-R2
T3-S2-R3
T3-S2-R4

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2 I1		4.50	9.00					13.50
C3 I2		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.
b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente (MORA, 2009)

8. METODOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Para satisfacer adecuadamente las condiciones tanto del suelo, carga y tráfico a los que van a estar sometidos los pavimentos, se deben utilizar los métodos de la American Association of State Highways and Transportation Officials (Método AASTHO) y el de la Portland Cement Association (Método PCA).

8.1 Método PCA, Reseña Histórica

Según el (Transportation Research Circular, 2007), en 1966 la PCA introdujo el primer procedimiento mecanístico-empírico para el diseño de espesores de pavimentos de concreto. El método fue desarrollado por P. Fordyce y R. Packard para pavimentos de concreto simple, conjuntas y sin dovelas, basados en los análisis desarrollados por Westergaard y presentándolos en cartas de influencia realizadas por Pickett y Ray. Los resultados permitían seleccionar un espesor basado en consideraciones de daño acumulado en fatiga. Posteriormente los resultados de la AASHTO Road Test permitieron calibrar la metodología para el diseño. Posteriormente la metodología de diseño fue mejorada a través de recomendaciones de investigadores como E. J. Yoder, G. Ray, R. Packard y B. Colley de la PCA, con la llegada de las computadoras y el desarrollo de la metodología de elemento finito. Los procedimientos de diseño incluyeron la influencia de barras de dovela y del confinamiento lateral. En 1977 Darter y Barenberg desarrollaron un procedimiento de diseño para la Federal Highway Administration (FHWA) y Tayabji, Colley y Packard para la PCA en 1984, considerando además de la fatiga, los efectos de bombeo o “pumping”.

Con este procedimiento la PCA introdujo una nueva metodología de diseño en 1984 (la versión vigente del método), basado en un análisis de elemento finito, no solamente considerando fatiga sino que también considerando el criterio de erosión. Así mismo, la metodología permitió considerar el uso de dovelas en juntas y de elementos para dar apoyo lateral a la losa de concreto. En general, el método de diseño de la PCA está basado en:

1. Análisis comprensivo de esfuerzos en el concreto y deflexiones en las juntas del pavimento, esquinas, y bordes, por un programa de computadora de elemento finito.
2. Modelos y pruebas a escala verdadera como la Arlington Test y varios proyectos de investigación dirigidos por la PCA y otras agencias acerca de sub-bases, juntas y hombros de concreto.
3. Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico controlado, tales como la Bates Test Road, the Pittsburg Test Highway, the Maryland Road Test, the AASHO Road Test, y estudios de pavimentos de autopistas en servicio realizado por varios departamentos de estado de transporte.
4. El desempeño de pavimentos construidos normalmente sujetos a tráfico normal.

8.2. Filosofía de diseño estructural de la PCA, edición 1984

El método de diseño de la Portland Cement Association, es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto hidráulico. Los aspectos indicados en éste documento se basan principalmente en lo indicado en el manual de diseño de la PCA (Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements) edición 1984.

8.2.1. Criterios de diseño

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de falla: el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y el criterio del esfuerzo de fatiga.

- a) El criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas, el cual reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo (erosión del terreno de soporte de la losa de concreto) y diferencias de elevaciones en las juntas.
- b) El criterio del esfuerzo de fatiga, el cual reconoce que el pavimento pueda fallar debido a excesivas repeticiones de carga.

A continuación se indican los principales aspectos relacionados con cada uno de los criterios de falla antes referidos.

8.2.2. Erosión

El criterio de erosión es utilizado para limitar la deflexión que se produce en los bordes de las losas de concreto, juntas y esquinas del pavimento por efecto del bombeo. El bombeo es definido por la University of Washington of Civil and Environmental Engineering, (WSDOT Pavement Design), como “el movimiento de material por debajo de la losa de concreto o eyección de material desde abajo de la losa, como resultado de la presión del agua. El agua acumulada por debajo de la losa será presurizada cuando la losa flexione debido a carga”.

El bombeo ocurre debido a muchas repeticiones de cargas de ejes pesados en las esquinas de la losa de concreto y bordes, erosión de subrasante, sub base, y materiales del hombro; lo cual genera huecos bajo y junto a la losa. La erosión se cuantifica en términos de porcentaje del daño total por erosión, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

8.2.3. Fatiga

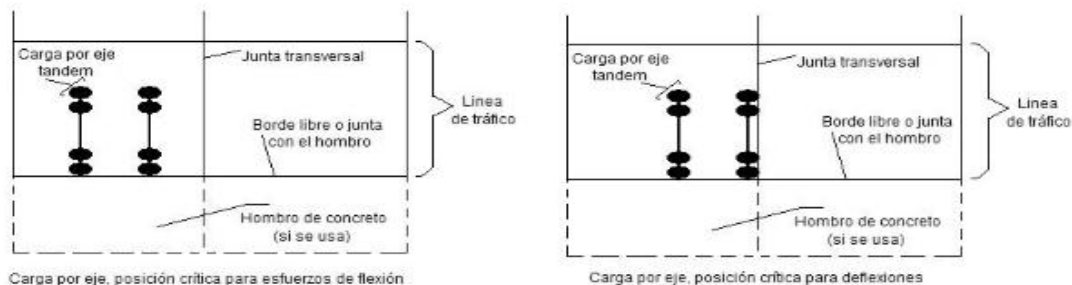
El análisis del criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento, ante la aplicación de cargas sobre las losas, lo cual puede producir esfuerzos excesivos, que generan agrietamientos. El objetivo es mantener los esfuerzos en el concreto, que constituye la losa, dentro de los límites de seguridad, basándose en el factor de relación de esfuerzos, el cual corresponde al esfuerzo de flexión dividido entre el módulo de ruptura del concreto a los 28 días.

La fatiga se cuantifica en términos de porcentaje de absorción de la fatiga, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

Asimismo, algunos aspectos de diseño, adicionales a la determinación del espesor, tomados en cuenta por el método de diseño de la PCA, para asegurar el funcionamiento y la vida de los pavimentos de concreto, se mencionan a continuación:

- ✓ Soporte razonablemente uniforme.
- ✓ Prevención de bombeo en sub base relativamente delgada no tratada o tratada con cemento, en proyectos donde el tráfico pesado esperado sea lo suficientemente grande, causando bombeo.
- ✓ Uso de un diseño de junta que proporcionará adecuada transferencia de carga; que permita el uso de selladores en las juntas de ser requeridos para la efectividad de las mismas.
- ✓ Uso de un diseño de mezcla de concreto y agregados que proveerán concreto de calidad con la resistencia y durabilidad necesaria para una larga vida bajo, las condiciones de exposición actuales.

Para los pavimentos con juntas, la PCA determinó las posiciones críticas de las cargas por eje, las cuales se muestran en la siguiente figura:



Fuente de ilustración: (Cornejo, 2009)

De acuerdo a lo indicado en el manual de diseño de la PCA, las deflexiones críticas en el pavimento ocurren en la esquina de la losa de concreto, donde la carga del eje está posicionada en la junta, con las llantas en o muy cerca de la esquina. Cabe indicar que

al proporcionar apoyo lateral al pavimento (hombro), se reducen considerablemente las deflexiones en la esquina. La ubicación de las cargas de las llantas del tráfico pesado en la parte externa del borde del pavimento crea condiciones más severas que cualquier otra posición de carga; al mover hacia dentro la posición de las llantas, unas pocas pulgadas desde el borde, los efectos decrecen substancialmente.

Para el análisis por esfuerzo de fatiga, la PCA toma la condición más severa: 6% de tráfico pesado para el análisis por erosión, el cual involucra deflexión en la esquina de la losa, la PCA asume el caso más severo, otra vez 6% de tráfico pesado en el borde. Donde no hay apoyo lateral, las cargas en las esquinas son las críticas (6% del tráfico pesado); y donde hay apoyo lateral, el mayor número de cargas hacia el interior desde la esquina del pavimento son las críticas (94% del tráfico pesado). Lo anterior resulta de estudios realizados por Taragin en 1958, los cuales mostraron que muy poco del tráfico pesado circula justo en el borde del pavimento, para carriles de 12 pies con hombros sin pavimentar, la mayoría del tráfico pesado circula con sus llantas exteriores ubicadas aproximadamente a dos pies del borde.

8.3. Factores de Diseño

El diseño de espesores se realiza basándose principalmente en cinco factores:

1. Resistencia a la flexión del concreto, (Módulo de ruptura, MR).
2. Soporte de la subrasante, o de la combinación de sub base y subrasante, (K).
3. Período de diseño.
4. Los pesos, frecuencias, y tipo de tráfico pesado que el pavimento soportará, (Tráfico).
5. Factor de seguridad para las cargas, (FS).

Los siguientes aspectos están basados principalmente en el manual de diseño de la PCA, "Thickness Design For Concrete Highway and Street Pavements".

8.4. Resistencia a la flexión del concreto

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Se obtiene mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 in x 6 in (150 mm x 150 mm) de sección transversal y un claro de al menos tres veces el espesor; la resistencia a la flexión se expresa como el módulo de ruptura y es determinada mediante el método de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios).

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto se aplica en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, la cual controla el agrietamiento del pavimento sujeto a cargas repetitivas de tráfico pesado.

8.5. Soporte de la sub base y de la sub rasante

El soporte de la sub base y de la subrasante se define en términos del módulo de reacción de la subrasante (K), el cual corresponde a la carga aplicada (libras) en un área (in²) cargada (un plato de 30 in de diámetro) dividida entre la deflexión producida ante dicha carga (in). Cuando se utiliza una sub base se tiene un incremento en el valor k, el cual debe ser usado en el diseño del espesor [PCA, 1984: p.6].

8.6. Período de diseño

En la publicación de la PCA, el término período de diseño es usado en lugar del término vida del pavimento. El término período de diseño es algunas veces considerado como sinónimo del término período de análisis de tráfico. El período de diseño seleccionado interviene en el diseño del espesor, ya que determina la cantidad de años que el pavimento debe funcionar desempeñándose adecuadamente, y por lo tanto determina también, la cantidad de tráfico pesado que debe soportar el pavimento.

8.7. Tráfico

El número y pesos de cargas por ejes pesados esperados durante el período de diseño, son factores importantes en el diseño de espesores de pavimentos de concreto. Estos se derivan de estimados de las siguientes cargas de tráfico: ADT (tráfico promedio diario en ambas direcciones, todos los vehículos, "Average Daily

Traffic”); ADTT (tráfico pesado promedio diario en ambas direcciones, “Average Daily Truck Traffic”) y de cargas por ejes de tráfico pesado.

La información referente al tráfico es empleada para determinar el número de repeticiones esperadas de cada tipo de eje durante todo el período de diseño. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo son el tránsito promedio diario anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño, los cuales se muestran en la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Numero de Repeticiones Esperadas

$$Re = TPDA \times \%_{\text{Tipo de eje}} \times F_{\text{Sentido}} \times F_{\text{Carril}} \times P_{\text{diseño}} \times F_{\text{Crecimiento Anual}} \times 365$$

El método de diseño de la PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir, que se desprecie todo el tráfico ligero como automóviles, paneles y pick-ups.

8.8. Factores de seguridad para las cargas

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (FSC o LSF por sus siglas en inglés, Load Security Factor), la PCA recomienda los siguientes:

- ✓ Para vías interestatales y otros proyectos multicarril, donde se espera un flujo de tránsito ininterrumpido, con un alto volumen de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.2.
- ✓ Para autopistas y arterias principales donde se espera un volumen moderado de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.1.

- ✓ Para caminos, calles residenciales, y otras vías que soportarán bajos volúmenes de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.0.

En casos especiales, podría justificarse el uso de un factor de seguridad de carga tan alto como 1.3, para mantener un nivel de serviciabilidad mayor que el normal a través del período de diseño.

8.9. Formulario y Flujograma de Diseño

En el manual de diseño: “Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements” se presenta un formulario para el cálculo del espesor del pavimento, con la finalidad de ayudar al usuario en su procedimiento de diseño.

También existen software como el PCAPAV, desarrollado por la PCA en 1990; BS-PCA, desarrollado por los ingenieros colombianos Efraín Solano y Carlos Benavides en el 2003; y el PCAWin, desarrollado en la Universidad de Illinois en el 2000, los tres basados en el método de la PCA publicado en 1984.

El formulario para el cálculo de espesores, contenido en el manual de diseño, es el siguiente:

Cálculo del espesor del pavimento

Proyecto: _____

Espesor de prueba: _____ in Dovelas en las juntas: si _____ no _____

Subbase-Subrasante, k: _____ pci Hombro de concreto: si _____ no _____

Módulo de ruptura, MR: _____ psi Periodo de diseño: _____ años

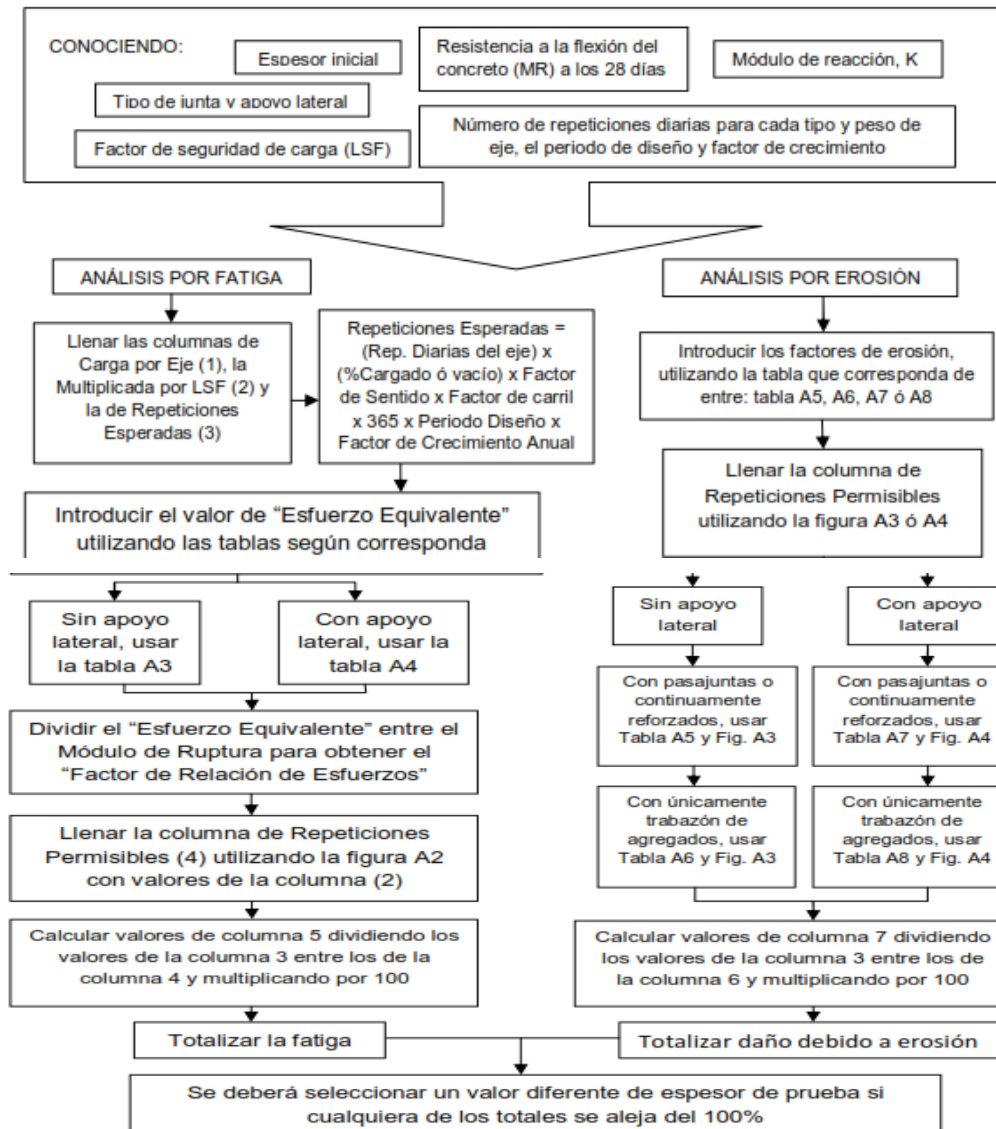
Factor de seguridad de carga, LSF _____

Carga por eje, kips	Multiplicada por LSF	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones permisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones permisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo equivalente _____				10. Factor de erosión _____		
9. Factor de relación de esfuerzo _____						
Ejes Sencillos						
11. Esfuerzo equivalente _____				13. Factor de erosión _____		
12. Factor de relación de esfuerzo _____						
Ejes Tandem						
14. Esfuerzo equivalente _____				16. Factor de erosión _____		
15. Factor de relación de esfuerzo _____						
Ejes Tridem						
Total				Total		

Fuente de Formulario: (Cornejo, 2009)

Cabe señalar que el espesor de losa se considerará no adecuado si cualquiera de los totales del factor de fatiga y de erosión son mayores al 100%; por lo que habrá que utilizar un espesor mayor para hacer otra iteración; si la absorción total de fatiga y el daño total de erosión fueran mucho menores que 100%, será necesario utilizar un espesor menor para hacer una nueva iteración; seguir iterando hasta obtener un espesor de losa de concreto óptimo con ambos totales del factor de fatiga y del factor de erosión cercanos al 100%.

Flujograma de diseño método PCA



Fuente de Flujograma: (Cornejo, 2009)

8.10. Tablas y figuras para el diseño de espesores de pavimento rígido utilizado por el método PCA, edición de 1984.

Tablas proporcionadas por la PCA para determinar el incremento en el valor k al utilizar subbase.

Tabla A.1. Efecto de subbase no tratada en el módulo de reacción, Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, PCA [1984: p. 6]

Valor k de la subrasante, pci	Valor de la subbase k, pci			
	4 plg	6 plg	9 plg	12 plg
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Tabla A.2. Efecto de subbase tratada con cemento en el módulo de reacción, Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, PCA [1984: p. 6]

Valor k de la subrasante, pci	Valor de la subbase k, pci			
	4 plg	6 plg	9 plg	12 plg
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Fuente de Tablas A1 y A2: (Cornejo, 2009)

8.10.1. Distribución del tráfico y factor de crecimiento anual

El factor de sentido, en la mayoría de casos, se asume que los pesos y volúmenes de vehículos pesados viajando en cada dirección son iguales, por lo que se considera un factor de sentido igual a 0.5. Si la vía será de un solo sentido, el factor será igual a 1.0. Se debe analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril, para lo cual la PCA recomienda utilizar la figura A.1.

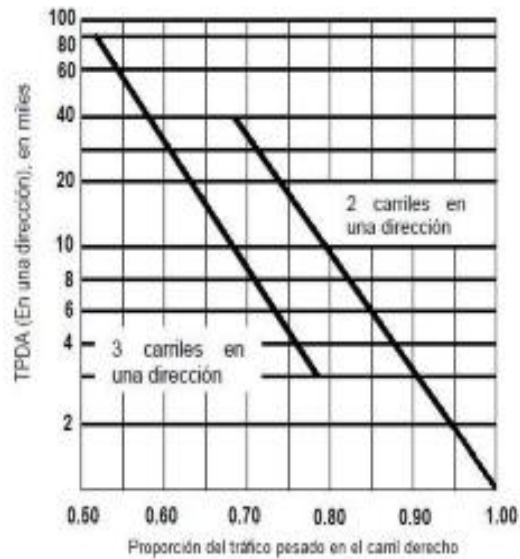


Figura A.1. Proporción de tráfico pesado en el carril derecho de una carretera de 2 ó 3 carriles. Adaptado de: "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements", PCA [1984: p.9]

Para obtener el factor de crecimiento anual se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 8: Factor de Crecimiento Anual

$$FC = \frac{(1+g)^n - 1}{(g) \times (n)}$$

Donde:

FC = Factor de Crecimiento Anual.

n = Vida útil en años.

g = Tasa de crecimiento anual, en %

Fuente de Ecuación 8: (Cornejo, 2009)

Nomograma para realizar análisis por fatiga (repeticiones permisibles)

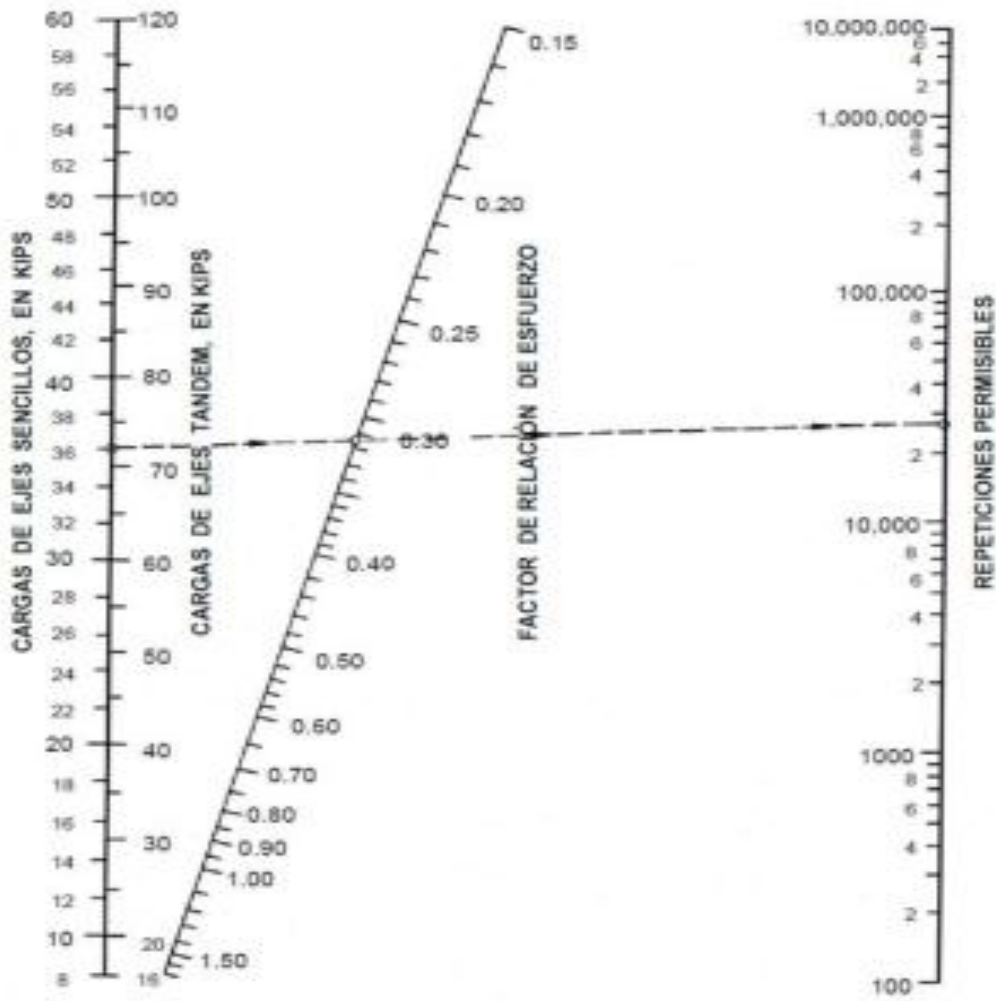


Figura A.2. Análisis de fatiga. Repeticiones admisibles basadas en la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin hombros de concreto. Adaptado de PCA [1984: p. 15]

Fuente de Nomograma: (Cornejo, 2009)

Nomograma para realizar análisis por erosión (repeticiones permisibles)

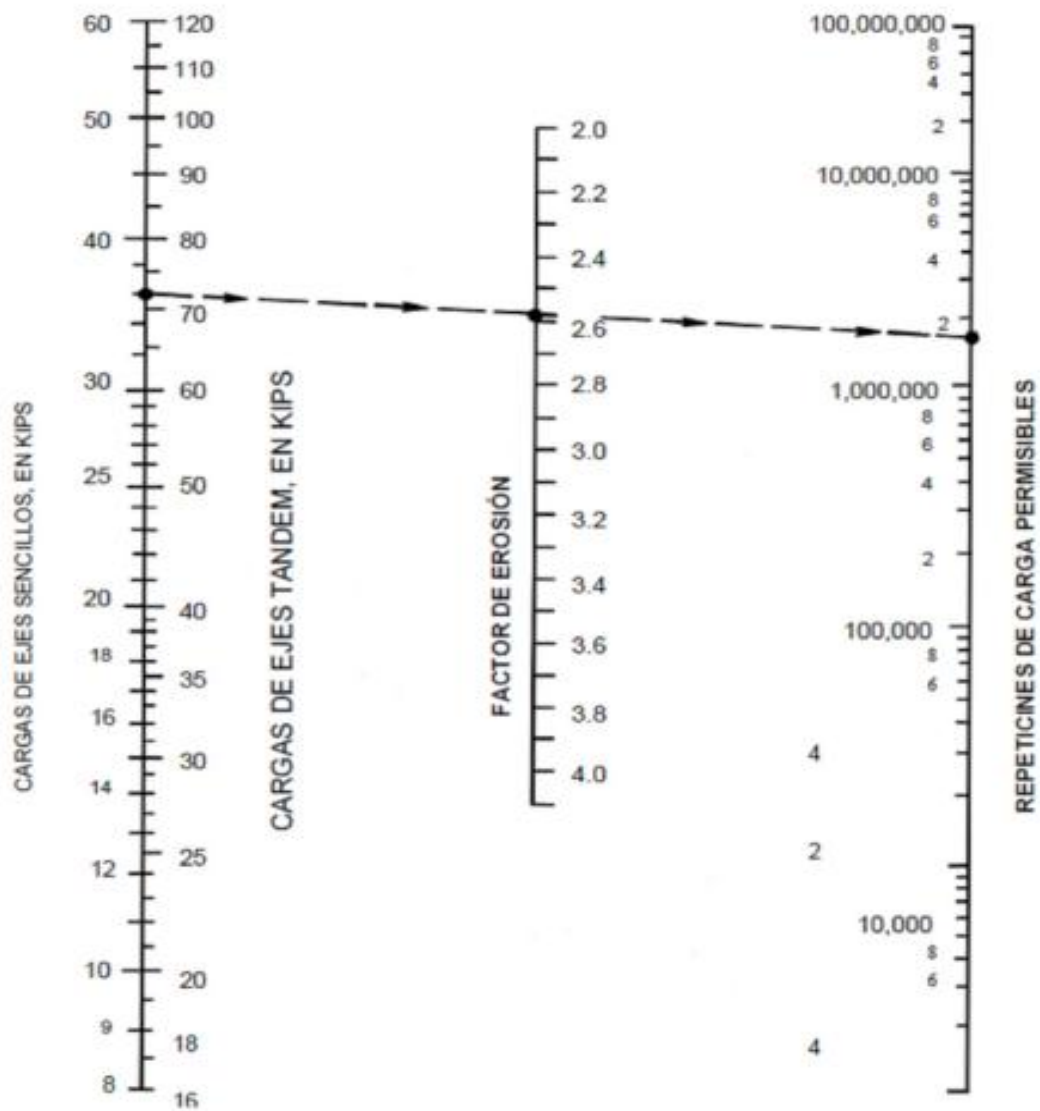


Figura A.3. Análisis de erosión, sin hombros de concreto. Repeticiones admisibles basadas en el factor de erosión. Adaptado de PCA [1954: p.17]

Fuente de Nomograma: (Cornejo, 2009)

Nomograma para realizar análisis por erosión con hombros laterales (repeticiones permisibles)

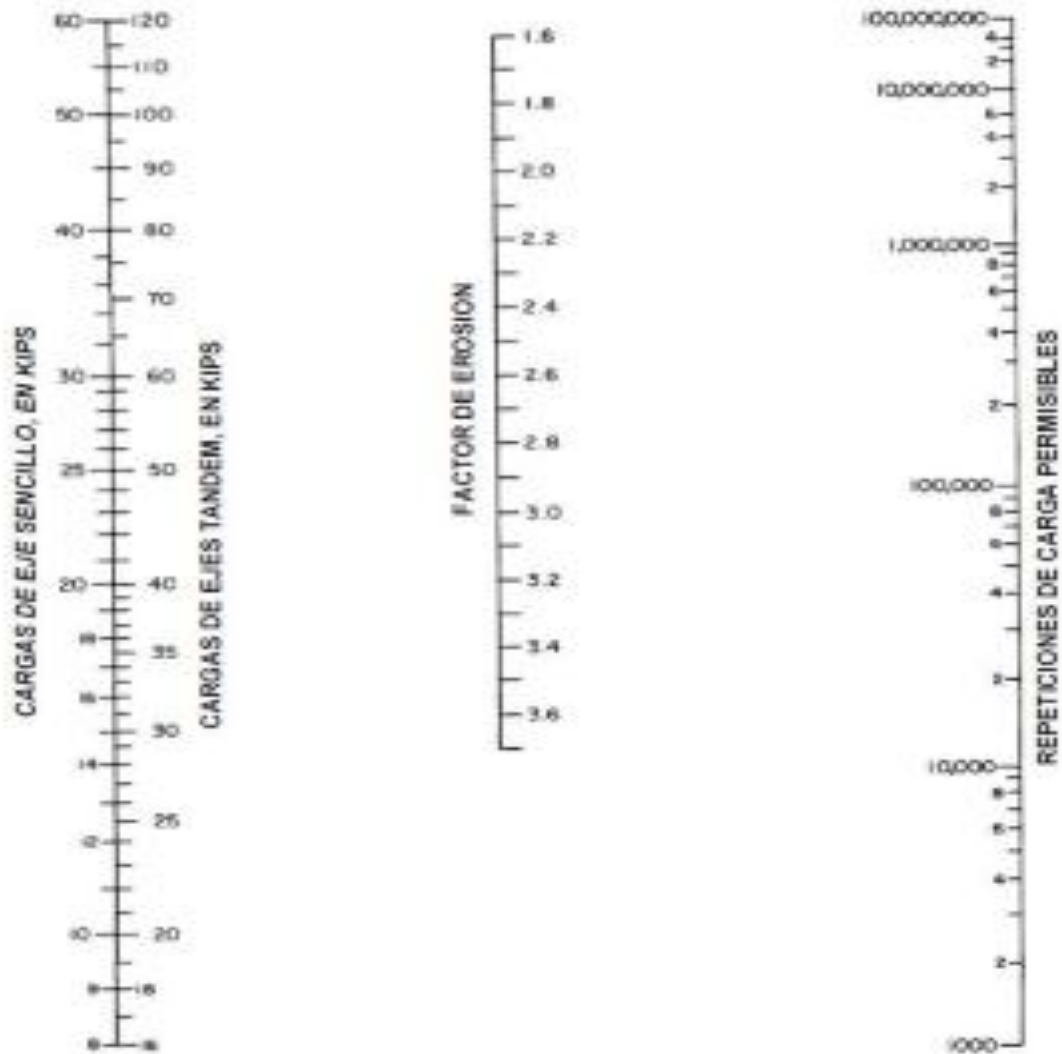


Figura A.4. Análisis de erosión, con hombros de concreto. Repeticiones admisibles basadas en el factor de erosión. Adaptado de PCA [1984: p. 19]

Fuente de Nomograma: (Cornejo, 2009)

Tabla para ejes sencillos, Tándem y Tridem de la PCA, sin apoyo lateral

**Esfuerzo equivalente - Sin Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem**

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	825	679	510	726	585	456	671	542	437	634	516	428	584	486	419	523	457	414	484	443	412
4.5	699	586	439	616	500	380	571	460	359	540	435	349	498	406	339	448	378	331	417	363	328
5.0	602	516	387	531	436	328	493	399	305	467	376	293	432	349	282	390	321	272	363	307	269
5.5	526	461	347	464	387	290	431	353	266	409	331	253	379	305	240	343	278	230	320	264	226
6.0	465	416	315	411	348	261	382	316	237	362	296	223	336	271	209	304	246	198	285	232	193
6.5	417	380	289	367	317	238	341	286	214	324	267	201	300	244	186	273	220	173	256	207	168
7.0	375	349	267	331	290	219	307	262	196	292	244	183	272	222	167	246	199	154	231	186	148
7.5	340	323	247	300	268	203	279	241	181	265	224	168	246	203	153	224	181	139	210	169	132
8.0	311	300	230	274	249	189	255	223	168	242	208	156	225	188	141	205	167	126	192	155	120
8.5	285	281	215	252	232	177	234	208	158	222	193	145	206	174	131	188	154	116	177	143	109
9.0	264	264	200	232	218	166	216	195	148	205	181	136	190	163	122	174	144	108	163	133	101
9.5	245	248	187	215	205	157	200	183	140	190	170	129	176	153	115	161	134	101	151	124	93
10.0	228	235	174	200	193	148	186	173	132	177	160	122	164	144	108	150	126	95	141	117	87
10.5	213	222	163	187	183	140	174	164	125	165	151	115	153	136	103	140	119	89	132	110	82
11.0	200	211	153	175	174	132	163	155	119	154	143	110	144	129	98	131	113	85	123	104	78
11.5	188	201	142	165	165	125	153	148	113	145	136	104	135	122	93	123	107	80	116	98	74
12.0	177	192	133	155	158	119	144	141	108	137	130	100	127	116	89	116	102	77	109	93	70
12.5	168	183	123	147	151	113	136	135	103	129	124	95	120	111	85	109	97	73	103	89	67
13.0	159	176	114	139	144	107	129	129	98	122	119	91	113	106	81	103	93	70	97	85	64
13.5	152	168	105	132	138	101	122	123	93	116	114	87	107	102	78	98	89	67	92	81	61
14.0	144	162	97	125	133	96	116	118	89	110	109	83	102	98	75	93	85	65	88	78	59

Tabla A.3. Esfuerzo equivalente para pavimentos sin apoyo lateral. [CEMEX, 2000: p.88]

**Factores de Erosión - Con Pasajuntas - Sin Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem**

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.74	3.83	3.89	3.73	3.79	3.82	3.72	3.75	3.75	3.71	3.73	3.70	3.70	3.70	3.61	3.68	3.67	3.53
4.5	3.59	3.70	3.78	3.57	3.65	3.69	3.56	3.61	3.62	3.55	3.58	3.57	3.54	3.55	3.50	3.52	3.53	3.44
5.0	3.45	3.58	3.68	3.43	3.52	3.58	3.42	3.48	3.50	3.41	3.45	3.46	3.40	3.42	3.40	3.38	3.40	3.34
5.5	3.33	3.47	3.59	3.31	3.41	3.49	3.29	3.36	3.40	3.28	3.33	3.36	3.27	3.30	3.30	3.26	3.28	3.25
6.0	3.22	3.38	3.51	3.19	3.31	3.40	3.18	3.26	3.31	3.17	3.23	3.26	3.15	3.20	3.21	3.14	3.17	3.16
6.5	3.11	3.29	3.44	3.09	3.22	3.33	3.07	3.16	3.23	3.06	3.13	3.18	3.05	3.10	3.12	3.03	3.07	3.08
7.0	3.02	3.21	3.37	2.99	3.14	3.26	2.97	3.08	3.16	2.96	3.05	3.10	2.95	3.01	3.04	2.94	2.98	3.00
7.5	2.93	3.14	3.31	2.91	3.06	3.20	2.88	3.00	3.09	2.87	2.97	3.03	2.86	2.93	2.97	2.84	2.90	2.93
8.0	2.85	3.07	3.26	2.82	2.99	3.14	2.80	2.93	3.03	2.79	2.89	2.97	2.77	2.85	2.90	2.76	2.82	2.86
8.5	2.77	3.01	3.20	2.74	2.93	3.09	2.72	2.86	2.97	2.71	2.82	2.91	2.69	2.78	2.84	2.68	2.75	2.79
9.0	2.70	2.96	3.15	2.67	2.87	3.04	2.65	2.80	2.92	2.63	2.76	2.86	2.62	2.71	2.78	2.61	2.68	2.73
9.5	2.63	2.90	3.11	2.60	2.81	2.99	2.58	2.74	2.87	2.56	2.70	2.81	2.55	2.65	2.73	2.54	2.62	2.68
10.0	2.56	2.85	3.06	2.54	2.76	2.94	2.51	2.68	2.83	2.50	2.64	2.76	2.48	2.59	2.68	2.47	2.56	2.63
10.5	2.50	2.81	3.02	2.47	2.71	2.90	2.45	2.63	2.78	2.44	2.59	2.72	2.42	2.54	2.64	2.41	2.51	2.58
11.0	2.44	2.76	2.98	2.42	2.67	2.86	2.39	2.58	2.74	2.38	2.54	2.68	2.36	2.49	2.59	2.35	2.45	2.54
11.5	2.38	2.72	2.94	2.36	2.62	2.82	2.33	2.54	2.70	2.32	2.49	2.64	2.30	2.44	2.55	2.29	2.40	2.50
12.0	2.33	2.68	2.91	2.30	2.58	2.79	2.28	2.49	2.67	2.26	2.44	2.60	2.25	2.39	2.51	2.23	2.36	2.46
12.5	2.28	2.64	2.87	2.25	2.54	2.75	2.23	2.45	2.63	2.21	2.40	2.56	2.19	2.35	2.48	2.18	2.31	2.42
13.0	2.23	2.61	2.84	2.20	2.50	2.72	2.18	2.41	2.60	2.16	2.36	2.53	2.14	2.30	2.44	2.13	2.27	2.39
13.5	2.18	2.57	2.81	2.15	2.47	2.68	2.13	2.37	2.56	2.11	2.32	2.49	2.09	2.26	2.41	2.08	2.23	2.35
14.0	2.13	2.54	2.78	2.11	2.43	2.65	2.08	2.34	2.53	2.07	2.29	2.46	2.05	2.23	2.38	2.03	2.19	2.32

Tabla A.5. Factores de erosión para pavimentos con pasajuntas y sin apoyo lateral. [CEMEX, 2000: p.91]

Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Sin Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.94	4.03	4.06	3.91	3.95	3.97	3.88	3.89	3.88	3.86	3.86	3.82	3.82	3.83	3.74	3.77	3.80	3.67
4.5	3.79	3.91	3.95	3.76	3.82	3.85	3.73	3.75	3.76	3.71	3.72	3.70	3.68	3.68	3.63	3.64	3.65	3.56
5.0	3.66	3.81	3.85	3.63	3.72	3.75	3.60	3.64	3.66	3.58	3.60	3.60	3.55	3.55	3.52	3.52	3.52	3.46
5.5	3.54	3.72	3.76	3.51	3.62	3.66	3.48	3.53	3.56	3.46	3.49	3.51	3.43	3.44	3.43	3.41	3.40	3.37
6.0	3.44	3.64	3.68	3.40	3.53	3.58	3.37	3.44	3.48	3.35	3.40	3.42	3.32	3.34	3.35	3.30	3.30	3.29
6.5	3.34	3.56	3.61	3.30	3.46	3.50	3.26	3.36	3.40	3.25	3.31	3.34	3.22	3.25	3.27	3.20	3.21	3.21
7.0	3.26	3.49	3.54	3.21	3.39	3.43	3.17	3.29	3.33	3.15	3.24	3.27	3.13	3.17	3.20	3.11	3.13	3.14
7.5	3.18	3.43	3.48	3.13	3.32	3.37	3.09	3.22	3.26	3.07	3.17	3.20	3.04	3.10	3.13	3.02	3.06	3.08
8.0	3.11	3.37	3.42	3.05	3.26	3.31	3.01	3.16	3.20	2.99	3.10	3.14	2.96	3.03	3.07	2.94	2.99	3.01
8.5	3.04	3.32	3.37	2.98	3.21	3.25	2.93	3.10	3.15	2.91	3.04	3.09	2.88	2.97	3.01	2.87	2.93	2.96
9.0	2.98	3.27	3.32	2.91	3.16	3.20	2.86	3.05	3.09	2.84	2.99	3.03	2.81	2.92	2.95	2.79	2.87	2.90
9.5	2.92	3.22	3.27	2.85	3.11	3.15	2.80	3.00	3.04	2.77	2.94	2.98	2.75	2.86	2.90	2.73	2.81	2.85
10.0	2.86	3.18	3.22	2.79	3.06	3.11	2.74	2.95	3.00	2.71	2.89	2.93	2.68	2.81	2.85	2.66	2.76	2.80
10.5	2.81	3.14	3.18	2.74	3.02	3.06	2.68	2.91	2.95	2.65	2.84	2.89	2.62	2.76	2.81	2.60	2.72	2.76
11.0	2.77	3.10	3.14	2.69	2.98	3.02	2.63	2.86	2.91	2.60	2.80	2.84	2.57	2.72	2.77	2.54	2.67	2.71
11.5	2.72	3.06	3.10	2.64	2.94	2.98	2.58	2.82	2.87	2.55	2.76	2.80	2.51	2.68	2.72	2.49	2.63	2.67
12.0	2.68	3.03	3.07	2.60	2.90	2.95	2.53	2.78	2.83	2.50	2.72	2.76	2.46	2.64	2.68	2.44	2.59	2.63
12.5	2.64	2.99	3.03	2.55	2.87	2.91	2.48	2.75	2.79	2.45	2.68	2.73	2.41	2.60	2.65	2.39	2.55	2.59
13.0	2.60	2.96	3.00	2.51	2.83	2.88	2.44	2.71	2.76	2.40	2.65	2.69	2.36	2.56	2.61	2.34	2.51	2.56
13.5	2.56	2.93	2.97	2.47	2.80	2.84	2.40	2.68	2.73	2.36	2.61	2.66	2.32	2.53	2.58	2.30	2.48	2.52
14.0	2.53	2.90	2.94	2.44	2.77	2.81	2.36	2.65	2.69	2.32	2.58	2.63	2.28	2.50	2.54	2.25	2.44	2.49

Tabla A.6. Factores de erosión para pavimentos sin pasajuntas y sin apoyo lateral. [CEMEX, 2000: p.92]

Tabla para ejes sencillos, Tándem y Tridem de la PCA, con apoyo lateral

Esfuerzo equivalente - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	388	360	383	384	359
4.5	547	461	365	479	400	328	444	372	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
5.0	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	258	341	290	250	311	274	244	294	267	242
5.5	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
6.0	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	196	270	225	187	247	210	180	234	203	178
6.5	334	295	225	294	251	196	274	230	183	260	218	175	243	203	166	223	188	159	212	180	156
7.0	302	270	204	266	230	178	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	170	142	192	162	138
7.5	275	250	187	243	211	162	226	193	151	215	182	143	201	168	135	185	155	127	176	148	124
8.0	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	123	170	142	116	162	135	112
8.5	232	216	159	205	182	138	191	166	128	182	156	121	170	144	113	157	131	106	150	125	102
9.0	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
9.5	200	190	137	176	160	120	164	146	111	157	137	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
10.0	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
10.5	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	86	119	101	79	113	95	76
11.0	164	161	111	144	135	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
11.5	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
12.0	145	146	97	128	122	88	120	111	82	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
12.5	137	139	91	121	117	83	113	106	78	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
13.0	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
13.5	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	83	62	85	74	57	81	70	54
14.0	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Tabla A.4. Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral. [CEMEX, 2000: p.89]

Propuesta de Manual de Diseño y Construcción de carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos para Nicaragua en el Año 2014

Factores de Erosión - Con Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.28	3.30	3.33	3.24	3.20	3.20	3.21	3.13	3.13	3.19	3.10	3.10	3.15	3.09	3.05	3.12	3.08	3.00
4.5	3.13	3.19	3.24	3.09	3.08	3.10	3.06	3.00	2.99	3.04	2.96	2.95	3.01	3.01	2.91	2.98	2.91	2.87
5.0	3.01	3.09	3.16	2.97	2.98	3.01	2.93	2.89	2.89	2.90	2.84	2.83	2.87	2.87	2.79	2.85	2.77	2.75
5.5	2.90	3.01	3.09	2.85	2.89	2.94	2.81	2.79	2.80	2.79	2.74	2.74	2.76	2.76	2.67	2.73	2.65	2.64
6.0	2.79	2.93	3.03	2.75	2.82	2.87	2.70	2.71	2.73	2.68	2.65	2.66	2.65	2.65	2.58	2.62	2.54	2.54
6.5	2.70	2.86	2.97	2.65	2.75	2.82	2.61	2.63	2.67	2.58	2.57	2.59	2.55	2.55	2.50	2.52	2.45	2.45
7.0	2.61	2.79	2.92	2.56	2.68	2.76	2.52	2.56	2.61	2.49	2.50	2.53	2.46	2.46	2.43	2.43	2.38	2.37
7.5	2.53	2.73	2.87	2.48	2.62	2.72	2.44	2.50	2.56	2.41	2.44	2.47	2.38	2.38	2.37	2.35	2.31	2.31
8.0	2.46	2.68	2.83	2.41	2.56	2.67	2.36	2.44	2.51	2.33	2.38	2.42	2.30	2.30	2.32	2.27	2.24	2.25
8.5	2.39	2.63	2.79	2.34	2.51	2.63	2.29	2.39	2.47	2.26	2.32	2.38	2.22	2.22	2.27	2.20	2.18	2.20
9.0	2.32	2.57	2.75	2.27	2.46	2.59	2.22	2.34	2.43	2.19	2.27	2.34	2.16	2.16	2.23	2.13	2.13	2.15
9.5	2.26	2.52	2.71	2.21	2.41	2.55	2.16	2.29	2.39	2.13	2.22	2.30	2.09	2.09	2.18	2.07	2.08	2.11
10.0	2.20	2.47	2.67	2.15	2.36	2.51	2.10	2.25	2.35	2.07	2.18	2.26	2.03	2.03	2.15	2.01	2.03	2.07
10.5	2.15	2.43	2.64	2.09	2.32	2.48	2.04	2.20	2.32	2.01	2.14	2.23	1.97	1.97	2.11	1.95	1.99	2.04
11.0	2.10	2.39	2.60	2.04	2.28	2.45	1.99	2.16	2.29	1.95	2.09	2.20	1.92	1.92	2.08	1.89	1.95	2.00
11.5	2.05	2.35	2.57	1.99	2.24	2.42	1.93	2.12	2.26	1.90	2.05	2.16	1.87	1.87	2.05	1.84	1.91	1.97
12.0	2.00	2.31	2.54	1.94	2.20	2.39	1.88	2.09	2.23	1.85	2.02	2.13	1.82	1.82	2.02	1.79	1.87	1.94
12.5	1.95	2.27	2.51	1.89	2.16	2.36	1.84	2.05	2.20	1.81	1.96	2.11	1.77	1.77	1.99	1.74	1.84	1.91
13.0	1.91	2.23	2.48	1.85	2.13	2.33	1.79	2.01	2.17	1.76	1.95	2.08	1.72	1.72	1.96	1.70	1.80	1.88
13.5	1.86	2.20	2.46	1.81	2.09	2.30	1.75	1.98	2.14	1.72	1.91	2.05	1.68	1.68	1.93	1.65	1.77	1.86
14.0	1.82	2.17	2.43	1.76	2.06	2.28	1.71	1.95	2.12	1.67	1.88	2.03	1.64	1.64	1.91	1.61	1.74	1.83

Tabla A.7. Factores de erosión para pavimentos con pasajuntas y con apoyo lateral. [CEMEX, 2000: p.95]

Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.46	3.49	3.50	3.42	3.39	3.38	3.38	3.32	3.30	3.36	3.29	3.25	3.32	3.26	3.21	3.28	3.24	3.16
4.5	3.32	3.39	3.40	3.28	3.28	3.28	3.24	3.19	3.18	3.22	3.16	3.13	3.19	3.12	3.08	3.15	3.09	3.04
5.0	3.20	3.30	3.32	3.16	3.18	3.19	3.12	3.09	3.08	3.10	3.05	3.03	3.07	3.00	2.97	3.04	2.97	2.93
5.5	3.10	3.22	3.26	3.05	3.10	3.11	3.01	3.00	3.00	2.99	2.95	2.94	2.96	2.90	2.87	2.93	2.86	2.83
6.0	3.00	3.15	3.20	2.95	3.02	3.05	2.90	2.92	2.92	2.88	2.87	2.86	2.86	2.81	2.79	2.83	2.77	2.74
6.5	2.91	3.08	3.41	2.86	2.96	2.99	2.81	2.85	2.86	2.79	2.79	2.79	2.76	2.73	2.72	2.74	2.68	2.67
7.0	2.83	3.02	3.09	2.77	2.90	2.94	2.73	2.78	2.80	2.70	2.72	2.73	2.68	2.66	2.65	2.65	2.61	2.60
7.5	2.76	2.97	3.05	2.70	2.84	2.89	2.65	2.72	2.75	2.62	2.66	2.67	2.60	2.59	2.59	2.57	2.54	2.54
8.0	2.69	2.92	3.01	2.63	2.79	2.84	2.57	2.67	2.70	2.55	2.61	2.62	2.52	2.53	2.54	2.50	2.48	2.48
8.5	2.63	2.88	2.97	2.56	2.74	2.80	2.51	2.62	2.65	2.48	2.55	2.58	2.45	2.48	2.49	2.43	2.43	2.43
9.0	2.57	2.83	2.94	2.50	2.70	2.77	2.44	2.57	2.61	2.42	2.51	2.53	2.39	2.43	2.44	2.36	2.38	2.38
9.5	2.51	2.79	2.91	2.44	2.65	2.73	2.38	2.53	2.58	2.36	2.46	2.49	2.33	2.38	2.40	2.30	2.33	2.34
10.0	2.46	2.75	2.88	2.39	2.61	2.70	2.33	2.49	2.54	2.30	2.42	2.46	2.27	2.34	2.36	2.24	2.28	2.29
10.5	2.41	2.72	2.85	2.33	2.58	2.67	2.27	2.45	2.51	2.24	2.38	2.42	2.21	2.30	2.32	2.19	2.24	2.26
11.0	2.36	2.68	2.83	2.28	2.54	2.65	2.22	2.41	2.48	2.19	2.34	2.39	2.16	2.26	2.29	2.14	2.20	2.22
11.5	2.32	2.65	2.80	2.24	2.51	2.62	2.17	2.38	2.45	2.14	2.31	2.36	2.11	2.22	2.26	2.09	2.16	2.19
12.0	2.28	2.62	2.78	2.19	2.48	2.59	2.13	2.34	2.43	2.10	2.27	2.33	2.06	2.19	2.23	2.04	2.13	2.16
12.5	2.24	2.59	2.76	2.15	2.45	2.57	2.09	2.31	2.40	2.05	2.24	2.31	2.02	2.15	2.20	1.99	2.10	2.13
13.0	2.20	2.56	2.74	2.11	2.42	2.55	2.04	2.28	2.38	2.01	2.21	2.28	1.98	2.12	2.17	1.95	2.06	2.10
13.5	2.16	2.53	2.72	2.08	2.39	2.53	2.00	2.25	2.35	1.97	2.18	2.26	1.93	2.09	2.15	1.91	2.03	2.07
14.0	2.13	2.51	2.70	2.04	2.36	2.51	1.97	2.23	2.33	1.93	2.15	2.24	1.89	2.06	2.12	1.87	2.00	2.05

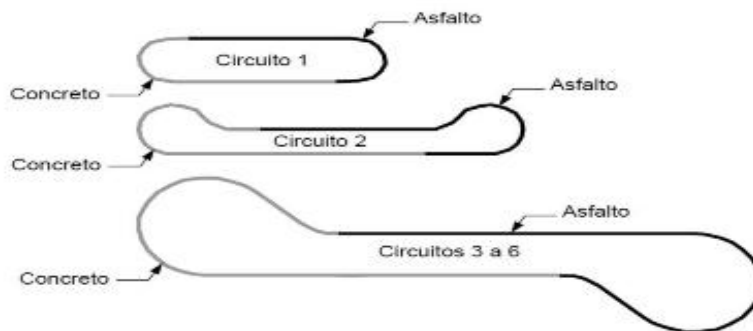
Tabla A.8. Factores de erosión para pavimentos sin pasajuntas y con apoyo lateral. [CEMEX, 2000: p.96]

Fuente (Cemex, 2002)

8.11 Método AASHTO, Reseña Histórica

Según el (Manual de Pavimentos Rígidos de CEMEX, 2000); El método de diseño que propone la AASHTO en la edición de 1993, se basa principalmente en la información y en los datos empíricos obtenidos de la prueba AASHTO Road Test, llevada a cabo durante el período de 1958 a 1960 en Ottawa Illinois. “El objetivo principal de esta prueba fue determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas que pudiesen ser usadas en el desarrollo de criterios y procedimientos de diseño de pavimentos”.

En la prueba se realizaron 6 circuitos de prueba de dos carriles cada uno, los cuales contaban con la mitad del tramo construido con pavimento rígido y la otra con pavimento flexible, se experimentaron 836 secciones con cerca de 200 combinaciones diferentes de superficies, bases y sub-bases. La planeación empezó en 1951, la construcción del proyecto en 1956 y el tráfico controlado se aplicó de octubre de 1958 a noviembre de 1960. Cada circuito consistía de dos carreteras paralelas conectadas en sus extremos por retornos, como se muestra en la figura, cabe mencionar que las secciones de prueba solamente estaban localizadas en los tramos en tangente del circuito.



Las pruebas de tráfico consistían en la circulación de vehículos con diferentes configuraciones de ejes simples y tándem, los cuales eran conducidos por las pistas de pruebas. Diez combinaciones de diferentes cargas y ejes fueron utilizados, con

cargas de ejes simple que variaban de las 2,000lb a las 30,000 lb y con cargas de ejes tándem que variaban de las 24,000 lb a las 48,000 lb. Luego se recopiló la información relacionada con la condición del pavimento con respecto a la presencia de grietas y la cantidad de recarpeteos necesarios para mantener la sección de pavimento en servicio. Los perfiles longitudinales y transversales también fueron obtenidos para determinar la extensión de baches, deformación de la superficie causada por la carga de los vehículos circulando a velocidades muy bajas, esfuerzos impuestos en la subrasante y la distribución de temperatura en las capas del pavimento. Toda esta información fue minuciosamente analizada, y los resultados formaron la base para la publicación de la guía interina para el diseño de estructuras de pavimento de la AASHTO de 1961.

La primer guía de diseño de pavimentos de la AASHTO fue editada en 1961 y 1962, la cual a su vez fue evaluada y revisada por el Comité de Diseño AASHTO en 1972, publicando la “AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures” la cual incorporó experiencias que fueron acumuladas desde la primera edición de la Guía de 1962, y en 1981 se revisó parte de la guía correspondiente al diseño de pavimentos rígidos, (capítulo III). [AASHTO, 1993, P: II-3]. Entre 1984y 1985, el Subcomité en Prácticas de Diseño de Pavimentos y consultores revisaron la guía en vigencia, dando como resultado la “AASHTO Guide for the Design of Pavements Structures”(1986).

En 1993 se publicó una nueva versión de la guía AASHTO, la cual incorpora la revisión del diseño de sobre capas, diseño de sub bases delgadas, erosión de la sub base y confinamiento lateral, así como también se extendieron las extrapolaciones de las cargas de tráfico de ejes simples hasta50,000 lb y en ejes tándem y tridem hasta 90,000 lb, también a la ecuación general de diseño de la guía se le agregaron algunos factores tales como: el error estándar combinado, la diferencia de serviciabilidad y el coeficiente de drenaje.

La publicación de la AASHTO edición 1998 es una guía suplementaria de la guía para diseño de pavimentos proporcionado por la AASHTO de la edición 1993, contiene un

procedimiento alternativo para diseño de pavimentos rígidos y diseño de juntas, correspondientes a las secciones 3.2 y 3.3 de la parte II de la edición 1993, en esta edición de la guía se incorporan factores como la relación de Poisson, características de la sub base, condiciones climáticas de la zona y cambios en la determinación del módulo de reacción de la subrasante, (K), así como también un procedimiento para verificar la aparición de fallas en las juntas, como el escalonamiento de las losas del pavimento.

En el año 2004 la AASHTO publicó la guía Mecánica-Empírica edición 2002, la cual incorpora entre otros las propiedades significativas del comportamiento de los materiales en el procedimiento de diseño, esta guía supera algunas de las deficiencias que tenían las anteriores publicaciones de la guía AASHTO con lo que respecta a: El incremento del tráfico y su caracterización (configuración de ejes, tipo y presión de neumáticos), Deficiencias climáticas, Deficiencias de construcción. Deficiencias de desempeño (falla de juntas, grietas por temperatura, etc.), Deficiencias de confiabilidad, en la actualidad se diseña para cantidades de tráfico mucho mayores a los de décadas anteriores, por lo que al multiplicarlos por valores grandes, como los que resultan de los procedimientos de ediciones previas, los espesores de los pavimentos resultarían sobre diseñados. Esta guía también incluye tecnología que considera directamente el comportamiento de los materiales a usar durante la vida útil y una relación directa entre construcción y especificaciones de los materiales y estructura de pavimento.

No obstante a que la guía AASHTO cuenta con estos documentos recientes para el diseño, mencionados anteriormente, (Guía suplementaria 1998 y guía Mecánica-Empírica edición 2002), en esta investigación se utilizará principalmente la guía 1993, en vista de que es la metodología actualmente más utilizada a nivel nacional y regional.

8.12 Filosofía de diseño estructural de la AASHTO; edición 1993.

8.12.1 Factores de diseño

Las variables que intervienen para el diseño de pavimentos rígidos son tomadas en base a un conocimiento empírico, por lo que es importante conocer y entender las consideraciones que tienen que ver con cada una de ellas. La fórmula que propone la guía AASHTO, edición 1993 para el diseño del espesor de la losa de pavimento rígido se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Factores de Diseño AASTHO, Edición 1993

$$\log W_{18} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Error Estándar Combinado} \\ Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log \Delta PSI}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{2.46}}} \\ \text{Desviación Estándar Normal} \end{array} \right. \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

$$+ (4.22 - 0.32 \rho_t) \log \left(\frac{\text{Módulo de Ruptura} \cdot \text{Coeficiente de Drenaje} \cdot MR c_d (D^{0.75} - 1.132)}{\text{Coeficiente de Transferencia de Carga} \cdot \text{Módulo de Elasticidad} \cdot \text{Módulo de Reacción} \cdot 215.63 J (D^{0.75} - 18.42) (E_c / k)^{0.25}} \right)$$

Fuente de Ecuación 3: (Cornejo, 2009)

Las variables que intervienen en la ecuación; se detallan a continuación:

- Espesor de losa de pavimento de concreto hidráulico. (D)
- Número de ejes equivalentes del eje patrón de 18,000 libras (ESAL's), representado por el tráfico (W).
- Coeficiente de confiabilidad (R), representado por la desviación normal estándar (Z18) y por el error estándar combinado (S).
- Módulo de reacción de la subrasante-sub base (K).

- e) Pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = P_0 - P_1$).
- f) Propiedades del concreto: Módulo de ruptura (MR) y Módulo de elasticidad (E).
- g) Coeficiente de transferencia de carga (J).
- h) Coeficiente de drenaje (Cd).

La guía AASHTO 93 propone la solución de la ecuación anterior por medio de un nomograma, con el cual se obtiene directamente el espesor de la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido. También se puede utilizar programas computacionales para el diseño de pavimentos, tal como el WinPAS, desarrollado por la ACPA exclusivamente para el método AASHTO edición 1993 y el DARwin desarrollado por la AASHTO. A continuación se describen de manera general las variables involucradas en el diseño de espesores de losa de pavimentos rígidos:

8.12.2 Espesor (D)

Es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño de una estructura de pavimento, el espesor se refiere solamente a la capa de concreto hidráulico que se coloca sobre la sub-base y/o sub-rasante.

8.12.3 Tráfico

Los resultados de la AASHO Road Test mostraron que el efecto dañino del paso de un eje de cualquier peso puede ser representado por un número de repeticiones de carga, equivalentes a 8.2 toneladas ó 18 Kips (ESAL's), aplicadas en el carril de diseño durante el período de diseño del pavimento. Esta simplificación se realizó debido a que en la época en que se desarrolló la AASHORoad Test, a principios de 1960, era mucho más sencillo utilizar un solo número para representar toda la carga por tráfico en las ecuaciones usadas para predecir la vida del pavimento.

El tráfico es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos, y una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse; su determinación usualmente se basa en tasas de crecimiento vehicular, las cuales no son muy

precisas. La mayoría de los métodos de diseño consideran esta incerteza, y la guía AASHTO 1993 propone el uso de niveles de confiabilidad, los cuales toman en cuenta estas incertezas en la predicción de las cargas del tráfico y su comportamiento. El tráfico se debe de convertir a ESAL's por medio de la multiplicación de varios factores, tal como lo define la guía AASHTO en el apéndice D, lo cual se presenta en la ecuación anterior:

Ecuación 4: Calculo del ESALs de Diseño

$$ESAL's = \sum (N^{\circ} \text{ de vehículos por categoría} * F_{\text{sentido}} * F_{\text{carril}} * F_{\text{crecimiento}} * F_{\text{eje equivalente}})$$

Fuente de Ecuación 4: (Cornejo, 2009)

Los factores involucrados en la ecuación, se obtienen por medio de recomendaciones. El factor de eje equivalente convierte los pesos según cada eje de los vehículos a pesos normalizados de 18 Kips, considerando el daño que puede causar cada eje en relación al daño que causa el paso de un eje estándar.

8.12.4 Coeficiente de confiabilidad (R)

Es la probabilidad que la serviciabilidad o desempeño de la vía se mantenga en niveles adecuados para las cargas del tráfico y condiciones ambientales, así como también se mantenga en niveles adecuados desde el punto de vista del usuario durante todo el período de diseño. Lo anterior no obstante a que los pavimentos pueden sufrir daños en su estructura debido a las cargas impuestas del tráfico y condiciones ambientales, por lo que deben llevarse a cabo intervenciones que permitan que la vía se comporte en un nivel de operación óptimo.

La confiabilidad depende de diversas circunstancias que intervienen en su selección, como lo es la incertidumbre del volumen del tráfico en los incrementos que pudiesen

surgir en el período para el cual se diseñe una vía. La confiabilidad es la variable en la cual se introduce un grado de certidumbre en el diseño y un nivel de seguridad o factor de seguridad (F) para que el pavimento resista las cargas del tráfico en el período de diseño. El factor de seguridad (FR) depende del nivel de confiabilidad (R) y del error estándar combinado (S o R); tal como se puede observar en la Ecuación número 5.

La desviación normal estándar representa el rango de variación en la predicción del tráfico en el período de diseño y depende del nivel de confiabilidad requerido.

El error estándar combinado (S) depende de las condiciones locales y de los demás factores que afectan el comportamiento de un pavimento; entre dichos factores podemos mencionar: incertidumbre en el modelo, tránsito, medio ambiente, materiales de construcción, entre otros. Se debe emplear un valor del error estándar de 0.30 a 0.40 para pavimentos rígidos, según recomendaciones de la sección 4.3 de la guía AASHTO edición 1993. Se recomienda también valores de 0.35 para construcción nueva y 0.39 para sobre-capas. El factor de seguridad es representado por F_R y viene dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 5: Calculo del Factor de Seguridad

$$F_R = 10^{-Z_R \cdot S_o}$$

Fuente de Ecuación 5: (Cornejo, 2009)

8.12.5 Módulo de reacción de la sub rasante–sub base (k)

El módulo de reacción de la sub-rasante-sub-base, es una constante elástica que define la rigidez del material o resistencia a la deformación. Es la relación entre carga por unidad de área de superficie horizontal del suelo con el asentamiento correspondiente de la superficie; este parámetro representa la capacidad portante que posee un suelo en estado natural o con la combinación de una sub base, siendo éste

el que servirá para colocar la estructura de pavimento. Lo anterior lo propuso Westergaard en 1926 al suponer que la sub-rasante-sub-base no admite esfuerzos de corte y la reacción de la sub-rasante sobre la losa es igual a la deflexión de la

Sub-rasante multiplicada por una constante (K), la cual es el módulo de reacción de la sub-rasante sub-base.

8.12.6 Pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = P_0 - P$)

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5 significa pavimento en excelentes condiciones. [AASHTO, 1993, p: II-10]. Este factor es una medida subjetiva de la calificación del pavimento; sin embargo, la tendencia es definirla usando parámetros como el índice de regularidad internacional (IRI).

La serviciabilidad inicial (P) es la condición de un pavimento inmediatamente después de la construcción de éste. La guía AASHTO recomienda para pavimentos rígidos un $P_0 = 4.5$, mediante el uso de adecuadas técnicas de construcción. La serviciabilidad final (P) es la capacidad funcional que se espera tenga un pavimento al final del período de diseño. La AASHTO sugiere que para carreteras principales se utilice un valor de $P_t = 2.5$ ó 3.0 y para carreteras de bajo nivel un valor de serviciabilidad final de 2.0 . El cambio total en el índice de serviciabilidad (ΔPSI) viene dado por:

Ecuación 6: Índice de Severidad

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Fuente de Ecuación 6: (Cornejo, 2009)

8.12.7 Propiedades del concreto. (Módulo de elasticidad y módulo de ruptura)

Las propiedades del concreto que influyen en el diseño de una estructura de pavimento se detallan a continuación:

El módulo de elasticidad del concreto (E_c), es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento elástico, es la pendiente de la línea definida por dos puntos de la curva del esfuerzo-deformación, dentro de esta zona elástica. El valor del módulo de elasticidad del concreto de peso normal se puede obtener según ASTM C39 ó AASHTO T22, T140; o en función del esfuerzo a compresión (f') a una edad de 28 días, según el American Concrete Institute, (ACI).

Ecuación 7: Modulo de Elasticidad del Concreto

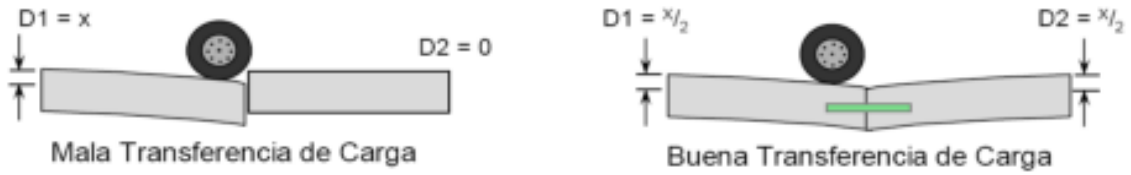
$$E_c = 57\,000 (f'_c)^{0.5} \text{ [psi]}$$

Fuente de Ecuación 7: (Cornejo, 2009)

8.12.8 Coeficiente de transferencia de carga. (J)

El coeficiente J representa la eficiencia de transferencia de carga que tiene una losa del pavimento al transmitir fuerzas cortantes a las losas adyacentes, esto tiene por objeto minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. La guía AASHTO edición 1993 explica este factor en su sección 2.4.2.

La transferencia de carga comúnmente se da por medio de barras de acero lisas incrustadas en las losas en las juntas transversales, (aunque puede haber otros tipos de mecanismos de transferencia de carga, como la transferencia a partir de la trabazón de agregados), tal como lo muestra la siguiente figura.



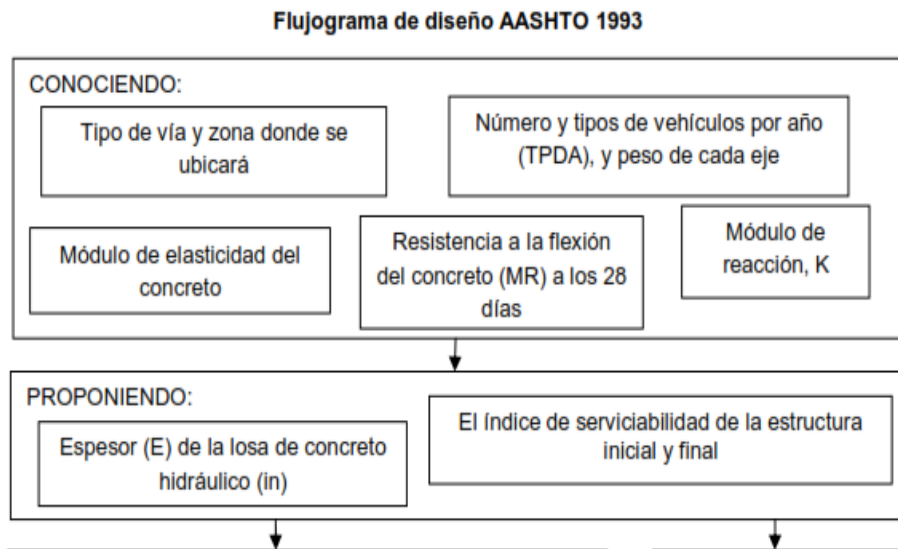
Fuente: (Cornejo, 2009)

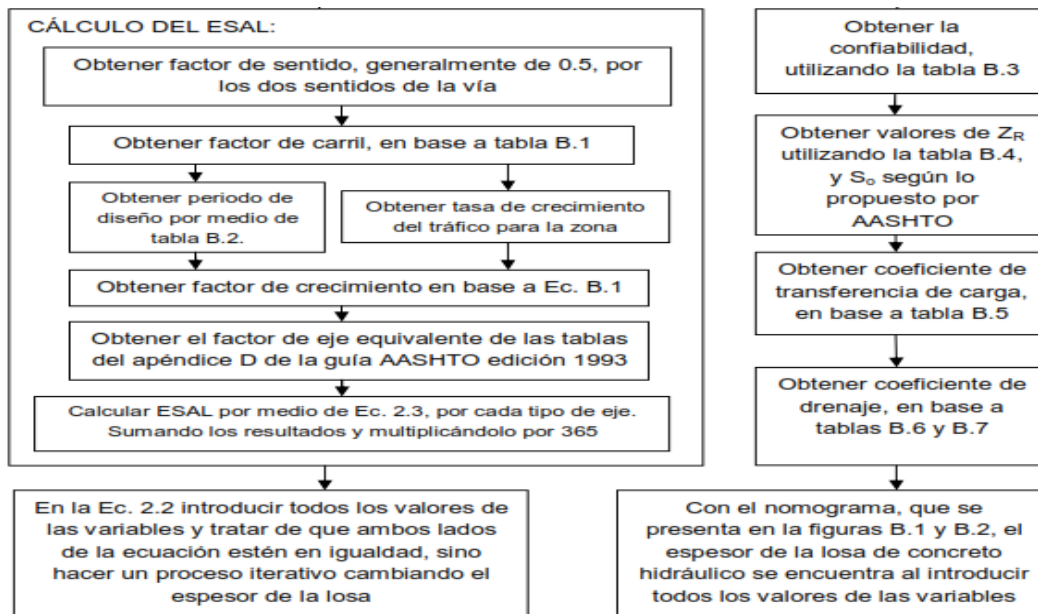
8.12.9 Coeficiente de drenaje (Cd)

El coeficiente de drenaje fue incorporado en la guía AASHTO para diseño de pavimentos rígidos a raíz de los efectos del drenaje en el desempeño de la estructura de pavimento, tales como el efecto de la humedad en la resistencia de la sub-rasante y en la erosionabilidad de la sub-base. Para obtener el valor del coeficiente de drenaje.

8.12.10 Flujoograma de diseño AASHTO 93

A continuación se presenta un Flujoograma que describe y resume los pasos del procedimiento de diseño de la guía de diseño AASHTO edición 1993.





Fuente de Flujograma: (Cornejo, 2009)

8.13 Tablas y figuras para el diseño de espesores de pavimento rígido utilizado por el método AASHTO, edición de 1993

8.13.1 Factor de sentido

Relaciona el tráfico promedio diario anual (TPDA) y el sentido de circulación de la vía. La AASHTO en su guía recomienda un valor de 0.5 o lo que es lo mismo la mitad del tráfico en cada sentido y expresa que algunas experiencias han mostrado que este factor puede variar de 0.3 a 0.7 dependiendo en qué dirección los vehículos van cargados y en cuál van no cargados. [AASHTO, 1993, p: II-9]

8.13.2 Factor de carril

Es la distribución del tráfico en una sola dirección dependiendo del número de carriles con que cuenta cada sentido. Ver tabla B.1

Factor de carril	
No. carriles por sentido	Porcentaje de ESAL's en carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Tabla B.1. Factor de carril. AASHTO [1993: P II-9]

8.13.3 Factor de crecimiento

Con este factor se obtiene el tráfico esperado en el período de diseño de la estructura, está dada por la siguiente fórmula:

Ecuación 9: Factor de Crecimiento Anual AASTHO, Edición 1993

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

Donde: r = Tasa de crecimiento.

n = periodo de diseño en años.

8.13.4 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento del flujo vehicular depende en gran medida de factores económicos, sociales, capacidad de la vía y tipos de vehículos que circularán. Este parámetro toma en cuenta el crecimiento de tráfico en un año de un determinado lugar, pero este se puede ver disminuido una vez que el crecimiento ha llegado a niveles de saturación de la vía en cierto tiempo.

8.13.5 Período de diseño

Este parámetro hace referencia al período de tiempo definido para que el pavimento sea útil desempeñándose satisfactoriamente en función de la proyección de tránsito en años, este factor influye mucho en lo económico. Se recomienda tomar en cuenta consideraciones para extender el período de análisis incluyendo una rehabilitación.

La AASHTO proporciona algunos valores con respecto a la importancia de la vía, ver tabla B.2.

El período de diseño no debe ser confundido con la vida del pavimento, ya que ésta última puede ser extendida por rehabilitaciones periódicas de la superficie o de la estructura del pavimento.

Periodo de análisis	
Condiciones	Periodo de análisis (años)
Alto volumen urbano	30 - 50
Alto volumen rural	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen	15 - 25
Superficie no pavimentada bajo volumen	10 - 20

Tabla B.2. Periodo de análisis. AASHTO [1993: P II-7]

Para el factor de eje equivalente, la guía AASHTO 93 proporciona en el apéndice D las tablas que convierten el tráfico a cargas de ejes simples equivalentes, en función del peso de cada eje, según el vehículo, el índice de serviciabilidad final y el espesor estimado del pavimento.

8.13.6 Confiabilidad

La guía AASHTO recomienda los siguientes valores del coeficiente de confiabilidad con respecto a la clasificación funcional de la vía. También hay que considerar que el nivel de confiabilidad a adoptar en cada diseño es un problema que depende de factores tanto técnicos como económicos, entre los cuales podemos mencionar: costos de construcción, costos de mantenimiento, costos de operación vehicular, etc. Ver tabla B.3

Confiabilidad		
Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria primaria	80 - 99	75 - 95
Secundaria o colectora	80 - 95	75 - 95
Local o vecinal	50 - 80	50 - 80

Tabla B.3. Nivel de confiabilidad. AASHTO [1993: P II-9]

La tabla B.4, muestra los valores de la desviación normal estándar para cada valor del coeficiente de confiabilidad, según la guía AASHTO 93.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Tabla B.4. Desviación estándar normal. AASHTO [1993: P I-62]

La tabla B.5 muestra los diferentes valores del coeficiente de transferencia de carga a utilizar en el diseño de estructuras de pavimentos.

Coeficiente de transferencia de carga recomendada para varios tipos de pavimento y condiciones de diseño				
Hombro	Asfalto		Concreto de Cemento Portland	
Dispositivo de transferencia de carga	Sí	No	Sí	No
Tipo de pavimento				
1. Juntas Simples y juntas reforzadas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
2. CRCP	2.9 - 3.2	N / A	2.3 - 2.9	N / A

Tabla B.5. Coeficiente de transferencia de carga. AASHTO [1993: P II-26]

Las tablas B.6 y B.7 muestran cómo se obtiene el valor del coeficiente de drenaje de una estructura de pavimento rígido.

Drenaje	
Calidad de drenaje	Agua removida en:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Nunca drena el agua

Tabla B.6. Calidad de drenaje. AASHTO [1993: P II-22]

Coeficiente de drenaje				
Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra en niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	Menos que 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tabla B.7. Coeficiente de drenaje. AASHTO [1993: P II-25]

A continuación, en la figura B.1 se presenta el nomograma de solución del espesor de la losa de concreto hidráulico que muestra la guía AASHTO 93.

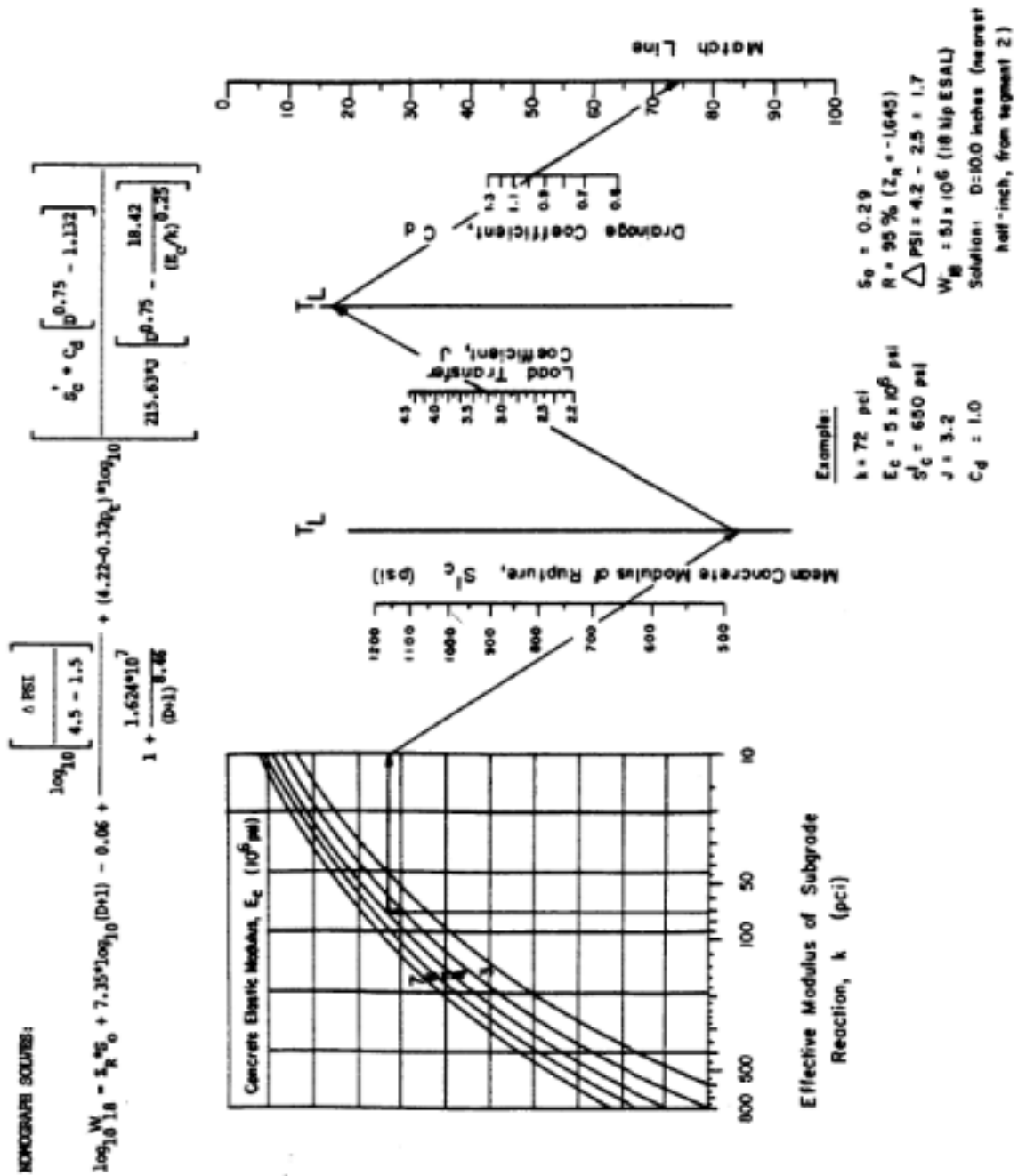


Figura B.1. Nomograma de diseño para pavimentos rígidos. Con modelación de su uso. Según guía AASHTO 93.

Fuente de Nomograma: (Cornejo, 2009)

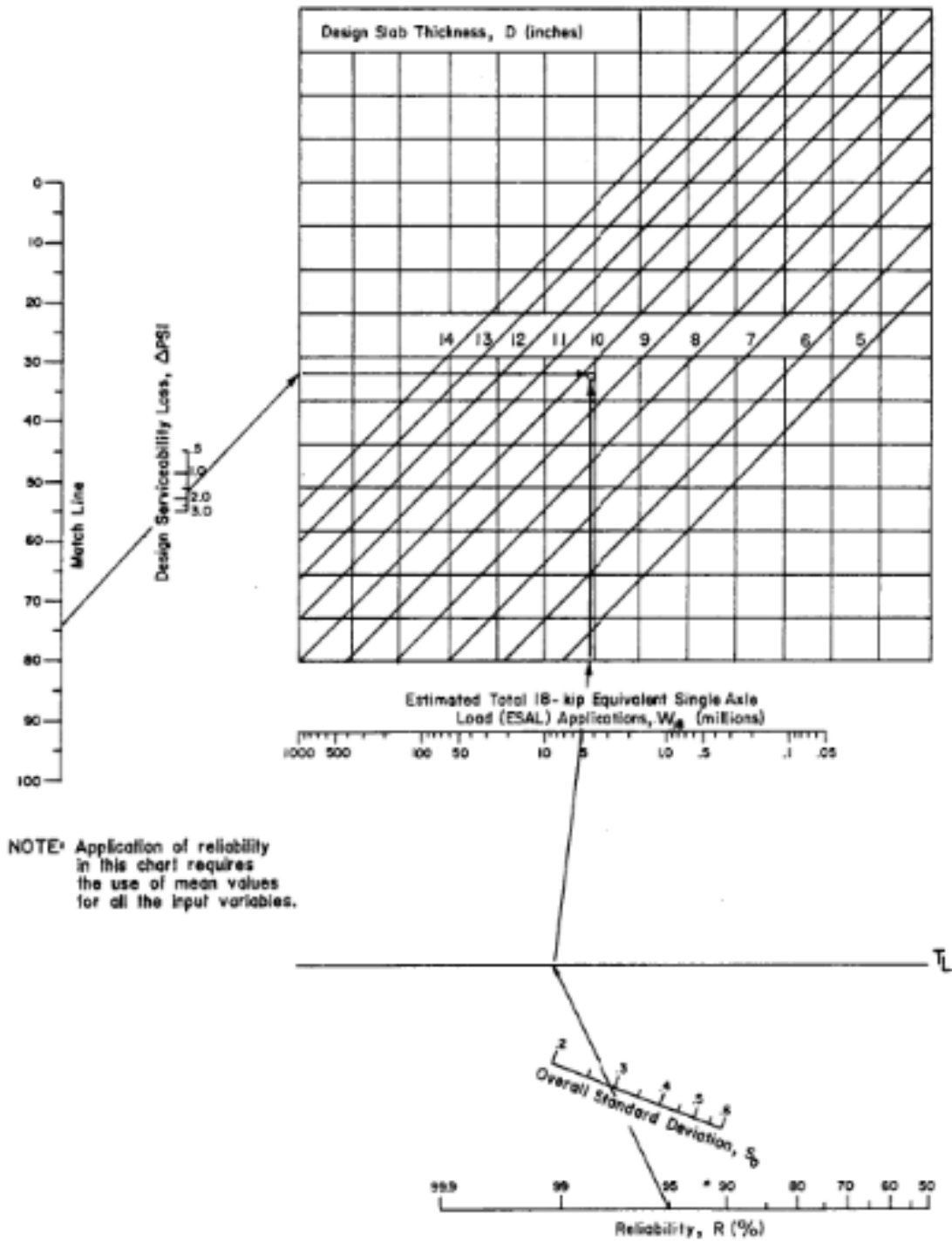
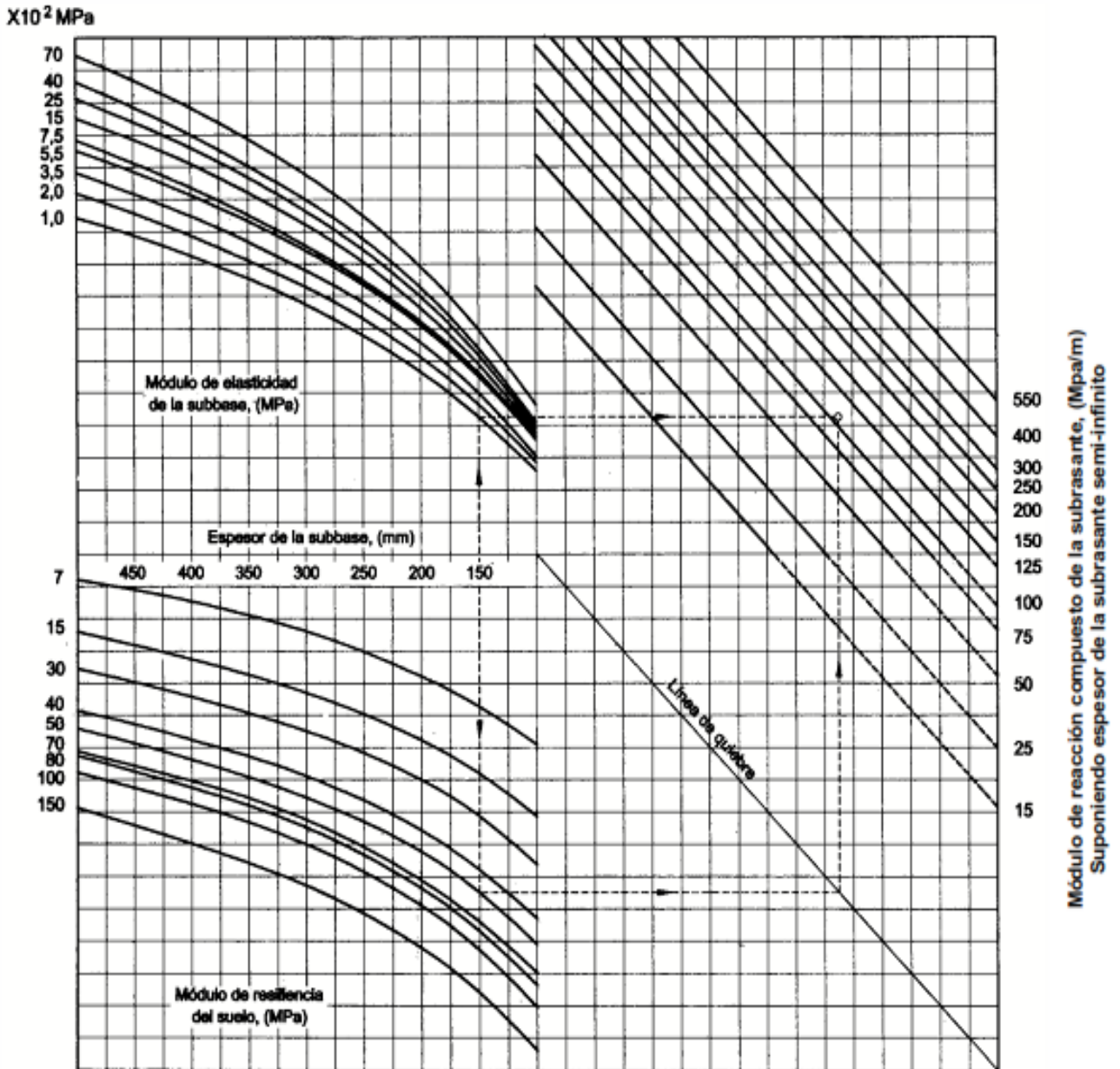


Figura B.2. Continuación de nomograma de diseño para pavimentos rígidos según AASHTO 1993.

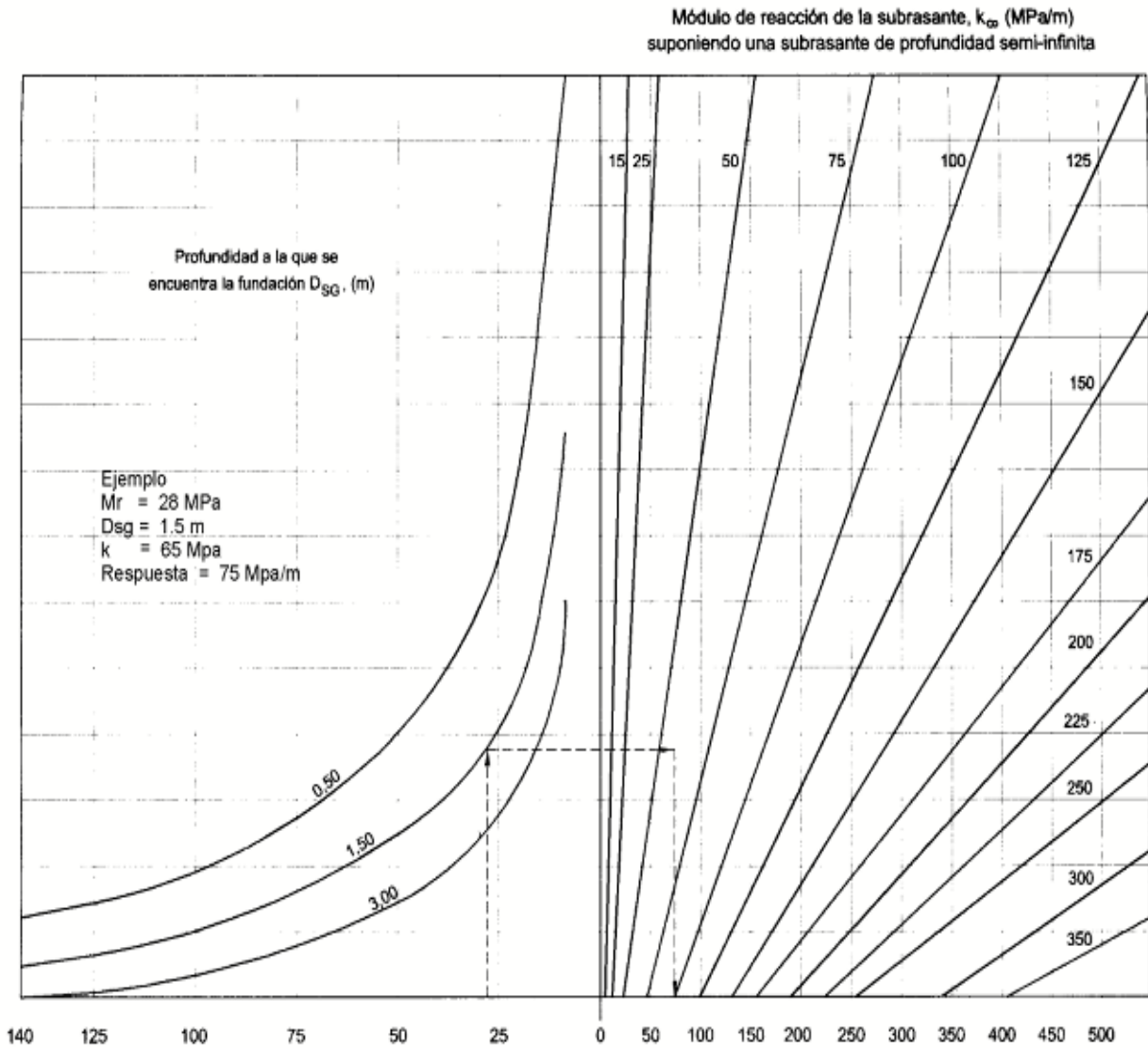
Fuente de Nomograma: (Cornejo, 2009)

Nomograma para determinar el modulo de Reacción compuesto de la sub rasante, suponiendo una profundidad infinita



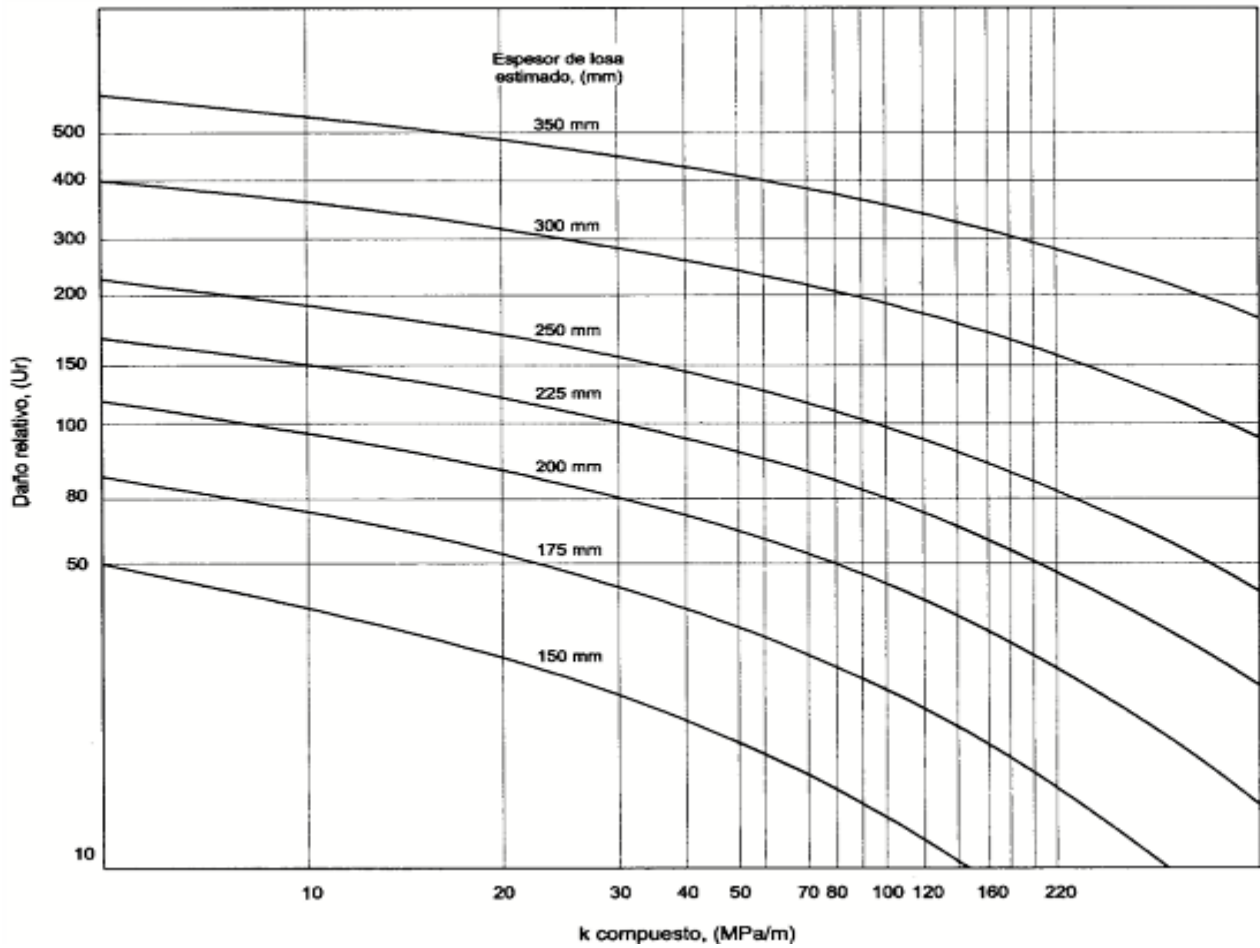
Fuente: (Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos , 2002)

Nomograma para corregir el valor de K por la presencia de una rígida (Estrato de Roca a menos de 3 metros de profundidad)



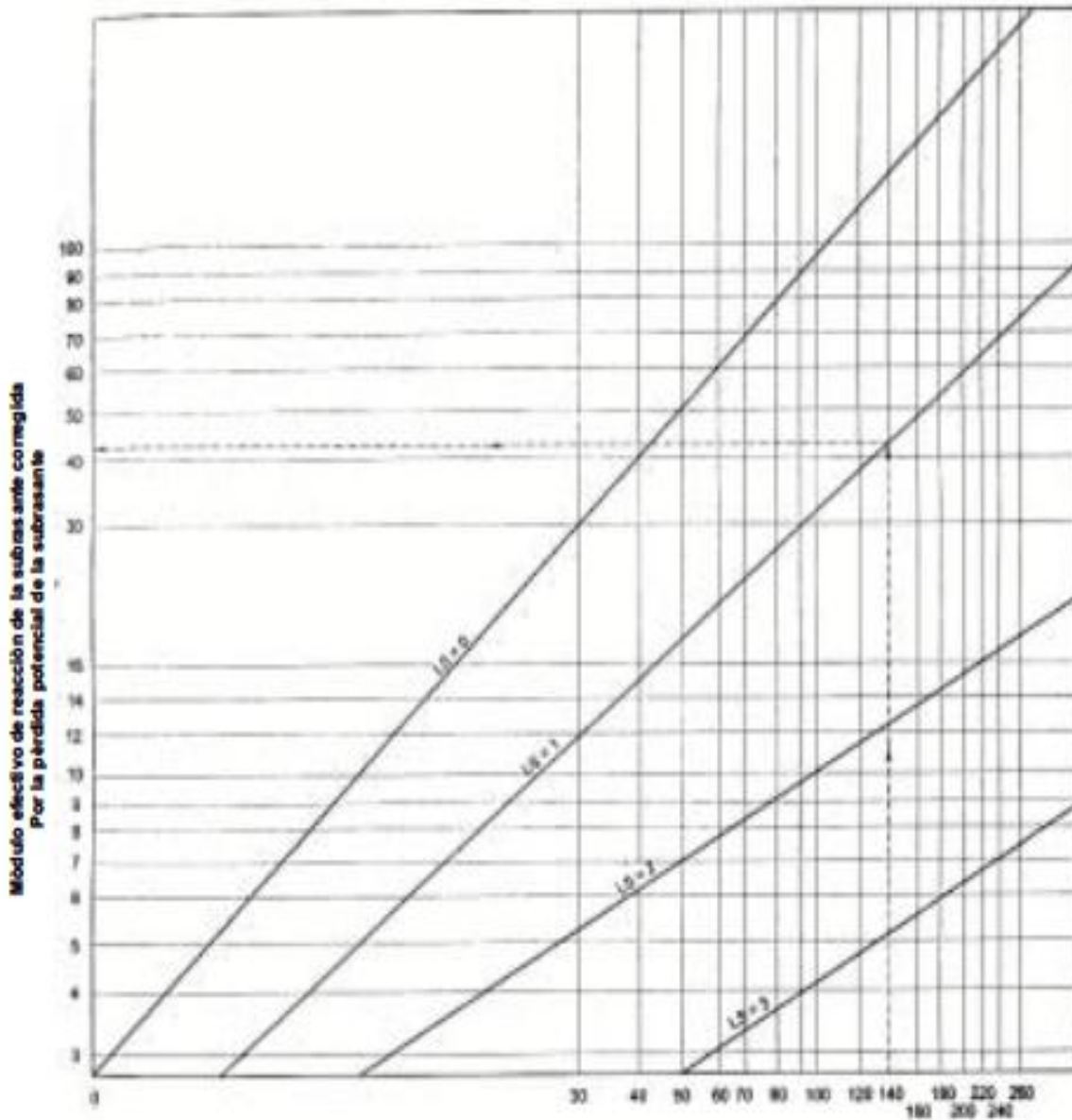
Fuente: (Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos , 2002)

Nomograma para determinar el deterioro relativo, U_f



Fuente: (Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos , 2002)

Nomograma para corregir el modulo de reacción efectivo por perdida potencial de la sub base



Fuente: (Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos , 2002)

9 PREGUNTAS DIRECTRICES

A continuación se presentan las preguntas directrices que sustentan esta investigación

1. ¿Qué tipos de carpetas de rodamiento existen para pavimentos Rígidos?
2. ¿Cuándo se recomienda utilizar algún tipo de carpeta Rígida?
3. ¿Cuáles son las variables que se deben considerar en el diseño de las carpetas de rodamiento Rígidas?
4. ¿Cuáles son las metodologías de diseño estructural de carpetas rígidas que son más utilizadas comúnmente a nivel mundial?
5. ¿Qué parámetros técnicos existen para seleccionar la filosofía de diseño estructural que debe emplearse al momento de realizar un cálculo estructural de carpeta de rodamiento?
6. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas principales de diseño de carpetas de rodamiento rígidas?

10 DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION

10.1. Tipo de investigación

Por las características propias de la investigación, esta se clasifica como "Documental" ya que se recopilan los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para el diseño de pavimentos rígidos aplicados en Nicaragua.

10.2. Universo, Población y Muestra de la Investigación

El universo está conformado por los diversos tipos de pavimento, que como un área de investigación, abarca el estudio y diseño de los mismos, tales como: la estructura, carpeta de rodamiento, obras de protección y drenaje.

La población y muestra están constituidas por los distintos tipos de pavimentos rígidos y particularmente el diseño de estas (concreto hidráulico), para el desarrollo de la propuesta del manual de diseño y aspectos constructivos.

10.3. Material y Métodos de obtención de la información

En el proceso de obtención de la información se utilizará la investigación documental, de la documentación existente al respecto.

10.3.1 Fuentes Primarias

Literatura disponible procedente de los organismos especializados en el tema de pavimentos rígidos (AASHTO, Edición 1993; PCA, Edición 1984, Producción de Concreto para pavimentos de CEMEX, Manual para el Diseño de pavimentos Rígidos del SIECA).

10.3.2 Fuentes Secundarias

Publicaciones periódicas, fotografías de los diferentes proyectos ejecutados con los distintos tipos de pavimentos.

11. MANUAL DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARPETAS RIGIDAS

11.1. DISEÑO ESTRUCTURAL

Según (MORA, 2009), para el cálculo del espesor de pavimentos de concreto, debe utilizarse el “Método AASTHO” y verificarse a través del “Método PCA”, siendo necesario conocer algunos aspectos del proyecto como los indicados a continuación: Período de diseño (vida útil), Resistencia a la tensión por flexión del concreto a utilizar, Módulo de reacción (k) del terreno natural; Información del tráfico.

A continuación en el presente tópico se muestra de manera práctica la aplicación de los criterios establecidos por la metodología PCA, edición 1984 y la AASHTO, edición 1993; al diseño de carpetas de rodamiento de pavimentos rígidos. A partir del Flujograma que describe cada una de estas filosofías. Tópico en el cual se orienta al proyectista hacia una mejor comprensión a cerca de la aplicación de cada una de estas filosofías.

11.1.1. Aplicación de la filosofía de diseño estructural de la PCA (edición 1984)

Como abordamos anteriormente; ambas filosofía de diseño de carpetas de rodamiento para pavimentos rígidos coinciden en el hecho de que para diseñar un tramo de carretera, se requiere conocer algunos aspectos del proyecto, entre los cuales tenemos los siguientes:

- a. Período de diseño (vida útil).
- b. Resistencia a la tensión por flexión del concreto a utilizar.
- c. Módulo de reacción (k) del terreno natural.
- d. Información del tráfico.

Una vez que poseemos toda esta información es momento de llevar a cabo el diseño estructural de la carpeta de diseño que se construirá en el sitio para las solicitaciones requeridas; la metodología de diseño que propone la PCA en su edición de 1984,

atraves de un formulario y un Flujograma de diseño, basándose en los dos criterios de análisis que esta metodología contiene, nos propone la siguiente manera de procesar la información obtenida de el sitio del proyecto:

11.1.1.2 Formulario base para cálculo estructural de la PCA (edición 1984)

A continuación se muestra el formulario base para efectuar el diseño del espesor de la losa requerida según las solicitudes del sitio. En el cual el proyectista debe incorporar todas las condiciones iniciales del sitio del proyecto y los valores numéricos en las unidades estipuladas en cada uno de sus apartados, esto con el objetivo de obtener resultados fidedignos; como se muestra en la presente figura:

Proyecto:

Espesor de taracea: mm Juntas con dovelas SI__NO__

Conjunto subbase-subrasante Mpa/m Berma de concreto SI__NO__

Módulo de rotura, MR Mpa Período de diseño _____ años

Factor de seguridad

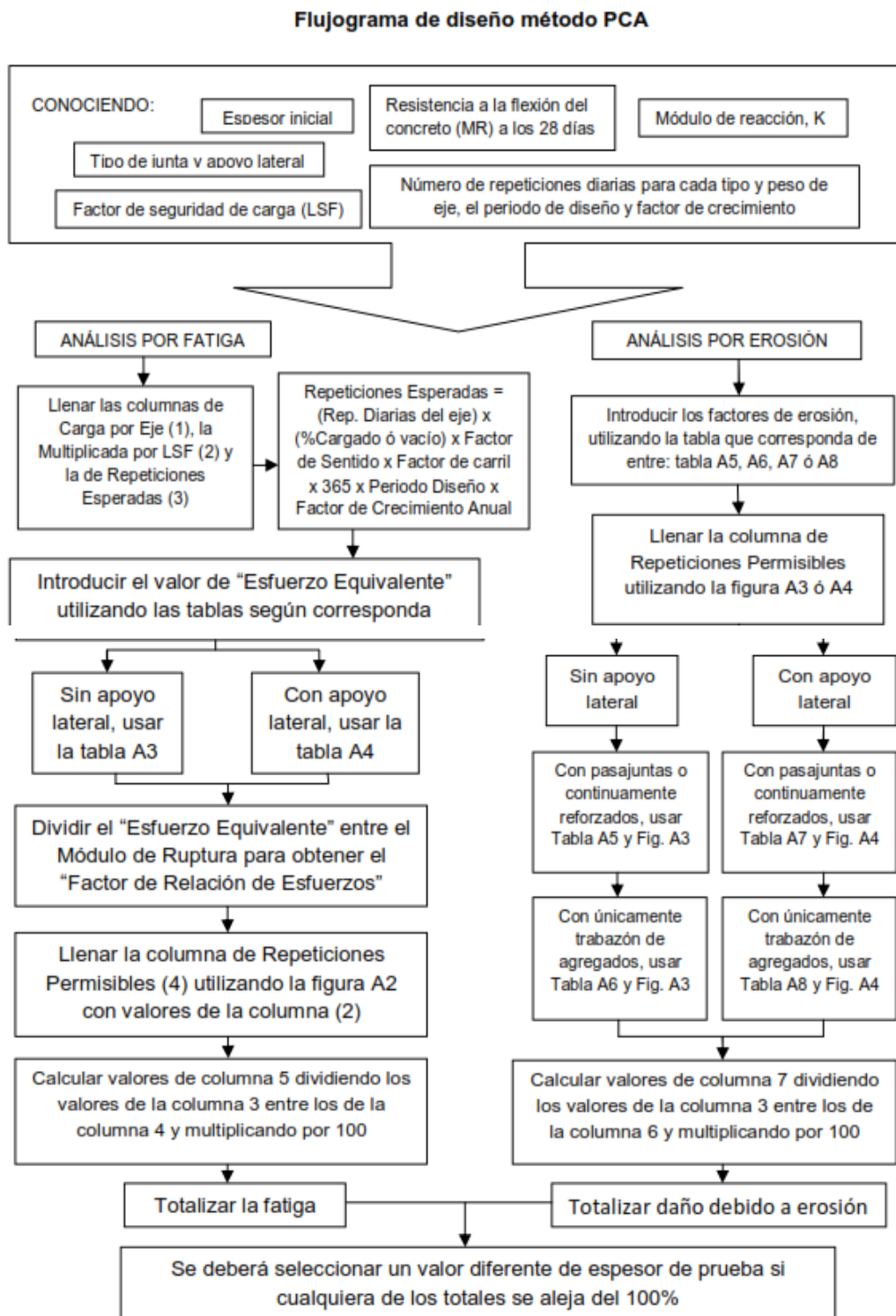
Carga por eje, kN	Carga por FSC, kn	Repeticiones Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7

Ejes sencillos 8 Esfuerzo equivalente 10 Factor de erosión
 9 Relación de esfuerzos

Eje Tándem 11 Esfuerzo equivalente 13 Factor de erosión
 12 Relación de esfuerzos

			Total		Total	

11.1.1.3 Flujograma de Análisis Estructural de la PCA (edición 1984)



Fuente de Flujograma: (Cornejo, 2009)

2. En la columna 1 se colocan los valores de carga por eje en KN, de cada tipo y clase de vehículo sencillo o tándem.
3. En la columna 3 se colocan las cantidades de repeticiones esperadas para cada clase de vehículos.
4. En la columna 2 se coloca el producto de la columna 1 por el factor de seguridad de carga F_{sc}

Análisis por Fatiga

1. En la tabla que contiene los valores de ejes sencillos o tándem, sin hombros o con hombros se hallan los esfuerzos equivalentes en función del espesor de la losa asumido en mm y el valor de K, es necesario hacer interpolaciones si el valor de K no está en la tabla.
2. Los valores encontrados se colocan frente a los números 8 y 11 de la hoja de trabajo.
3. Los valores colocados frente a los números 8 y 11 de la hoja de trabajo, se dividen entre el valor del módulo de Ruptura (MR), y los resultados obtenidos se coloca frente a los números 9 y 12 que son los factores de relación de esfuerzos.
4. En la figura de las repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con o sin hombros de concreto, con el valor de carga por eje de la columna 2 de la hoja de trabajo, usando la línea vertical (ejes simples o tándem) y el factor de relación de esfuerzos (números 9 o 12), en la línea inclinada se traza una línea entre cada uno de estos puntos y se proyecta hacia la línea vertical de la extrema derecha de la figura, en la cual se lee el número de las repeticiones admisibles y estos valores se colocan en la columna número 4.
5. Luego los valores de la columna 3 se dividen entre los valores de la columna 4 y el resultado de cada uno se multiplica por 100 y se coloca en la columna 5.
6. La suma de todos los valores colocados en la columna 5, es la absorción total por fatiga.

Análisis por Erosión

Tomando como regencia las tablas de factores de erosión para ejes sencillos, tándem para pavimentos rígidos con o sin hombros con o sin dovelas, con o sin hombros; el proceso de diseño es el siguiente:

1. En las tablas correspondientes, sean estos ejes sencillos o tándem, con y sin hombros, con y sin dovelas; se halla el factor de erosión en función del espesor de la losa asumido en mm, el valor de K no está en la tabla, los valores encontrados se colocan frente a los numero 10 0 13 de la hoja de trabajo, en la línea vertical se traza una línea entre estos dos puntos y se proyecta hacia la línea vertical de la extrema derecha de la figura, en la cual se lee el valor de las repeticiones admisibles y estos valores se colocan en la columna 6.
2. Los valores de la columna 3 se dividen entre los valores de la columna 6 y el resultado de cada uno se multiplica por 100 y se coloca en la columna 7
3. Finalmente la suma de todos los valores de la columna 7 es el daño total por erosión.

Parámetros para los espesores encontrados

- ✓ El espesor de la losa asumido para la iteración se considera no adecuado, si los totales del factor de fatiga como el de erosión, son mayores al 100%, esto quiere decir que el espesor de losa asumido es deficiente por lo que habrá que hacer una nueva iteración con un espesor mayor.
- ✓ Si los totales por fatiga y erosión fueran menores que 100%, es necesario hacer una nueva iteración con un nuevo espesor, ya que esto involucra economía.

A continuación se presentan los resultados del caso práctico analizado en este apartado:

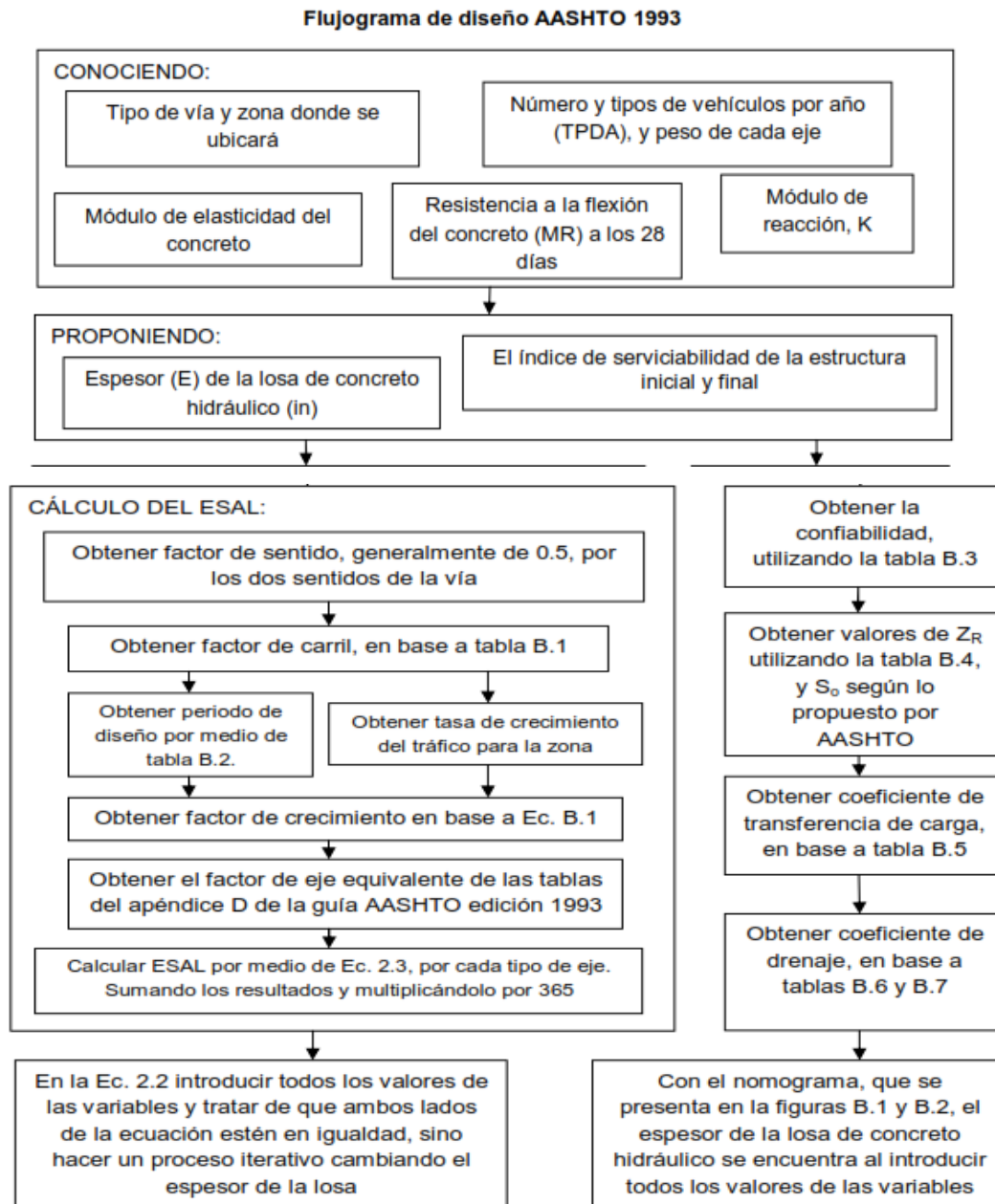
Carga por eje, kN	Carga por FSC, kn	Repeticiones Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión		
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño	
1	2	3	4	5	6	7	
Ejes sencillos		8 Esfuerzo equivalente		1.10	10 Factor de erosión	2.69	
		9 Relación de esfuerzos		0.24			
133	159.60	6,310	5,000,000	0.13	820,000	0.77	
125	150.00	14,690	ilimitado		1,200,000	1.22	
115	138.00	30,130	ilimitado		2,000,000	1.51	
107	128.40	64,380	ilimitado		3,100,000	2.08	
98	117.60	106,900	ilimitado		5,500,000	1.94	
89	106.80	235,700	ilimitado		9,000,000	2.62	
80	96.00	307,200	ilimitado		22,000,000	1.4	
Eje Tándem		11 Esfuerzo equivalente		0.97	13 Factor de erosión	2.87	
		12 Relación de esfuerzos		0.22			
231	277.20	21,320	ilimitado	0	570,000	3.74	
213	255.60	42,870	ilimitado		900,000	4.76	
195	234.00	124,900	ilimitado		1,500,000	8.33	
178	213.60	372,900	ilimitado		2,400,000	15.54	
160	192.00	885,800	ilimitado		4,800,000	18.45	
142	170.40	930,700	ilimitado		18,000,000	5.17	
125	150.00	1,656,000	ilimitado		50,000,000	3.31	
				Total	0.13	Total	70.84

Total = 0.13 + 70.84 = 70.97 < 100%

Conclusión: Por tanto el espesor asumido se conserva por cumplir con las especificaciones técnicas del análisis por fatiga y erosión.

11.1.2 Aplicación de la filosofía de diseño estructural de la AASHTO; edición 1993

La metodología de diseño estructural de la AASHTO en su edición de 1993 propone el siguiente Flujograma para procesar la información obtenida del sitio del proyecto:



Fuente de Flujograma: (Cornejo, 2009)

Una vez obtenido los factores de diseño de la manera que nos muestra el nomograma anterior podemos pasar a explicar con un ejemplo de diseño en el cual ya tenemos los valores de entrada a la ecuación general de diseño que propone la metodología AASHTO edición 1993.

11.1.2.1 Ejemplo de diseño de espesor de losa por el Método AASHTO edición 1993

A continuación, se calculará el espesor de losa de pavimento rígido por medio de datos propuestos, con el objetivo de aplicar los criterios de diseño de esta metodología. El diseño, se realizará por medio de la ecuación básica de la AASHTO de su edición de 1993, cuyas variables ya fueron descritas en el apartado correspondiente a esta metodología. Nos limitaremos a realizar el procedimiento del cálculo estructural de la losa.

$$\log W_{18} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Error Estándar Combinado} \\ Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log \Delta PSI}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ \text{Desviación Estándar Normal} \end{array} \right. \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

$$+ (4.22 - 0.32 \rho_i) \log \left(\frac{\text{Módulo de Ruptura} \cdot \text{Coeficiente de Drenaje} \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{\text{Coeficiente de Transferencia de Carga} \cdot \text{Módulo de Elasticidad} \cdot \text{Módulo de Reacción} \cdot (E_c / k)^{0.25}} \right)$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 Kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva Estandarizada, para una confiabilidad R.

S = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en Pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P0 = Serviciabilidad final.

Sct = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C = Coeficiente de drenaje.

Ec = Módulo de elasticidad del concreto, en PSI.

K = Módulo de reacción de la sub rasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/Pulg).

Datos del proyecto (propuestos)

Variables de Diseño	Valor Numérico
Espesor de la Sub base	b= 150mm
Modulo de Elasticidad de la sub base	Esb= 140Mpa
Modulo de Resilencia	Mr=49Mpa
Modulo de Reacción Efectiva de la Sub rasante	K=20Mpa/m
Modulo de Elasticidad del Concreto	E=30,000
Resistencia media del concreto a Flexo tracción	MR= 4.5Mpa
Coeficiente de transmisión de carga(hombros y Dovelas)	j=3.2
Coeficiente de Drenaje	Cd= 1.0
Error Estándar Combinado	So= 0.29
Confiability	R=95%
Perdida de Severidad	ΔPSI= Po-Pt= 4.2-2.5= 1.7
Total de Ejes Equivalentes	W80= 5.1X106

Procedimiento de Diseño estructural

1. Haciendo uso del nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la sub rasante, suponiendo una profundidad infinita cuyas variables de entrada es el módulo de resiliencia de la sub rasante, espesor de la sub base y el coeficiente de elasticidad de la misma, se obtiene el módulo de reacción compuesto de la sub rasante.
2. Si la sub rasante esta sobre un estrato de roca a menos de 3.0 metros de profundidad, el Módulo de reacción compuesto obtenido en el paso anterior, hay que corregirlo con el nomograma para corregir el valor de K por la presencia de una rígida (Estrato de Roca a menos de 3 metros de profundidad), entonces:

Espesor de la Sub base	b= 150mm
Modulo de Elasticidad de la sub base	Esb= 140Mpa
Modulo de Resiliencia	Mr=49Mpa
Resiliencia	Mr=110Mpa

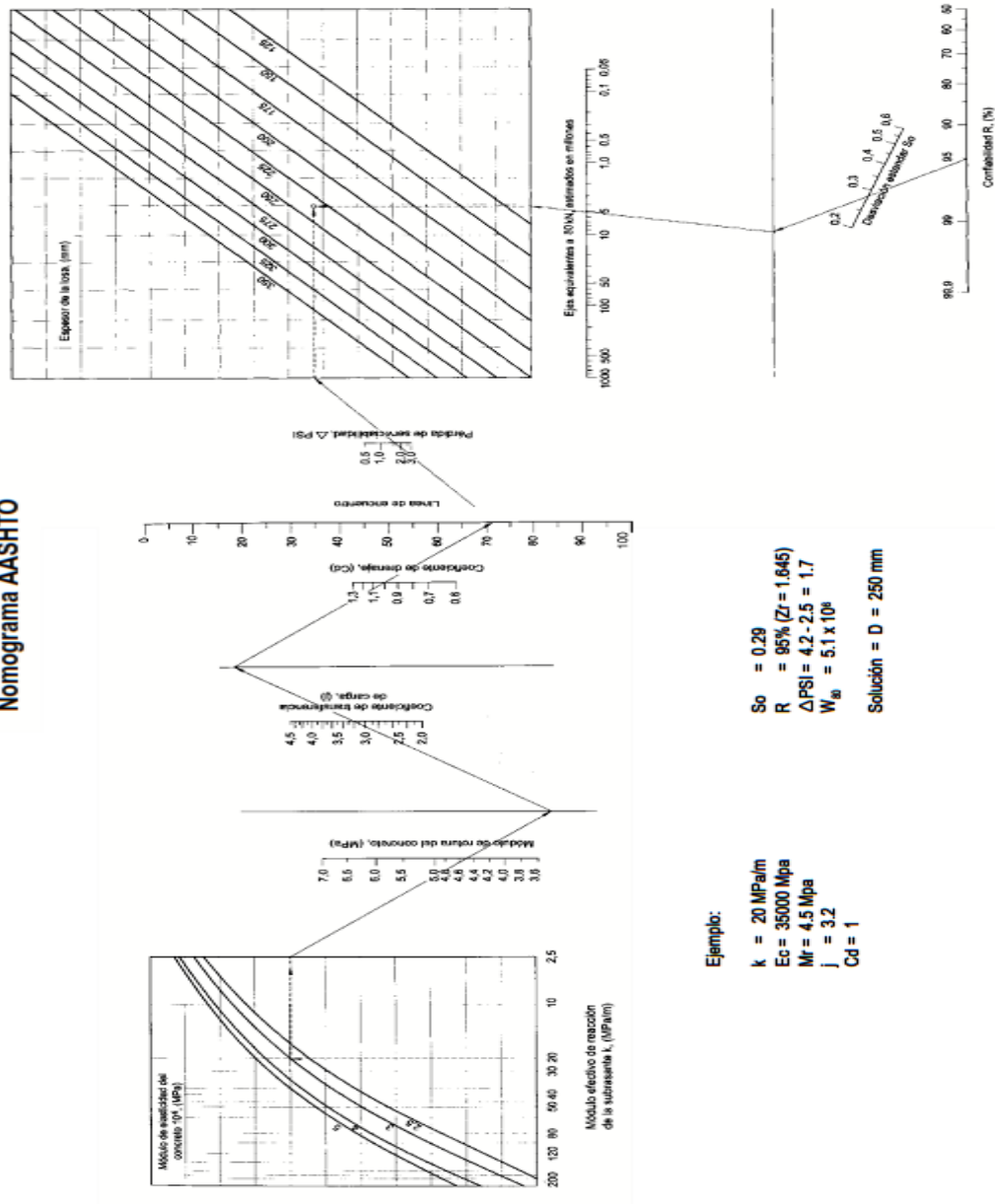
3. Asumiendo un espesor inicial de losa y con la ayuda del nomograma para determinar el deterioro relativo (U_i), en cada mes del año, para cada uno de los valores de K, en función del espesor de la losa propuesta.
4. Sumando todos los valores relativos del deterioro relativo (U_i) y dividiendo el total entre el número de meses incluidos y entrando con este valor y entrando con este valor al nomograma para determinar el deterioro relativo (U_f), se obtiene el valor promedio del coeficiente K para el espesor asumido.

5. Para finalizar, se corrige el valor promedio de K en función de la pérdida de soporte por medio de nomograma para corregir el módulo de reacción efectivo por pérdida potencial de la sub base.
6. Con estos datos entramos al nomograma base de la AASHTO-1993:

K=20Mpa/m
Ec=35,000Mpa
MR= 4.5Mpa
j=3.2
Cd= 1.0
So= 0.29
R=95%
$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.2 - 2.5 = 1.7$
W80= 5.1X106

Cálculo estructural por medio del nomograma base de la AASHTO, edición 1993.

Nomograma AASHTO



7. Se toma el valor más cercano, siendo $D = 250\text{mm}$ (25cm); por tanto con estos valores de diseño propuestos es conveniente proyectar una losa de 25 centímetros de espesor, con un ancho de espesor según la vía proyectada.

Conclusión: Es recomendable verificar el espesor encontrado por medio de la metodología PCA edición 1984.

11.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

11.2.1 Consideraciones generales de diseño

- ✓ De acuerdo con el criterio de los métodos mencionados para el diseño de losas soportadas sobre el terreno, el concreto a emplearse en este tipo de losas será especificado de acuerdo a su resistencia a la flexión por tensión o módulo de ruptura (MR), en vez de la resistencia tradicional a la compresión ($f'c$) que es comúnmente usada en otro tipo de estructuras de concreto.
- ✓ Lo anterior se fundamenta al considerar que en una losa de concreto sometida a cargas dinámicas, los esfuerzos de flexión internos se encuentran más cercanos a su resistencia última a la flexión (MR), que los esfuerzos internos de compresión contra su resistencia última a la compresión ($f'c$).

11.2.2 Parámetros de diseño

1. Se debe considerar en el diseño, el efecto de reducción de espesor del pavimento con la utilización de elementos confinantes y de transferencia de carga, tales como guarniciones integrales o ligadas mediante varillas de sujeción, así como acotamientos ligados a los carriles. Al tener mecanismos de transferencia de cargas en los bordes, el pavimento tendrá menos posibilidad de fallar en esas zonas, ya que se evitará por un lado el efecto de bombeo y por

el otro el efecto flexionante en caso de presentarse erosión de la capa de apoyo en las zonas perimetrales.

2. De acuerdo con el método de AASHTO, edición 1993, la colocación de acotamientos pavimentados, los cuales actúan como elementos confinantes y de transferencia de carga, tiende a reducir espesores del orden de 2.5 cm. Ello se debe a que en esas zonas al aplicar una carga en acotamientos pavimentados, se produce una transmisión de esfuerzos del orden del 85% del total que resultaría de no contar con los citados acotamientos.
3. El efecto reductor de espesores de los acotamientos pavimentados debe considerarse en el desarrollo de los dos métodos de diseño ASSHTO y PCA. Por lo general los acotamientos deben diseñarse con espesores no menores a los 15 cm.

11.2.3 Esfuerzos y deflexiones

1. Contracciones debidas a cambios de temperatura así como por pérdida de volumen de la mezcla por la disminución del contenido de agua del concreto.
2. Esfuerzos de tensión generados en la base de la losa, que producen agrietamiento como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interface losa-capa de apoyo, pudiendo ser esta una base o sub-base.
3. Esfuerzos de tensión y compresión en la losa, debidos a ondulaciones que se presentan por cambios en gradientes térmicos a lo largo de su sección transversal.
4. Esfuerzos de tensión y compresión en la losa, producto de las expansiones y contracciones debidos a los cambios de humedad (alabeo) a lo largo de la sección transversal de la losa.

5. Esfuerzos combinados del tránsito con el de la ondulación por temperatura que producen daños importantes a las losas, estos esfuerzos deben ser considerados en los análisis por fatiga.
6. Esfuerzos por cargas de tráfico.
7. Esfuerzos por fricción

En una losa sujeta a una reducción de la temperatura, la losa tenderá a moverse de las orillas hacia el centro por simetría, sin embargo la capa de apoyo tenderá a restringir este movimiento, generándose así los esfuerzos de fricción.

Los esfuerzos de fricción en la interface losa-capa de apoyo afectan al concreto, a las varillas de sujeción e incluso al acero de refuerzo, cuando este existe. Para pavimentos de concreto sin refuerzo, el espaciamiento de juntas deberá proponerse de manera que la fricción no provoque grietas.

La cuantía y distribución de acero entre juntas longitudinales (o varillas de sujeción) también serán función de los esfuerzos esperados.

11.2.4 Movimiento en las losas

El movimiento de las losas depende de las características de contracción del concreto. El movimiento de una sección se puede estimar mediante la expresión:

Ecuación 10: Variación en la longitud de la losa

$$\Delta L = f_a L (\alpha \Delta T + \epsilon)$$

Fuente de Ecuación 10: (Cornejo, 2009)

En donde:

$L\Delta$ = cambio en la longitud de la losa

F_a = Coeficiente de fricción losa-capa de apoyo

L= longitud de la losa en mm

α = coeficiente de expansión térmica (ver Tabla 1)

ΔT = rango máximo de temperatura esperado

ϵ = coeficiente de contracción del concreto (ver Tabla 2)

Tabla 9: Valores de Coeficientes de Expansión térmica y Contracción del Concreto

Prueba Brasileña en Kg/ cm ²	Coeficiente de Contracción(deformación) x 10 ⁻⁴
<21	8
28	6
35	4.5
42	3
49	2

Fuente de Tabla 10: (Cemex, 2002)

11.2.5 Transmisión de cortante losa-losa por fricción

Los efectos del cortante por fricción en las caras de la grieta o junta fabricadas por aserrado sin el empleo de pasa- juntas, se traduce en la acción de fricción en las caras de la grieta o junta provocadas en una sección de concreto originada por las caras expuestas del agregado grueso del concreto, para un mejor funcionamiento bajo estos efectos de fricción deben observarse las siguientes circunstancias:

Primero: Este mecanismo de transferencia de carga es adecuado para una sub-base estabilizada o con una que no sea muy susceptible a la erosión.

Segundo: Caminos con bajo porcentaje de tránsito pesado.

Tercero: Losas con espesores considerables mayores de 20 cm.

Cuarto: Espaciamientos menores de las juntas (< 5m).

Quinto: Capas de apoyo rígidas (Sub-bases con altos valores del módulo de reacción, k.

Sexto: Liga en las orillas.

Séptimo: Drenaje adecuado en los suelos de cimentación, suelos naturales de tipo granular o fino, con sistemas de sub-drenaje eficientes.

Octavo: Tipo de agregado. Los agregados duros y con tamaño mínimo de 3 cm ofrecen resultados satisfactorios, los agregados de tipo angular o triturados ofrecen mejor fricción que los de origen aluvial (redondeados) gruesos.

11.2.6 Cambios Volumétricos en el concreto

Se deben tomar en cuenta los esfuerzos de compresión y de tensión en el fondo de la losa por cambios de temperatura y humedad, ya que hacen que las losas experimenten movimientos por cambios de volumen presentándose grietas incontroladas o aberturas en las juntas con la consiguiente reducción en la eficiencia de la transferencia de cargas entre losas contiguas.

11.2.7 Esfuerzos en el Acero

El acero se utiliza como elemento transmisor de carga en las juntas (pasa-juntas). El diseño de las varillas de sujeción se debe fundamentar en el desarrollo de fricción.

11.2.8 Diseño de Juntas

Se debe considerar en el diseño la utilización de juntas con el propósito de aliviar los esfuerzos y evitar que las grietas inducidas se presenten de manera desordenada y sin patrones geométricos debido a la contracción por secado del concreto, cambios de humedad y temperatura, aplicación de las cargas por tránsito, restricciones del terreno de apoyo y características de los materiales empleados. Las funciones específicas de las juntas son las que se mencionan a continuación:

- a) Control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción combinándose con los efectos de pandeo o alabeo de las losas, así como las cargas de tráfico.
- b) Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (carriles de circulación).
- c) Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.
- d) Proveer una adecuada transferencia de carga.
- e) Darle forma a la caja para el sellado de la junta.

11.2.9 Tipos de juntas

Transversales: Se tienen los siguientes tipos:

- De contracción: Localizadas en forma transversal al eje central del pavimento, su espaciamiento es para evitar agrietamiento provocado por los esfuerzos debidos a cambios de temperatura y humedad. Contribuyen a aliviar los esfuerzos por tensión al contraerse la losa por un lado, y por el otro los esfuerzos de alabeo generados en las losas por cambios en los gradientes térmicos.
- De construcción: Juntas colocadas al final del día o por cualquier otra interrupción en los trabajos, deben ser planeadas con anticipación para ubicarlas en los cambios de pendientes o en las losas de aproximación de puentes. Cuando estas juntas son proyectadas en las ubicaciones normales de las juntas y al tratarse de juntas empalmadas a tope, requieren de pasa juntas ya que no podrán contar con la trabazón del agregado para la transferencia de carga, en el caso de una junta de construcción no planeada en donde la interrupción se presenta en los dos primeros tercios de la separación normal de las juntas, la junta debe ser machihembrada con barras de amarre con el propósito de prevenir que la junta no agriete la losa adyacente, ver Figura 3 (e).
- De aislamiento/expansión: Necesarias para permitir el movimiento horizontal o los desplazamientos del pavimento respecto a estructuras existentes como estribos de puentes, losas de aproximación, alcantarillas, etc. Las juntas de expansión no son necesarias teniendo un buen diseño, construcción y mantenimiento de las juntas de construcción.
- El objetivo principal de las juntas de aislamiento es el de aislar el pavimento de una estructura, otra área pavimentada o cualquier objeto inamovible, disminuyendo los esfuerzos a compresión que se presentan.

El ancho de las juntas de aislamiento se recomienda entre $\frac{1}{2}$ " a 1" (12 a 25 mm) ya que con anchos superiores se pueden presentar movimientos excesivos, se debe utilizar material no absorbente ni reactivo a base de colatex.

- En el caso de estacionamientos y calles residenciales de bajo volumen se pueden hacer juntas a tope incluso sin varilla de sujeción, siempre que el espesor mínimo este comprendido entre 10 y 13 cm. El machihembrado no es recomendable en espesores menores de 18 cm.

Longitudinales. Se tienen los siguientes tipos:

- De contracción: Se deben utilizar para dividir a los carriles en la dirección longitudinal o donde se construyen dos o más anchos de carriles al mismo tiempo.
- De construcción: Se deben de localizar entre dos carriles contruidos en diferentes etapas, deben ser del tipo machihembradas ver Figura 3 (e)

Espaciamiento entre juntas

- a) La modulación de las losas se rige por la separación de las juntas transversales en función del espesor del pavimento, por lo que el dimensionamiento de los tableros de losas debe cumplir con lo indicado a continuación:

Ecuación 12: Espaciamiento de la Junta

$$S = (21 \text{ a } 24) d$$

En donde: S = Separación de la junta ≤ 5.0 m

d = Espesor del pavimento

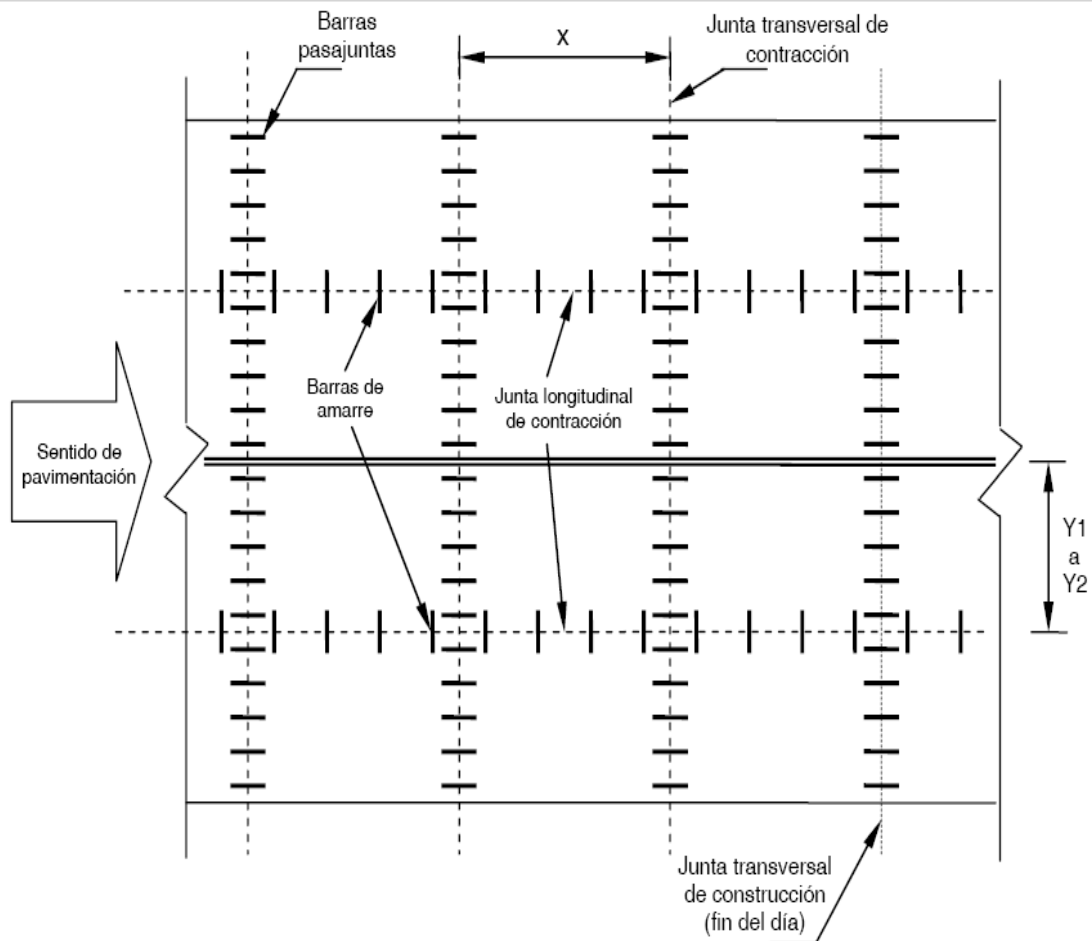
21= Para valores máximos de fricción entre la sub-base y el pavimento

24= Para valores normales de fricción entre la sub-base y el pavimento

- b) La relación entre largo y ancho de un tablero de losas debe estar entre los límites de: $0.71 < \text{largo/ancho} < 1.4$
- c) Se debe considerar también como parámetro comparativo la influencia de los agregados para la determinación del espaciamiento ver tabla 9.9 de la Guía IMCYC. En la siguiente figura se muestra la separación y distribución típica de

juntas transversales y longitudinales de un pavimento, los detalles de juntas típicas y los detalles de construcción de juntas, respectivamente.

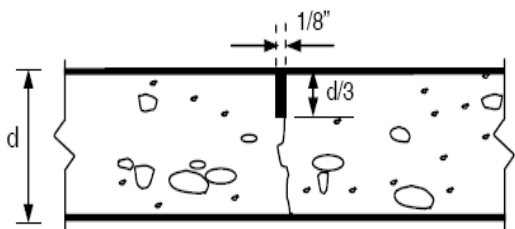
Ilustración 7. Distribución típica de juntas transversales y longitudinales



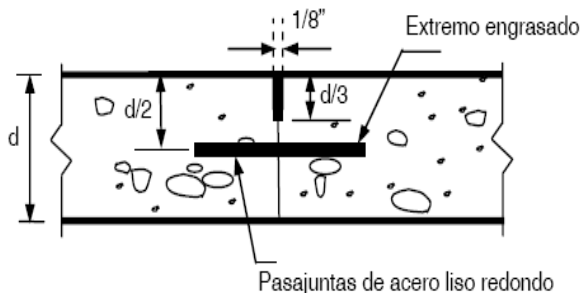
Vista en planta de pavimento en donde x es la separación de juntas transversales, así como “ y_1 a y_2 ” es el rango de separación de juntas longitudinales. (*)

Fuente: (Cemex, 2002)

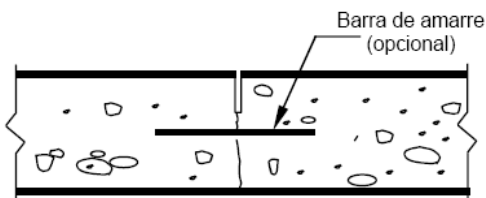
Ilustración 8. Detalles típicos de juntas



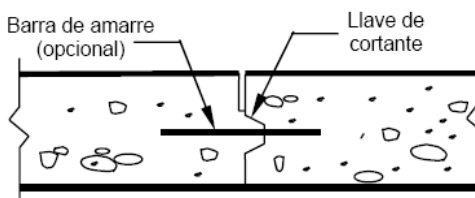
a.- Junta transversal de contracción sin pasajuntas



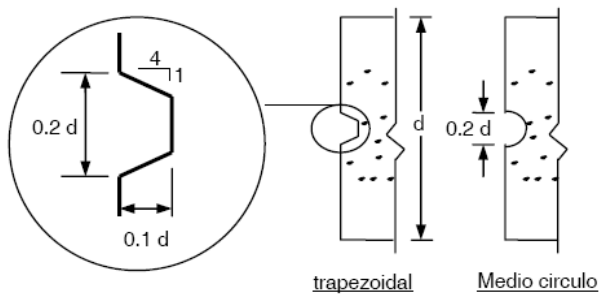
b.- Junta transversal de contracción con pasajuntas



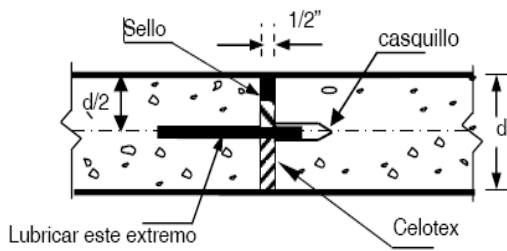
c.- Junta longitudinal a todo el ancho del área por pavimentar



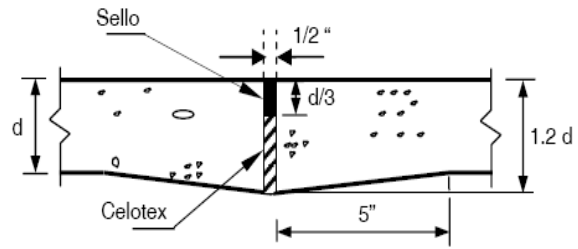
d.- Junta longitudinal pavimentación por franjas



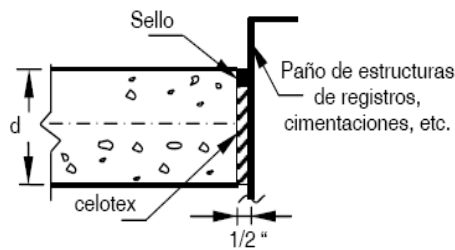
e.- Secciones estándar de llaves de cortante para juntas longitudinales



f.- Junta de aislamiento con pasajuntas



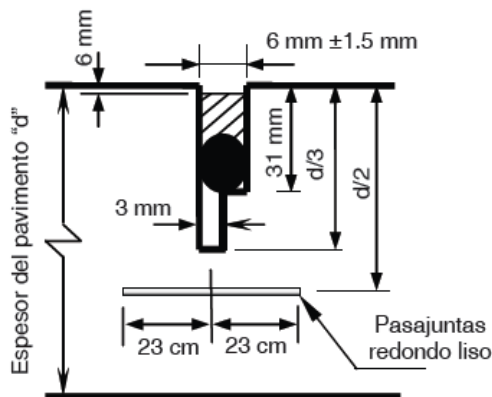
g.- Junta transversal de contracción con pasajuntas



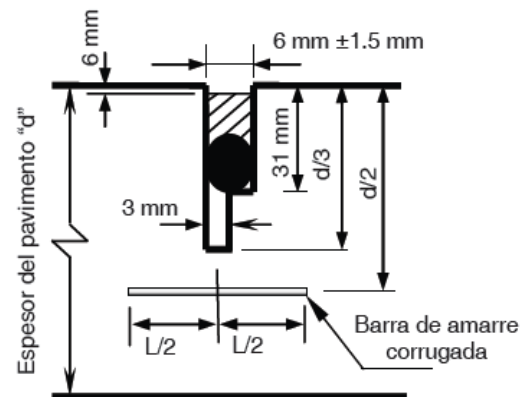
h.- Junta de aislamiento sin pasajuntas

Fuente: (Cemex, 2002)

Ilustración 9. Detalles típicos de juntas



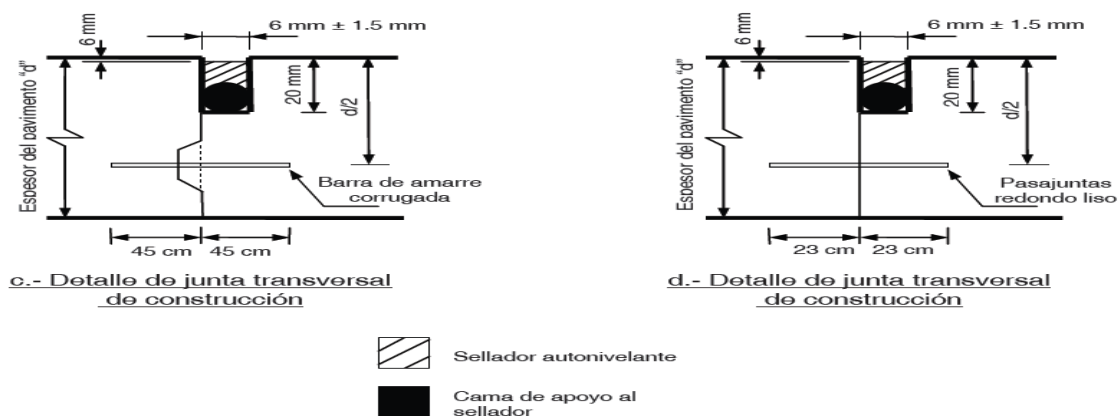
a.- Detalle de junta de contracción transversal



b.- Detalle de junta de contracción longitudinal

Fuente: (Cemex, 2002)

Ilustración 10. Detalles de construcción de juntas



Fuente: (Cemex, 2002)

11.2.9.1 Consideraciones para diseño de juntas

11.2.9.1.1 Consideraciones ambientales

Los cambios en la temperatura y en la humedad inducen movimientos de la losa, resultando en concentraciones de esfuerzos y en alabeos.

11.2.9.1.2 Espesor de losa

El espesor del pavimento afecta los esfuerzos de alabeo (pandeo) y las deflexiones para la transferencia de carga.

11.2.9.1.3 Transferencia de carga

La transferencia de carga varía para cada tipo de junta, por lo que el tipo y el tamaño de las barras influyen en el diseño de las juntas.

11.2.9.1.4 Tránsito

La clasificación, canalización y el predominio de cargas en el borde influyen significativamente en los requerimientos de transferencia de carga para el comportamiento a largo plazo.

11.2.9.1.5 Características del concreto

Los componentes de los materiales afectan la resistencia del concreto y los requerimientos de juntas, los materiales seleccionados para el concreto determinan las contracciones de la losa.

11.2.9.1.6 Tipo de sub-rasante o terreno de apoyo

Los valores de soporte y las características friccionantes en la interface del pavimento con el terreno de apoyo para diferentes tipos de suelos afectan los movimientos y el soporte de las losas.

11.2.10 Apoyo lateral

El tipo de acotamiento afecta el soporte de la orilla del pavimento y la habilidad de las juntas centrales para realizar la transferencia de carga.

11.2.11 Agrietamiento

Un adecuado sistema de juntas permite controlar el agrietamiento que ocurre de manera natural en el pavimento de concreto y las juntas se deben colocar en el pavimento precisamente para controlar su ubicación y su geometría.

11.2.12 Contracción

Se debe tomar en cuenta que la mayor parte de la contracción anticipada del concreto ocurre a muy temprana edad en la vida del pavimento, provocado principalmente por los cambios de temperatura, así como también la reducción de volumen a causa de la pérdida de agua en la mezcla.

Otro factor muy importante que se debe tomar en cuenta es la fricción que se presenta en la sub-rasante o capa de apoyo como resistencia a la contracción del pavimento presentándose algunos esfuerzos de tensión los cuales deben ser considerados para no provocar grietas transversales.

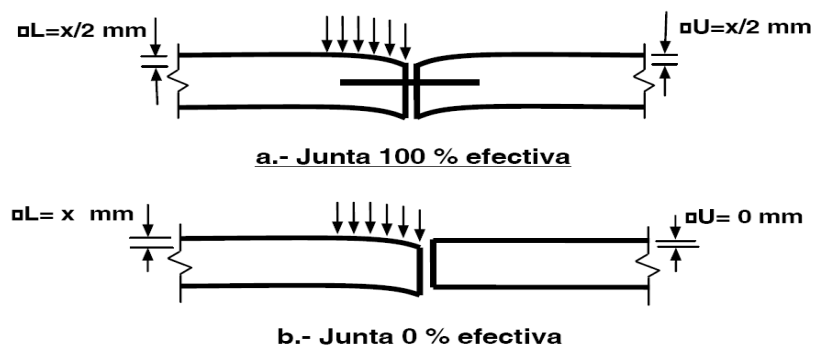
11.2.13 Gradientes

Se deben tomar en cuenta los esfuerzos provocados por gradientes de temperatura y humedad que contribuyen al agrietamiento y se presentan generalmente después de fraguado el concreto, estos esfuerzos provocan el alabeo de las losas que combinado con las cargas pueden provocar grietas transversales adicionales a las grietas iniciales y en pavimentos con dos carriles de circulación además se formará una grieta longitudinal a lo largo de la línea central del pavimento.

11.2.14 Eficiencia en las juntas

Los pasa-juntas deben diseñarse para transmitir las cargas de una losa a otra; se considera que una junta es 100 % efectiva si logra transferir la mitad de la carga aplicada al otro lado de la junta como se indica la Figura 1 caso "a", y que la junta no es efectiva cuando no se trasmite la carga como se indica en el caso "b", de la misma Figura.

Ilustración 11. Transferencias de cargas entre losas de pavimentos



Fuente: (MORA, 2009)

La transferencia de carga se debe evaluar midiendo las deflexiones en cada lado de la junta dada una aplicación de carga, por lo que para conocer el % de eficiencia de la junta (E) se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 11: Eficiencia entre juntas

$$E = \frac{2 \Delta U}{\Delta L + \Delta U}$$

Dónde: ΔL = Deflexión del lado cargado de la junta.

ΔE = Deflexión del lado no cargado de la junta.

Debido a la acción de grupo de pasa-juntas, las losas tendrán una deformación equivalente por el paso de los vehículos con una eficiencia del 100 %, en estas circunstancias las reacciones serán iguales y cada una tendría un valor de 0.5 de la carga. Un pavimento podrá diseñarse con juntas con o sin pasa-juntas dependiendo del tipo de estructura deseada, el tipo de tránsito y las condiciones ambientales, para tránsitos intensos y pesados se debe utilizar varilla lisa de 1 ¼” y 1 1/2 “de diámetro.

11.3 MANUAL CONSTRUCTIVO PARA CARPETAS DE RODAMIENTO RIGIDAS

11.3.1 Barras de amarre y barras pasa juntas

Se deben utilizar varillas lisas para barras pasa-juntas y corrugadas para barras de amarre, de acero estructural grado 60, con límite de fluencia de 4,200 kg/cm², de acuerdo con la especificación ASTM A-615.

11.3.2 Cimbras

- ✓ Las cimbras laterales serán metálicas y peralte igual al del pavimento, reforzadas para darles rigidez.

- ✓ Las placas para formar juntas machihembradas serán de metal, con espesor no menor del calibre 16 y tendrán las perforaciones necesarias para pasar la pasa junta, según lo indique el proyecto.

11.3.3 Material de sello para Juntas

11.3.3.1 Selladores

El material de sello para juntas transversales y longitudinales, debe ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotores, con propiedades adherentes con el concreto, que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas sin agrietarse y capaz de sellar efectivamente la junta contra infiltraciones de humedad o de materias nocivas.

El material no debe fluir fuera de la junta ni desprenderse al paso de las llantas de los vehículos, debiéndose emplear productos a base de silicón o similar de bajo módulo, autonivelable de un solo componente y que no requiera la adición de un catalizador para su curado.

11.3.3.2 Sellado de juntas

Con el propósito de minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles al interior de la junta del pavimento, se deben utilizar sellos líquidos o sellos a compresión los cuales deben soportar esfuerzos alternados de compresión y de tensión, producidos por los cambios de temperatura y de humedad.

11.3.3.3 Selladores líquidos

Los selladores líquidos de un solo componente pueden ser colocados en frío, al ser autonivelable, toman la forma de las cajas que los contienen, un sellado satisfactorio depende de una correcta adhesión de las caras de la junta.

Ilustración 12. Construcción y sellado de juntas



Fuente: (Cemex, 2002)

11.3.3.4 Selladores pre moldeados a compresión:

Deben cumplir con lo indicado a continuación:

- Para el diseño de este tipo de selladores se debe calcular el movimiento de los extremos de las secciones de la losa, después se seleccionara el sellador prefabricado que pueda absorber una deformación igual o menor al valor calculado, si el movimiento calculado es mayor a la compresión admisible del sellador prefabricado, entonces se debe escoger un sellador más deformable.
- La profundidad de la caja para alojar el sello de la junta, debe ser mayor que la profundidad del sello.
- El ancho del sello debe ser aproximadamente el doble del ancho de la caja.
- El diseño de la caja y la selección del sello a compresión deben asegurar que el sello se mantenga a un nivel de compresión entre el 20 y el 50%.
- A mayor temperatura durante la instalación se requiere más compresión del sellador ya que la losa tenderá a expandirse.
- La geometría para aplicación del sellador debe efectuarse atendiendo los movimientos esperados suponiendo varias temperaturas y el tamaño del sellador pre-moldeados.
- Los sellos pre-moldeados deben contar con al menos 5 celdas.

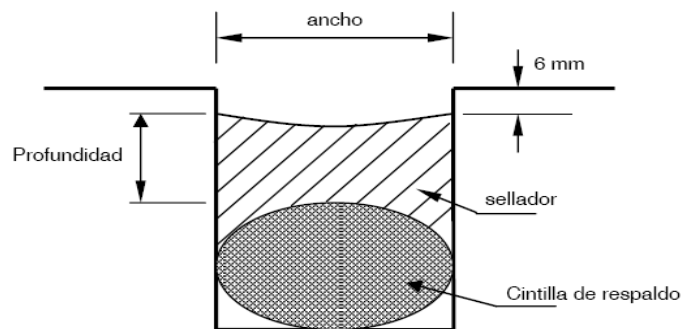
11.3.3.5 Cintilla de respaldo

Su diámetro debe ser un 25% mayor que el ancho de la caja que alojará la junta, para asegurar un debido ajuste e impedir que el sello líquido fluya hasta el fondo de la junta.

11.3.3.6 Caja para alojar el sello de la junta

Para eliminar esfuerzos excesivos en el interior del sellador y a lo largo de la línea de unión del sellador con la caja para la junta, en los factores de forma se debe tomar en cuenta que el material de sello debe quedar ligeramente abajo del lecho superior de la losa (0.6 cm), el factor de forma (F_y) queda definido por la relación que existe entre la profundidad y el ancho, siendo para el caso de selladores líquidos en caliente $F_f = 1.0$ y para silicón líquido $F_f = 0.50$ (Ver figura)

Ilustración 13. Caja para sello de junta



Fuente: (Cemex, 2002)

11.3.3.7 Tirillas de respaldo

Debe ser de espuma de polietileno y compatible con el sellador de silicón.

11.3.3.8 Concreto

El concreto debe ser responsabilidad del productor de concreto, premezclado, de acuerdo a las especificaciones particulares del proyecto; considerando además los siguientes aspectos:

- ✓ Resistencia mínima a la flexión por tensión (MR) entre 35 y 50 kg/cm².
- ✓ El revenimiento debe estar comprendido desde 6 hasta 12 cm.
- ✓ El peso volumétrico debe ser mayor a 2,200 kg/cm².
- ✓ Se debe indicar en las especificaciones particulares del proyecto el tipo de exposición a la que estará expuesto el concreto estructural a fin de que el Ingeniero proyectista considere los principales parámetros que afectan la durabilidad.

11.3.4 Diseño geométrico requerido

El diseño geométrico será realizado en la Ingeniería de detalle del proyecto tomando en consideración los siguientes aspectos.

Rasante longitudinal: La elevación mínima respecto a la del proyecto deberá ser del 0.6%. La rasante máxima será limitada por las capacidades del equipo extendedor.

Anchos de calle: El ancho de las vialidades dependerá del tránsito que deben soportar, es común establecer un ancho mínimo del orden de 7 m, con una pendiente transversal del 2%. Se recomienda que no existan variaciones fuertes en anchos y pendientes. Son comunes los carriles con anchos de 3.0 a 3.6 m para disminuir el riesgo de que los conductores rebasen en carriles sencillos.

Anchos de carriles de estacionamiento en calles: Pueden adoptarse los siguientes criterios para los anchos de los carriles de estacionamiento adyacentes a las guarniciones: 2.4 m para el caso de que predominen automóviles, y de 2.7 a 3.0 m para el caso de que por la vialidad circulen camiones pesados. En arterias principales

el ancho de estos carriles puede llegar de 3.0 a 3.7 m, lo que permitirá que sirvan incluso para dar vuelta No son recomendables anchos menores.

Juntas: Otro aspecto del diseño geométrico son las juntas longitudinales y transversales cuyas consideraciones de diseño ya fueron presentadas en este documento.

11.3.5 Drenaje

11.3.5.1 Conjunto sub-base-acotamiento- losa

- a) El pavimento de concreto debe contar con un drenaje adecuado a fin de evitar la expulsión de los finos de las capas inferiores.
- b) Se debe mantener el sellador impermeable en la zona de juntas, a fin de evitar el ingreso y movimiento de finos vía agua hacia los acotamientos o a otras zonas adyacentes de la losa.

11.3.5.2 Superficie del pavimento

Se debe establecer un drenaje adecuado en la superficie del pavimento considerando un bombeo del 2.0 % mínimo en un sentido para desalojar el agua de lluvia.

11.3.6 CONSTRUCCION DE CARPETAS RIGIDAS

- Deben proveerse las señales de advertencia para proteger la obra, al público y controlar el tránsito, se colocarán barricadas en las calles o tramos cerrados al tránsito y se proporcionará iluminación adecuada durante la noche.
- Deben colocarse estacas y referencias topográficas para trazar los ejes constructivos, pendientes y niveles.
- Se debe impregnar la superficie terminada con un riego de asfalto FM-1 con el fin de protegerla del tránsito de trabajadores, para que no absorba agua del concreto fresco cuando este se coloque y posteriormente permita el

deslizamiento de la losa de concreto por efecto de expansiones y contracciones.

- Si no se ha especificado la colocación de algún material impermeable sobre la superficie de la sub- base, ésta se debe humedecer con agua antes de vaciar el concreto, evitando su acumulación.
- Para preservar a la estructura del pavimento de la humedad proveniente del exterior, se dispondrá un drenaje superficial sellando las juntas entre las losas y entre estas y la guarnición; la pendiente transversal de la superficie de rodamiento (bombeo) será del 2% del eje longitudinal del pavimento hacia las orillas en calles hasta de 12 m de ancho.
- En los lugares donde existan tuberías localizadas dentro de las zonas por pavimentar, el espesor sobre ellas formado por las terracerías, la sub- base y la losa de concreto, no será menor de 50 cm.

11.3.7 Cimbras (Formaletas)

- La colocación de la cimbra debe ir siguiendo el alineamiento y niveles que sean indicados por la brigada de topografía. Se sujetarán con troqueles (Pines) de varilla del No. 3 al No. 5, cuya longitud mínima sea igual al doble del espesor del pavimento, colocadas a cada 1.0 m aproximadamente.
- Las cimbras deben tener la forma adecuada para dar a la superficie lateral de la losa la forma requerida y las perforaciones necesarias que permitan el paso del refuerzo. Al colocarlas deben quedar apoyadas en toda su longitud y al nivel especificado. Las depresiones debajo de la cimbra deben rellenarse y compactarse con pisón manual o mecánico y las zonas sobre elevadas se nivelarán haciendo cortes.

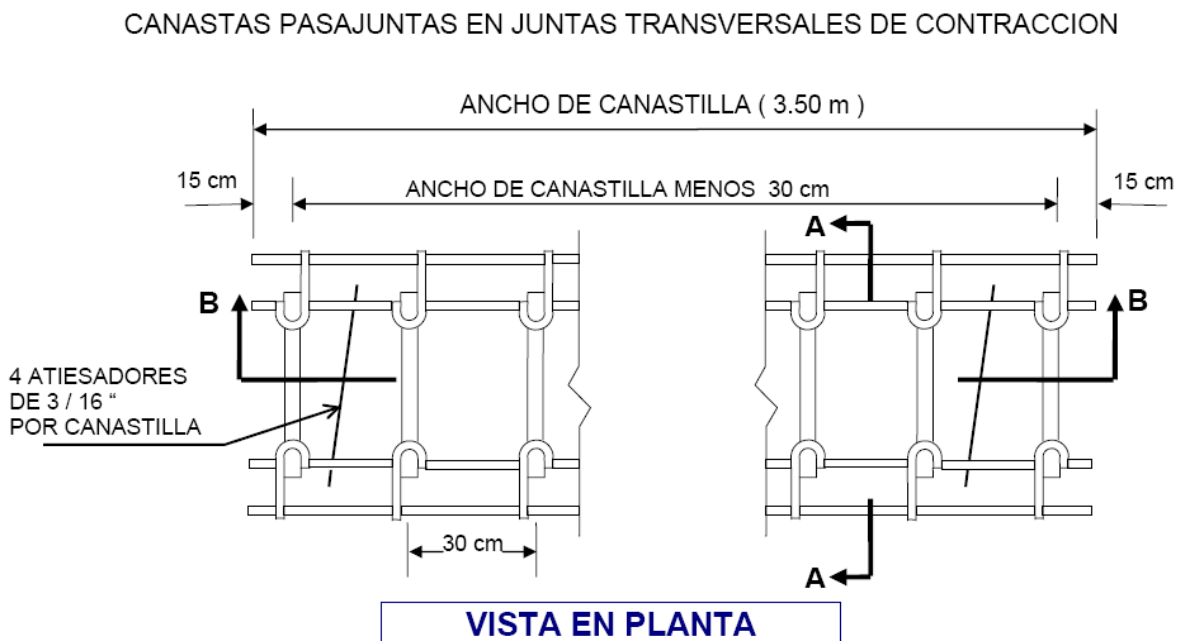
- Las secciones de la cimbra deben unirse de tal manera que no se desplacen en ninguna dirección, verificando la alineación y nivelación de la cimbra. La tolerancia en el alineamiento de la cimbra será de 6mm. La cimbra Debe limpiarse y engrasarse inmediatamente antes de vaciar el concreto.
- Los desperfectos que se causen a la sub-base al colocar la cimbra deben corregirse antes de vaciar el concreto por cuenta del Contratista.
- No debe removerse la cimbra antes de 8 a 12 h. después de colocar el concreto. A temperaturas menores de 10 ° C no se removerá antes de 36 h. Si se empleó cemento de fraguado normal. Al retirar la cimbra se extremarán las precauciones para no dañar el concreto.

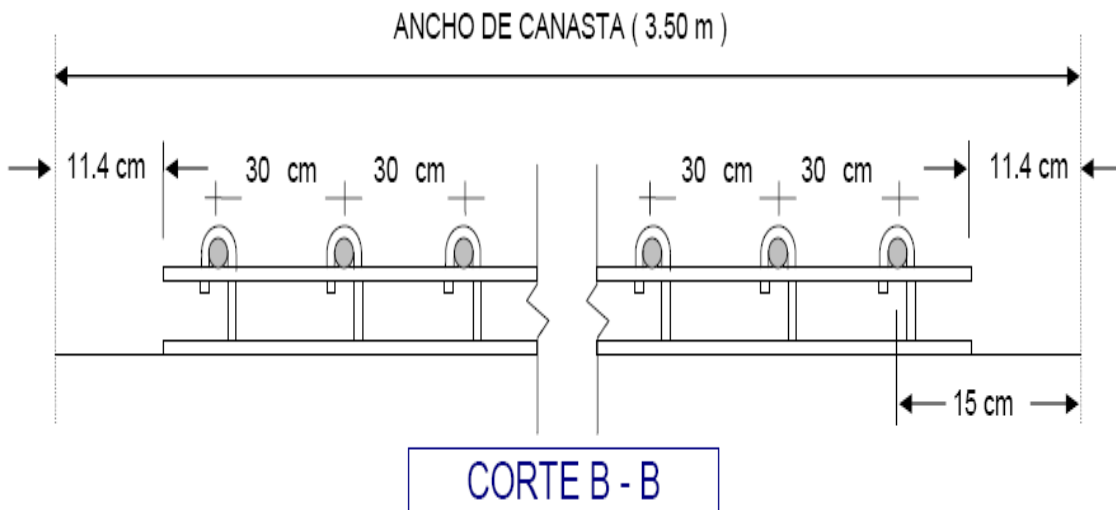
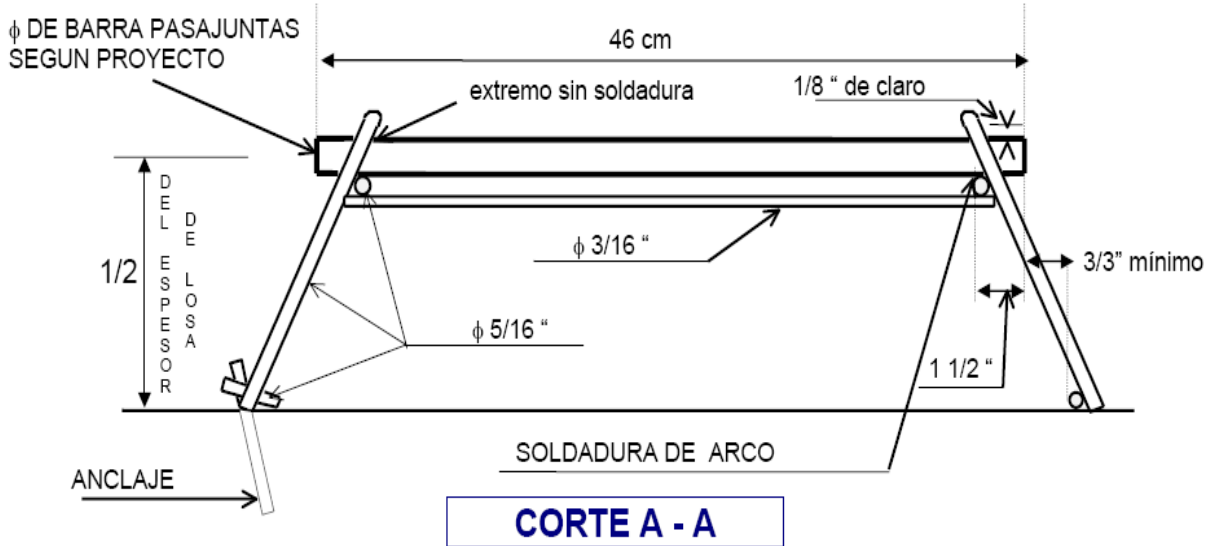
11.3.8 Colocación de Barras pasa juntas

- Los casquillos de metal para los pasa juntas cubrirán los extremos de estas en una longitud no menor de 5 cm ni mayor de 7.5 cm; el otro extremo del casquillo estará cerrado.
- Las barras pasa-juntas deben ser recubiertas con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto.
- Los espesores recomendados de la película de lubricante son del orden de 0.013 cm ya que con este espesor el concreto puede acomodarse alrededor de manera adecuada. El contratista deberá lubricar toda la pasa-junta a fin de que la resistencia a la extracción no sea mayor de 90 kg.

- Las barras pasa-juntas podrán ser instaladas por medios mecánicos o por medio de canastas metálicas de sujeción las cuales deben asegurar las pasa-juntas en la posición correcta de proyecto.
- En la colocación de pasa-juntas se debe garantizar su alineamiento vertical y horizontal a fin de evitar restricciones en los movimientos de las losas en sus extremos.

Ilustración 14. Esquema de canastas pasa juntas





Fuente: (Cemex, 2002)

- Las pasa juntas deben colocarse paralelas a la superficie de apoyo y en planta deben también ser paralelas al eje del camino.
- Deben estar libres de irregularidades, de tal manera que las losas puedan moverse libremente.

- El concreto alrededor del acero deberá compactarse correctamente evitando la presencia de bolsas de aire o segregaciones.
- Las propiedades anticorrosivas deben cumplir con la norma AASTHO-M254 “Standard Specification for Corrosion Resistant Coated Dowel Bars”
- Las barras de amarre deben quedar ahogadas en las losas a la mitad del espesor del pavimento.

11.3.9 Colocación del concreto hidráulico

Se realizará de manera continua mediante rodillo vibratorio vaciado sobre la sub-base, esparciéndolo a todo el ancho del pavimento a paleo manual, la superficie que recibe el concreto debe limpiarse y humedecerse para evitar que absorba el agua de la mezcla, se deben colar franjas correspondientes a un día de pavimentación.

Ilustración 15. Cuadrilla colocadora de Concreto Hidráulico



Fuente: (MORA, 2009)

11.3.10 Vibrado y perfilado de la losa

- Se debe vibrar en las orillas cercanas a la cimbra utilizando un vibrador manual, posteriormente se debe pasar la regla o el rodillo vibratorio para compactar dando de dos a tres pasadas y finalmente una más con el rodillo sin vibrar para mejorar el acabado, en caso de llevar barras pasa juntas, estas se colocarán antes de que pase la regla o el rodillo vibratorio, después de pasado el rodillo deberá utilizarse una flotadora de aluminio o magnesio en sentido transversal para dar el perfilado definitivo al pavimento.
- El concreto se consolidará con vibrador de inmersión, el cual tendrá una frecuencia de vibración mínima de 5000 ciclos por minuto. Los obreros que caminen sobre la masa de concreto deben usar botas de hule, limpias de tierra, aceite o cualquiera sustancia perjudicial al concreto. No se permitirá agregar agua para remezclar el concreto.

Ilustración 16. Conformación de concreto con codal Vibratorio



Fuente: (MORA, 2009)

11.3.11 Texturizado y curado de la superficie de rodadura

- El concreto debe tener un acabado micro-texturizado longitudinal, arrastrando una tela de yute húmeda a lo largo de la losa cuando el concreto está fresco.
- Se aplicará también un texturizado transversal hecho con peine metálico con separación entre dientes de 1.9 cm y de profundidad máxima entre 6.4 mm y 3.0 mm, esta operación se debe realizar cuando el concreto este lo suficientemente plástico para permitir el texturizado, pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por el peine.
- Posteriormente el concreto debe ser curado con membrana base agua mediante aspersores manuales, esta operación se realizará cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial y debe aplicarse de manera uniforme y en cantidad suficiente para garantizar una membrana impermeable y consistente que evite la evaporación del agua que contiene la mezcla de concreto.

Ilustración 17. Texturizado manual



Fuente: (MORA, 2009)

11.3.12 Creación de las Juntas

- El proceso de corte transversal y longitudinal de las losas para formar las juntas de contracción se ejecutará inmediatamente después de iniciado el proceso de fraguado inicial. Se deben utilizar para esto, cortadoras mecánicas con discos de diamante para corte con agua, en todos los casos se debe respetar una modulación de losas no mayor a 1.4 en su relación largo / ancho.
- La profundidad del corte deberá ser de $\frac{1}{3}$ del espesor de losa para garantizar la creación de un plano de falla, el ancho de este corte será de $\frac{1}{8}$ de pulgada, posteriormente a este corte y antes de la aplicación del sello, se debe ensanchar, utilizando dos discos para formar una junta de $\frac{1}{4}$ de pulgada, este ensanchado se debe realizar a una profundidad de $\frac{3}{4}$ de pulgada para alojar la tirilla de respaldo y el sellador.

Ilustración 18. Cortes y modulación en la losa



Fuente: (MORA, 2009)

11.3.12.1 Juntas transversales de contracción

Se deben efectuar mediante corte con disco de diamante cuando el concreto haya desarrollado la suficiente resistencia para resistir los desmoronamientos (6 a 8 horas) en los bordes de la junta y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento, el corte debe ser al menos $1/3$ del espesor de la losa ($d/3$) y tener un ancho mínimo de $1/8$ de pulgada (3mm).

11.3.12.2 Juntas transversales de construcción

Se deben realizar con la utilización de una cimbra (formaleta) de cabecera asegurando evitar una superficie áspera en los trabajos de terminado, los pasa-juntas se colocan a través de la cimbra en unos agujeros previamente perforados, se debe efectuar una consolidación adicional al concreto para asegurar un satisfactorio encajonamiento de las pasa-juntas.

11.3.12.3 Juntas longitudinales de construcción

Se forman en el borde de la losa ya sea por una protuberancia con una pavimentadora de cimbra deslizante o uniendo a la cimbra una cuña o diente de metal o madera de la forma, dimensiones y profundidad adecuada.

11.3.12.4 Juntas longitudinales de contracción

Se forman efectuando un corte con disco en el concreto endurecido o formando una ranura en el concreto fresco, la profundidad del corte o de la ranura deberá ser de un tercio del espesor ($d/3$) y el tiempo o el momento para hacer el corte inicial no es tan crítico como en el caso de las juntas transversales de contracción ya que el movimiento de contracción longitudinal no es tan significativo como la contracción transversal, sin embargo se debe efectuar antes de que cualquier equipo pesado o vehículo circule sobre el pavimento con el tiempo de fraguado similar a lo indicado en el inciso "a" de esta sección para eliminar agrietamientos prematuros por condiciones extraordinarias de caídas de temperatura.

11.3.12.5 Juntas de aislamiento

En el plano de la unión entre las losa de pavimento y las estructuras que estén dentro de la superficie del mismo o adyacentes, incluyendo las guarniciones, se hará una junta de aislamiento, con ancho de ½" a 1" (12 a 25 mm) rellenas con material compresible tipo colatex o similar, colocado mediante estacas en la base y una vez que el concreto ha endurecido, se retiraran ¾" (20 mm) del relleno para dejar espacio al sello de la junta.

11.3.12.6 Sellado de las juntas

La parte superior de las juntas de expansión y las juntas con otras estructuras, se llenarán con un sellador cuyo tipo deberá estar especificado en el proyecto. La operación de sellar se efectuará después de terminar de curar el concreto y antes de poner en servicio el pavimento. Antes de colocar el material de sello, las juntas se deben limpiar perfectamente con agua y aire a presión garantizando que no existan polvos ni mortero en las caras expuestas, una vez limpia y seca la junta, se procederá a colocar una tira de respaldo que efectivamente impida la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta, posteriormente se colocará el sellador el cual no deberá manchar la zona adyacente a la junta.

11.3.13 Consideraciones para trabajos en climas fríos y cálidos

- a. No se deber vaciar el concreto cuando la temperatura ambiente exterior sea menor o igual a 4°C.

- b. En clima frío, la temperatura de la mezcla no será menor de 15 °C ni mayor de 27°C los agregados o el agua pueden calentarse antes de mezclar pero en ningún caso la temperatura del agua será mayor a 80 °C y de los agregados sea mayor a 65 °C grados.

- c. Si recién terminada la losa la temperatura baja a 2 °C o menos, el concreto se cubrirá con paja, hierba o cualquier material que conserve una temperatura de cuando menos 10 °C sobre la superficie del concreto.
- d. En clima caluroso no debe mezclarse el concreto si la temperatura de la mezcla no puede mantenerse a un máximo de 32°C, la temperatura del cemento en el momento de emplearse no debe ser mayor de 70°C.

13.3.14 Vaciado del concreto en la pasa junta

- El concreto no se debe vaciar directamente sobre los pasa-juntas, debe colocarse lo más cerca posible y con una pala irlo colocando simultáneamente a ambos lados de ella cubriendo las pasa-juntas y teniendo cuidado al vibrar de no mover la junta ni los pasa juntas. Si se llegara a desalinearse algún pasa-junta, debe volverse a colocar en su posición antes de terminar de colocar el concreto.
- Inmediatamente después de terminar el acabado de la losa, y antes de que el concreto alcance su fraguado final, deben afinarse los bordes de la junta con la herramienta adecuada, retirando todo el concreto que haya quedado sobre el material de relleno de la junta.

11.3.15 Guarniciones integrales o sujetadas

Si bien, es común colocar las guarniciones y camellones de manera separada, es recomendable utilizar los equipos extendedores que cuenten con dispositivos adaptadores (formas) en sus orillas, para que en una sola pasada se coloquen y queden integrados el pavimento y las guarniciones.

11.3.16 Tolerancias

El trabajo terminado debe quedar dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

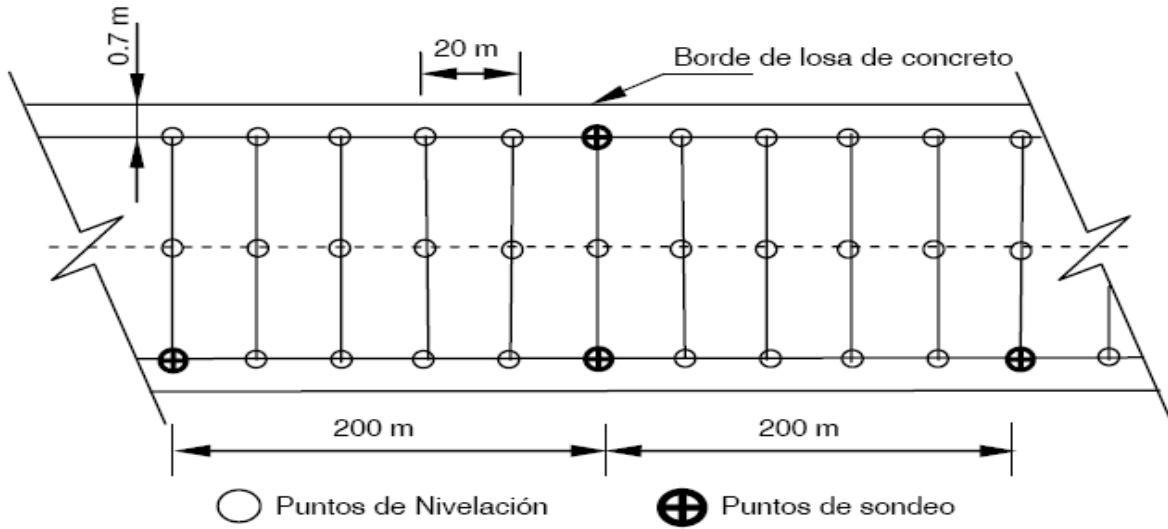
Tabla 10: Tolerancias en el Trabajo terminado

Tolerancias	
Ancho de la losa del eje a la orilla	+ 10 cm
Pendiente transversal con respecto a la del proyecto	± 0.5 %
Profundidad máxima de depresiones, medidas colocando una regla de tres metros paralela al eje de la calle	0.5cm
Espesor de la losa de concreto:	$e_r \geq e$
Se determinará el espesor de la losa por medio de nivel fijo. Se nivelarán los puntos que se muestran en la Figura 8, nivelando primero sobre la sub base terminada, y luego en los mismos puntos, sobre la losa de concreto terminada.	En el 80% de las mediciones, como mínimo.
	$e_r \geq e - 0.5\text{cm}$
	En el 20% de las mediciones, como máximo.
Dónde: e: espesor de proyecto.	
er: espesor	
Real determinado en el campo.	

Fuente de tabla 11: (MORA, 2009)

Cuando se considere necesario, la verificación del espesor se complementará extrayendo con broca núcleos (corazones) de concreto, en los puntos señalados en la siguiente figura:

Ilustración 19. Puntos de verificación de espesor de la losa de concreto



Fuente: (MORA, 2009)

12 CONCLUSIONES

A lo largo del presente documento se han venido planteando un sin número de aspectos relacionados con el diseño y construcción de las carpetas de rodamiento que constituyen a los pavimentos rígidos. Estos aspectos son de gran importancia ya que permiten comprender el funcionamiento de los métodos de diseño y del producto terminado, por lo tanto se llega a las siguientes conclusiones:

1. Se presentaron los diferentes tipos de carpetas con las que se dispone para el mejoramiento o apertura de un tramo de calle o carretera. Estas son:
 - Carpetas rígidas con y sin acero de refuerzo estructural
 - Con y sin acero de pasa juntas (este tipo de carpetas son ideales para climas tropicales y para alojar altos, medios y bajos volúmenes de tránsito esperado en la zona de la vía).
2. Se definieron las variables requeridas para el diseño estructural de las carpetas rígidas. Dentro de las cuales se destacan las siguientes:
 - a) Calidad de los materiales para la elaboración del concreto.
 - b) La resistencia de diseño del concreto.
 - c) Evaluación de la Sub rasante.
 - d) Análisis del tránsito esperado.
3. Se dieron a conocer las metodologías o filosofías para diseño estructural de las carpetas Rígidas (AASHTO edición 1993 y PCA edición 1984); con el objetivo de utilizarlas en la aplicación práctica de este manual.
4. Se configuraron dos casos prácticos con datos variables donde se aplica la metodología AASHTO edición 1993 y PCA edición 1984 para ilustrar el diseño estructural de las carpetas rígidas.
5. Se configuró un conjunto de normas y especificaciones técnicas para la construcción de las carpetas rígidas; las cuales se presentan en este documento como una propuesta de manual constructivo.

13 RECOMENDACIONES

1. Para efecto de formulación de un sistema de pavimentación, antes de elegir cualquiera de los tipos de carpetas rígidas disponibles, es de vital importancia hacer un muy buen estudio de tránsito, del suelo de fundación y de la disponibilidad de los agregados que cumplan con las especificaciones técnicas para materiales descritas en este documento.
2. En las variables de diseño es importante hacer una muy buena estimación de los volúmenes de tránsito y aplicar un buen juicio al momento de realizar la proyección a futuro de estos volúmenes; esto con el propósito de obtener la vida útil del sistema de pavimento proyectado.
3. Para el diseño estructural, es preciso hacer mención que la metodología AASHTO edición 1993, posee una base empírica y la metodología de la PCA edición 1984, una base Mecánica-empírica. Es decir que gran parte los resultados que se obtuvieron en cada uno de los métodos están basado en el comportamiento real de los sistemas de pavimentos proyectados, la mayoría de estos por medio de ensayos a escala real. Por tal motivo, es recomendable utilizar la metodología PCA edición 1984 porque considera un análisis por fatiga originado por la aplicación de las cargas y un análisis por erosión lo cual nos brinda resultados que representan mejor el comportamiento real del sistema de pavimentación.
4. En el ámbito constructivo, al momento de realizar la grieta inducida o corte transversal y longitudinal, es de vital importancia respetar la relación de aspecto y la profundidad de la grieta. Por otra parte al momento de terminar el trabajo de campo es importante recordar seguir la separación de los sondeos recomendados en este documento, esto con el objetivo de no deteriorar la losa terminada.

14 BIBLIOGRAFIA

- Cemex2002 Especificaciones de Materiales Mexico, DFCemex
- Escuela de Ingenieria de Antioquia2002. Clasificacion de Suelos, Antioquia
Escuela de Ingenieria de Antioquia
- 2002 Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos
GuatemalaUSAID/SIECA
- Manual de diseño de Pavimentos de Concreto, Para vias de bajos, medios y
altos volúmenes de Transito.2008Medellin, Colombia, INSTITUTO
COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO
- 2000 Manual de Pavimentos Rígidos de CEMEXMexico D.FCEMEX
- Ministerio de Transporte e Infraestructura M.T.I2008Red Vial Nacional Managua
Nicaragua, Centro AmericaDivicion General de Planificacion/Administracion
Vial/Oficina de Inventario Vial
- 2007Transportation Research CircularILINOIS E.E.U.UTransportation Research
Circular

15 ANEXOS

✚ Pavimentos Rígidos en Centro América y México

Anexo I. Losa de concreto Hidráulico en calle de San Salvador, El Salvador



Anexo II. Colada de Losa con Pasa juntas México



Comentario: Esta es la secuencia de trabajo más utilizada a nivel regional y México.

✚ Carpetas de rodamiento rígidas en Nicaragua

Anexo III. Pavimentos Rígidos Construidos en Diversos Lugares de Nicaragua

(Sin Acero de Refuerzo, son los más utilizados)



Comentario: Este tipo de carpeta son las más comunes y esta es la técnica constructiva utilizada por los contratistas que se dedican a la colocación de concreto Hidráulico premezclado a nivel Nacional.

Anexo IV. Terminal aérea en la Región Autónoma de Atlántico Norte de Nicaragua



Comentario: En la colocación de esta losa estructural de esta terminal aérea se utilizó máquinas de rodillo vibratorio.

Anexo V. Secuencia de construcción y acabados en losas para altas especificaciones



Comentario: esta es la secuencia de cepillado de la superficie terminada de las carpetas rígidas y la disposición del acero de estructural de la pasa junta.

Anexo VI. Pavimentadoras de Rodillo Vibratorio



Comentario: Este es el tipo de maquinaria especializada en la colocación y nivelación de las carpetas rígidas, son ideales para colocar grandes cordones hasta de un carril de concreto y grandes espacios como pisos industriales.