

# MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN VIAS CON MEDIOS Y ALTOS VOLUMENES DE TRANSITO



**INSTITUTO  
NACIONAL  
DE VIAS**

*Modernizamos la red vial*



República de Colombia  
**MINISTERIO DE TRANSPORTE**

# MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASEALTICOS EN VIAS CON MEDIOS Y ALTOS VOLUMENES DE TRANSITO



**INSTITUTO  
NACIONAL  
DE VIAS**

*Modernizamos la red vial*



República de Colombia  
**MINISTERIO DE TRANSPORTE**

REPÚBLICA DE COLOMBIA  
Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías

MAURICIO CARDENAS SANTAMARIA.  
Ministro de Transporte

GUSTAVO ADOLFO CANAL MORA  
Director General - Instituto Nacional de Vías

DARIO LONDOÑO GOMEZ  
Secretario General Técnico - Instituto Nacional de Vías

ANA MARIA GOMEZ JARAMILLO  
Secretaria General Administrativa - Instituto Nacional de Vías

DAVID GONZÁLEZ HERRERA  
Jefe Oficina de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico - Instituto Nacional de Vías

ALFONSO MONTEJO FONSECA  
Interventor

## PERSONAS E INSTITUCIONES PARTICIPANTES

ASESOR  
ALEJANDRO J. TANCO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
MARGARITA POLANCO DE HURTADO  
JULIA E. RUIZ ESTRADA  
CARLOS A. BENAVIDES BASTIDAS  
ALFONSO MURGUEITIO VALENCIA  
ROSALBA FERNANDEZ GONZALEZ  
EUGENIO CHAVARRO BARRETO  
LUIS ALEJANDRO BETANCUR  
EFRAIN SOLANO FAJARDO



ISBN 958-96558-1-5

Popayán, Cauca, 1998

La preparación de este manual se ha realizado con el mayor cuidado y empleando los más recientes conocimientos de la ingeniería de pavimentos; sin embargo, el Instituto Nacional de Vías no asume responsabilidades por las consecuencias de cualquier utilización inadecuada del mismo.

# CONTENIDO

---

Pág.

## CAPITULO 1 CONSIDERACIONES GENERALES

1.1	INTRODUCCIÓN	3
1.2	FILOSOFÍA DE DISEÑO	3
1.2.1	Objetivos	3
1.2.2	Contenido de la guía y aspectos básicos utilizados en el diseño	3

## CAPITULO 2 PERÍODO DE DISEÑO

2.1	PERÍODO DE ANÁLISIS Y PERÍODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL	7
2.2	SELECCIÓN DEL PERÍODO DE ANÁLISIS Y DEL PERÍODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL	7
2.2.1	Selección del periodo de análisis	7
2.2.2	Selección del periodo de diseño estructural	8

## CAPITULO 3 ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

3.1	INTRODUCCIÓN	13
3.2	CONFIGURACIONES TÍPICAS Y CARGAS REGLAMENTARIAS	15
3.2.1	Configuraciones típicas	15
3.2.2	Reglamentaciones sobre pesos y cargas de los vehículos	15
3.3	FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR TIPO DE VEHÍCULO	16
3.4	RANGOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS	17
3.5	DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL Y POR CARRIL DE VEHÍCULOS PESADOS	18
3.6	PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO Y CÁLCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERÍODO DE DISEÑO	18
3.6.1	Proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el periodo de diseño para el nivel 1	19
3.6.2	Proyección del tránsito y el cálculo del número de ejes equivalentes en el periodo de diseño para el nivel 2	23

Pag.

## CAPITULO 7 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS

7.1	INTRODUCCIÓN	61
7.2	COSTOS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE UN PAVIMENTO DURANTE EL PERÍODO DE ANÁLISIS ECONÓMICO	61
7.3	ALGUNOS COMENTARIOS RELATIVOS AL ANÁLISIS ECONÓMICO	63
7.4	EL COSTO GLOBAL ACTUALIZADO (CGA) COMO CRITERIO DE COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES	64
7.5	PARÁMETROS GENERALES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	65
7.5.1	Políticas de mantenimiento rutinario	65
7.5.2	Rehabilitación al término del período de diseño estructural	65
7.5.3	Valor residual (VR)	65
7.5.4	Tasa de descuento (a)	66
7.6	EJEMPLO DE CÁLCULO DEL COSTO GLOBAL ACTUALIZADO (CGA) DE UNA ALTERNATIVA ESTRUCTURAL	66

## CAPITULO 8 CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS

8.1	INTRODUCCIÓN	69
8.2	MÉTODO DE DISEÑO	69
8.2.1	Justificación de la selección del método de diseño	69
8.2.2	Consideraciones particulares del diseño	70
8.2.3	Verificación estructural del método de diseño	71
8.3	CARTAS DE DISEÑO	72
8.3.1	Carta de Diseño No. 1	73
8.3.2	Carta de Diseño No. 2	78
8.3.3	Carta de Diseño No. 3	83
8.3.4	Carta de Diseño No. 4	88
8.3.5	Carta de Diseño No. 5	93
8.3.6	Carta de Diseño No. 6	98

## CAPITULO 9 EJEMPLOS ILUSTRATIVOS PARA EL MANEJO DEL MANUAL

9.1	EJEMPLO NUMERO 1	101
9.1.1	Datos del tránsito	101
9.1.2	Cálculo del tránsito	101
9.1.2.1	Cálculo del número ejes equivalentes existentes al año base	101
9.1.2.2	Proyección del tránsito en el período de diseño	102
9.1.2.3	Confiabilidad en la estimación del tránsito	102
9.1.3	Factores ambientales	102
9.1.4	Caracterización de la subrasante	103
9.1.5	Diseño de las estructuras de pavimento	103

## PROLOGO

---

Tradicionalmente, el diseño de los pavimentos asfálticos en el país se ha realizado utilizando métodos de aceptación mundial como el SHELL, el AASHTO y el INA ó el denominado método MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte) propuesto en el año 1970 y que supone una mejor adaptación a las condiciones prevalecientes en Colombia, por cuanto está basado en las experiencias del Laboratorio de Investigaciones del Transporte del Reino Unido (TRL) en países tropicales. La escogencia del método y la valoración de los parámetros de entrada requeridos por dicho método, tales como el periodo de diseño, el entorno climático, la magnitud del tránsito, la capacidad de soporte de la subrasante, los tipos de capas a utilizar y las características de comportamiento a fatiga de sus materiales han estado supeditadas al buen juicio y experiencia del ingeniero diseñador. Como es de suponer, ha sido frecuente encontrar que para condiciones similares se hayan propuesto estructuras fundamentalmente diferentes con la consecuente incertidumbre en la racionalidad y conveniencia económica de una u otra.

Con el propósito de establecer una metodología que permitiese uniformizar tanto el método de diseño como los criterios para calificar las condiciones imperantes en un proyecto particular, el Instituto Nacional de Vías contrató al ingeniero Alejandro Tanco, experto de nacionalidad argentina, para que, apoyado por un grupo de profesionales de la Universidad del Cauca, redactara el presente Manual, que constituye la guía de procedimiento y ofrece el catálogo de estructuras con las alternativas de solución para cada caso específico.

El catálogo fué elaborado tomando como base el método AASHTO versión 1993 y la categorización de las principales variables obedeció a un detallado análisis del espectro de climas, cargas vehiculares, suelos de subrasante y materiales presentes en las diferentes regiones del país. Además, las estructuras propuestas son consecuentes con las condiciones económicas de una nación en vías de desarrollo y están en plena concordancia con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y las Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras, recientemente adoptadas por la entidad.

El Instituto Nacional de Vías, al hacer entrega del MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN VÍAS CON MEDIOS Y ALTOS VOLUMENES DE TRANSITO, agradece de antemano a las personas e instituciones vinculadas con el tema las sugerencias y comentarios que permitan mejorar y actualizar las futuras ediciones del documento.

Santa Fe de Bogotá, Noviembre de 1998.



CAPITULO 1

---

CONSIDERACIONES  
GENERALES



## 1.1. INTRODUCCIÓN

Los procedimientos para el diseño estructural de pavimentos asfálticos presentados en este documento son aplicables a carreteras y autopistas interurbanas y caminos rurales en la República de Colombia. No están contemplados los diseños de pavimentos para áreas urbanas ni los pavimentos de hormigón de cemento portland.

Los diseños y metodología están basados en una combinación de métodos existentes, experiencia y la teoría fundamental de comportamiento de estructuras y materiales. Sin embargo, los procedimientos propuestos no necesariamente excluyen otros métodos de diseño, pudiendo el proyectista dar soluciones verificadas con otros instrumentos, pero respetando las recomendaciones generales dadas en la presente guía. El catálogo de estructuras fue definido utilizando principalmente el método AASHTO.

La estructura del pavimento tiene el propósito de proteger la subrasante por medio de la provisión de capas de diferentes materiales con el fin de alcanzar el nivel de servicio deseado, con rehabilitación durante el período de análisis al menor costo posible. Para ello, se deberán considerar factores de tiempo, tránsito, materiales, suelos de subrasante, condiciones ambientales, detalles constructivos y económicos. La guía cubre un rango de tipos de pavimentos y materiales actualmente usados en la práctica local, además de nuevas tipologías que se creyó conveniente incluir, por la eficiencia demostrada en otros lugares del mundo con características similares a las colombianas.

Con esta normativa de diseño se pretende uniformizar los estudios de pavimentos en el país y lograr soluciones equivalentes mediante la utilización del catálogo, donde todas las estructuras propuestas tienen iguales índices de serviciabilidad inicial y final.

## 1.2 FILOSOFÍA DE DISEÑO

Cuando un pavimento alcanza el fin de su vida útil, es usualmente rehabilitado de alguna forma, para que sea capaz de proporcionar un nuevo período de servicio. Para que el proyectista pueda hacer una comparación justa entre los nuevos pavimentos alternativos propuestos, se requiere una base común de comparación, que generalmente son los costos.

Una comparación puede ser hecha tomando en cuenta la capacidad estructural inicial del pavimento y las estimaciones de las medidas de rehabilitación que probablemente serán necesarias para mantener el pavimento en condición de servicio durante un período de análisis adecuado.

### 1.2.1 Objetivos

El propósito del diseño es producir un pavimento estructuralmente balanceado que pueda soportar el tránsito con un alto nivel de confianza para el período de diseño en las condiciones ambientales dadas y un aceptable nivel de servicio sin importantes fallas estructurales. El pavimento estará capacitado para soportar el tránsito durante todo el período de análisis económico por medio de varias medidas de mantenimiento y rehabilitación. El valor presente de los costos de las alternativas de diseño deberá ser calculado durante el período completo de análisis considerando los costos de mantenimiento y rehabilitación, el valor residual y el pavimento más económico.

### 1.2.2 Contenido de la guía y aspectos básicos utilizados en el diseño

En esta guía se presentan ocho capítulos, aparte del presente. Cada capítulo será tratado separadamente, pero deben ser considerados todos los capítulos antes que pueda



CAPITULO 2

---

PERÍODO DE DISEÑO

## 2.1 PERÍODO DE ANÁLISIS Y PERÍODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

El período de análisis (PA) es un período convenientemente planeado durante el cual es indeseable una reconstrucción de la vía. El período de diseño estructural (PDE) está definido como el período durante el cual esta previsto, con alto grado de confiabilidad, que no se requerirá ningún mantenimiento estructural. Con el fin de satisfacer el objetivo del diseño; de seleccionar el pavimento óptimo en términos del valor presente de los costos globales, es necesario considerar la forma en que se espera que el pavimento se desempeñe durante el período de análisis. La manera en que la estrategia de diseño puede ser presentada dependerá, en gran medida, de la relación entre deterioro y tiempo y/o número de ejes equivalentes, la cual muestra una tendencia generalizada de la disminución en calidad de circulación con el tiempo y el número acumulado de ejes equivalentes.

## 2.2 SELECCIÓN DEL PERÍODO DE ANÁLISIS Y DEL PERÍODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Para la selección de los períodos de análisis y diseño, las vías se clasifican como se presenta en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Categorías de las vías

CATEGORÍA DE LA VÍA				
	I	II	III	Especial
Descripción	Autopistas interurbanas, caminos interurbanos principales	Colectoras interurbanas, caminos rurales e industriales principales	Caminos rurales con tránsito mediano, caminos estratégicos	Pavimentos especiales e innovaciones
Importancia	Muy Importante	Importante	Poco importante	Importante a poco importante
Tránsito promedio diario	> 5.000	1.000 – 10.000	< 1.000	< 10.000

### 2.2.1 Selección del período de análisis

El período de análisis es un período de cómputo de costos reales en vías nuevas. Existe una diferencia entre el período de análisis y el período total sobre el cual la ruta es usada. El período de análisis es a menudo relacionado con la vida geométrica. Si el trazado de la vía es fijo, se debe usar un período de análisis relativamente largo (por ejemplo, 30 años). En el caso de una vida geométrica corta, en una situación de tránsito cambiante, se debe usar un período de análisis corto. En el caso de un pavimento de vida limitada (por ejemplo, caminos de penetración) se deberá usar también un período de análisis más corto. El período de análisis influenciará el valor residual, usado en el Capítulo 7. La Tabla 2.2 muestra los rangos y períodos de análisis recomendados. Estos valores deberán ser usados para el análisis económico, de no existir información disponible más detallada.

**Categoría III**

Para las vías de la categoría II usualmente es más económico seleccionar un período de diseño estructural corto de 10 años. Sin embargo, cuando la rehabilitación estructural al final de dicho tiempo sea dificultosa o no práctica, se puede seleccionar un período más largo, hasta de 20 años, según muestra la Tabla 2.3

**Tabla 2.3 Períodos de diseño estructural recomendados**

Categoría de la vía	Período de diseño ( P.D.E) años	
	Rango	Recomendado
I	10-30	20
II	10-20	15
III	10-20	10
Especiales	7-20	10-15



CAPITULO 3

---

ESTIMACIÓN DEL  
TRÁNSITO DE DISEÑO

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta la metodología a seguir en la determinación del tránsito para el diseño de pavimentos asfálticos. El cálculo tiene como objetivo la cuantificación del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (N) que circularán por el carril de diseño durante un determinado período de diseño, que normalmente oscila de diez (10) a veinte (20) años según la categoría de la vía, seleccionada en el capítulo 2 de la presente guía de diseño.

El tránsito es uno de los parámetros de diseño fundamentales, y aunque se pueden permitir ciertas imprecisiones en la determinación de esta variable, siempre será necesario conocerla para poder determinar los espesores de las capas que constituyen el pavimento. Dentro del procesamiento de los datos relacionados con el tránsito, es necesario distinguir los siguientes aspectos:

- Tránsito promedio diario.
- Clasificación de vehículos.
- Factores de equivalencia de carga para cada tipo de vehículo.
- Distribución direccional.
- Distribución por carril
- Proyección de las variables en la vida de diseño.

El tránsito promedio diario es una de las variables fundamentales para la determinación del número de ejes equivalentes que solicitarán el pavimento. En general, se cuenta con conteos en secciones de rutas para las cuales existen cambios significativos de los volúmenes. Los conteos se ejecutan con el objeto de verificar fundamentalmente condiciones de operación, por lo que se realizan con mucha más frecuencia que los pesajes de vehículos.

La clasificación de los vehículos es otro aspecto de significativa importancia, ya que con ella se determina el número y la configuración de los vehículos pesados, que son los que interesan en la estimación del tránsito de diseño.

El factor de equivalencia de carga, también llamado factor camión, es el número que transforma los vehículos pesados en ejes simples cargados de 8.2 toneladas. En el factor se sintetizan la distribución de carga de los camiones, la configuración de los ejes del vehículo pesado y la magnitud de la carga que se transporta por la vía. La determinación de este factor necesita la ejecución conjunta de censos de carga, conteos volumétricos y de clasificación.

La distribución direccional es generalmente asumida por mitades (50% en cada dirección). Sin embargo, en algunos casos, la distribución de camiones pesados se da en un solo sentido, debido a que los camiones van cargados en ese sentido mientras que regresan descargados en el otro.

La distribución por carril toma importancia en los casos de calzadas de más de dos carriles. Aunque la mayoría de las vías colombianas son carreteras de dos carriles, se deben realizar consideraciones en este aspecto para los casos particulares, donde los niveles de tránsito son de tal magnitud que exigen vías multicarriles (accesos a ciudades).

Finalmente, un aspecto de primordial importancia consiste en la estimación del tránsito esperado durante la vida de diseño del pavimento. En la presente guía se reconocen dos niveles de sofisticación en la predicción de las cargas de tránsito, de acuerdo a la calidad de la información disponible, los cuales se detallan más adelante.

### 3.2 CONFIGURACIONES TÍPICAS Y CARGAS REGLAMENTARIAS

#### 3.2.1 Configuraciones típicas de vehículos

Dentro de la clasificación de los vehículos se contemplan principalmente tres categorías: autos, buses y camiones. Los buses se subdividen en buseta, bus y bus metropolitano. Los camiones se dividen, a su vez, en nueve grupos de acuerdo a la configuración de los ejes. En la Tabla 3.1 se presentan los esquemas correspondientes a cada clasificación de vehículos.

#### 3.2.2 Reglamentaciones sobre pesos y cargas de los vehículos

- **Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia.**

El Ministerio del Transporte, mediante diferentes resoluciones, ha reglamentado a través de los años los pesos y dimensiones máximos de los vehículos de carga que operan en el país.

De las diferentes resoluciones se ha establecido que la tendencia ha sido la de incrementar las cargas máximas permitidas, pero lo que normalmente ha ocurrido es que al autorizar un incremento en las cargas máximas, los transportadores tratan de reforzar sus vehículos y obtener cargas superiores a las autorizadas, situación que se ha visto favorecida por la carencia de un control adecuado de pesos.

La Tabla 3.2 presenta los pesos brutos vehiculares vigentes en Colombia para los diferentes tipos de camiones.

**Tabla 3.2 Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia**

TIPO DE CAMION	CONFIGURACION	PESO BRUTO VEHICULAR t
RIGIDO	C-2 CONVENCIONAL	16
	C-2 DIRECCION ADELANT.	
	C-3	28
	C-3 TANDEM MIXTO	23
	C-4a	36
	C-4b	
CAMION SEMIREMOLQUE	C2-S1	27
	C2-S2	32
	C2-S3	
	C3-S1	29
	C3-S2	48
	C3-S3	52
REMOLQUE	R2	16
CAMION REMOLQUE	C2-R2	31
	C3-R2	44
	C4-R2	48

**Tabla 3.4. Fórmulas Simplificadas para el cálculo del factor de equivalencia de carga por eje (AASHTO)**

<i>Tipo de Eje</i>	<i>Fórmula para el Cálculo del Factor de Equivalencia</i>
SIMPLE DE RUEDA SIMPLE	$\left( \frac{\text{Carga del Eje (Tn)}}{6.6} \right)^4$
SIMPLE DE RUEDA DOBLE	$\left( \frac{\text{Carga del Eje (Tn)}}{8.2} \right)^4$
TANDEM	$\left( \frac{\text{Carga del Eje (Tn)}}{15} \right)^4$
TRIDEM	$\left( \frac{\text{Carga del Eje (Tn)}}{23} \right)^4$

Para el cálculo del factor de equivalencia de un tipo de vehículo cualquiera se suman los factores de equivalencia de cada uno de los ejes componentes del vehículo.

De los pesajes de vehículos comerciales realizados a nivel nacional en el año 1.996 se obtuvieron los factores de equivalencia por tipo de camión para vehículos cargados que muestra la Tabla 3.5, los cuales pueden servir como referencia en las zonas donde se carezca de la posibilidad de realizar un análisis particular de cargas por eje mediante pesajes. Es importante anotar que según las encuestas de origen y destino realizadas por el Ministerio del Transporte en los años 1.992 y 1.993, solamente el 10% de los vehículos comerciales que circulan por las carreteras viajan vacíos; por esta razón, se sugiere utilizar los factores de equivalencia determinados para los vehículos cargados.

**Tabla 3.5. Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año de 1996.**

<i>Tipo de Vehículo</i>	<i>Factor de Equivalencia</i>	
BUSES	Bus	0.40
	Bus Metropolitano	1.00
C2P	C2P	1.14
C2G	C2G	3.44
C3 Y C4	C3	3.76
	C2 S1	3.37
	C4	6.73
	C3 S1	2.22
	C2 S2	3.42
C5	C3 S2	4.40
> C5	>C5	4.72

### 3.4 RANGOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS

Analizando la información del tránsito de la red vial nacional colombiana, las tendencias de crecimiento y desarrollo del país, se establecieron los siguientes rangos para fines del presente Manual, expresados en número de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas que circularán en el carril de diseño durante el período de diseño.



serie. Para realizar este procedimiento, se requiere el conocimiento de la serie histórica del tránsito promedio diario, de las composiciones y el factor de equivalencia por tipo de vehículo en el año de estudio o año base. Si se cuenta con resultados de varios pesajes durante el lapso de la serie histórica, éstos se involucrarán en el cálculo y se aumentará así el nivel de refinamiento en el pronóstico de N.

### 3.6.1. Proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño para el nivel 1

Cuando no se posean series históricas de tránsito o existan pocos datos en una serie histórica, se realiza la cuantificación del tránsito equivalente utilizando información de conteos de tránsito de una semana de duración y tendencias de crecimiento representativas de la zona de proyecto.

En caso de una vía nueva donde no es factible la realización de conteos, la información se obtendrá de encuestas de origen y destino realizadas en la zona de influencia del proyecto.

La expresión general a aplicar en este nivel será la siguiente:

$$N = (N_o - N_c) * ((1+r)^n - 1) / r + N_c$$

Donde:

N : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t que circularán por el carril de diseño durante el período de diseño (n).

N<sub>o</sub> : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t que circularán por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

N<sub>c</sub> : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t ya soportados por el carril de diseño del pavimento durante la construcción del mismo.

r : Es la tasa de crecimiento anual de tránsito de vehículos comerciales.

n : Número de años del período de diseño.

- **Estimación del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el año base (N<sub>o</sub>).**

Con el objeto de estimar el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumulado durante el período de servicio, es necesario obtener el tránsito equivalente al año base, que corresponde al año de habilitación de la vía al tránsito, previa corrección por el tránsito durante la construcción y el crecimiento propio desde el momento del diseño hasta el momento de habilitación.

Para la determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el año base (N<sub>o</sub>), se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Durante la construcción, las distintas capas del pavimento se ven sometidas a esfuerzos adicionales importantes ocasionados por los propios equipos de construcción. Este aspecto es raramente considerado por los proyectistas debido a su difícil cuantificación; sin embargo, se cree conveniente que en el momento del diseño se le considere y para su cuantificación se tenga en cuenta la eficiencia de los procesos constructivos realizados por las firmas contratistas nacionales.

El más completo de los casos corresponde a aquel que tenga datos de los tránsitos promedios diarios y de la composición vehicular además del espectro de cargas, determinado a partir de pesajes realizados en el sitio. En este caso, se procederá a determinar el factor de equivalencia de ejes de 8.2 toneladas por tipo de vehículo pesado, para luego calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el año de la medición de tránsito o proyecto del pavimento, corregido por el tiempo transcurrido entre éste y la puesta en servicio del pavimento, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$N_i = 365 \sum C_i * F_i * (1+r)^x$$

Donde:

$N_i$ : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el año de la medición de tránsito o proyecto del pavimento, corregido por el tiempo transcurrido entre éste y la puesta en servicio del proyecto.

$C_i$ : Es la cantidad de vehículos comerciales diarios del tipo ( $i$ ) que circula por la ruta en el año de relevamiento y estudio del pavimento.

$F_i$ : Es el factor de equivalencia que corresponde a cada pasada del vehículo comercial tipo ( $i$ ).

$r$ : Es la tasa de crecimiento anual de tránsito comercial, deducida de la serie histórica o asumida con base en parámetros macroeconómicos de la región.

$x$ : Es el tiempo, en años, transcurrido entre el proyecto y la puesta en servicio del pavimento.

Otra forma de presentar la expresión anterior, es considerando el factor camión global:

$$N_i = (\sum C_i) * F_c * (1+r)^x$$

$F_c$ : Factor de equivalencia global para los vehículos comerciales o factor camión global.

$$F_c = \sum C_i * F_i / \sum C_i$$

- **Estimación de la tasa de crecimiento de los vehículos comerciales ( $r$ ).**

Para la estimación de la tasa de crecimiento de los vehículos comerciales y como no se cuenta con datos de series históricas de tránsito, se sugiere asumir la tasa de crecimiento del tránsito ( $r$ ) con base en los parámetros macroeconómicos como crecimiento del producto interno bruto, crecimiento del parque automotor, etc. y analizando los parámetros de desarrollo de la región afectada por la vía.

A nivel de referencia, en la Tabla 3.8 se indican los rangos de valores de crecimiento de tránsito obtenidos en diferentes tramos de la red vial nacional, dependiendo de los niveles de tránsito promedio diario semanal.

Tomando como referencia los errores encontrados por la AASHTO, para estructuras de pavimentos flexibles, ( 0.49 para el error combinado de tránsito y comportamiento y 0.44 únicamente por comportamiento ) y asumiendo una distribución normal para la diferencia entre el tránsito real y el estimado, se encontró la expresión para proporcionar la confianza requerida en la variable tránsito:

$$N' = 10^{0.05Z_r} * N$$

Donde :

$N'$ : Es el tránsito equivalente corregido para proporcionar un determinado nivel de confianza.

$Z_r$  : El correspondiente a una distribución normal y a la confiabilidad deseada.

Para el caso del 90% de confiabilidad el  $Z_r$  es igual a 1.282 por lo tanto la expresión quedará.

$$N' = 1.159 N$$

### 3.6.2. Proyección del tránsito y el cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño para el nivel 2

En este nivel se dispone de datos históricos de tránsito. Los pasos a seguir son:

1. Establecer la serie histórica de TPDS de los últimos 10 años.
2. Convertir el TPDS observado en cada uno de los años de la serie histórica a ejes equivalentes acumulados durante ese año, en el carril de diseño.

Dicha conversión se deberá realizar para cada año de la siguiente manera:

$$N_{8.2t_{año i}} = 365 ( TPDS_i * \% VC_i * F_{C_{año i}} ) * F_d * F_{ca}$$

donde :

$N_{8.2t_{año i}}$  : Número acumulado de ejes de 8.2 t que circularon en año i, en el carril de diseño.

$año_i$  : Es uno de los años de la serie histórica.

$TPDS_i$  : Tránsito promedio diario semanal medido en el año i de la serie histórica (contabiliza el tránsito sumado en las dos direcciones).

$\% VC_i$  : Es el porcentaje de buses + camiones que se midió en el año i de la serie histórica.

$F_{C_{año i}}$  : Es el factor de equivalencia global para vehículos comerciales ó factor camión global del año i. Su determinación se realiza mediante la expresión consignada para este fin en el numeral 3.6.1.

$F_d$  : Factor de distribución direccional de los vehículos comerciales.

$F_{ca}$  : Factor de distribución por carril.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_{\text{modelo}_i})^2}{n' - 2}}$$

Donde :

$\sigma$  : Es el error estándar del modelo utilizado.

$Y_i$  : Es el valor observado o medido en el año  $i$ .

$Y_{\text{modelo}_i}$  : Es el valor estimado en el año  $i$ ; usando el modelo.

$n'$  : Es el número de puntos analizados en la serie.

$i$  : Varía de 1 a  $n'$ .

- b) Cálculo del error estandar en la predicción del tránsito ( $\sigma_{\text{pronóstico}}$ ) año por año, en el período de diseño.

$$(\sigma_{\text{pronóstico}})_j = \sigma * \sqrt{\frac{(X_j - \bar{X})^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} + \frac{1}{n}}$$

Es importante aclarar que los subíndices ( $i$ ) corresponden a los años de la serie histórica utilizada en la definición del modelo y los valores ( $j$ ) a los años de proyección en el período de diseño.

Donde:

$(\sigma_{\text{pronóstico}})_j$ : Es el error estándar de la estimación de  $Y_j$  en el año  $X_j$ .

$\sigma$  : Es el error estándar del modelo utilizado.

$X_j$  : Es el valor de la variable independiente (años) correspondiente a la predicción  $N_j$ .

$X_i$  : Es el valor de la variable independiente (años) observado o de la serie histórica utilizada en la definición del modelo.

$\bar{X}$  : Es el valor de la media de la variable independiente (años) observada o el valor del año medio de la serie histórica utilizada en la definición del modelo.

$n$  : Es el número de puntos analizados en la proyección o sea el número de años del período de diseño.



CAPITULO 4

---

FACTORES AMBIENTALES  
Y CLIMÁTICOS

#### 4.1 GENERALIDADES

Se define como medio ambiente el conjunto de condiciones climáticas (humedad y temperatura), bajo las cuales funciona una estructura de pavimento.

El clima influye de manera significativa en la durabilidad de los materiales que conforman las capas de un pavimento, en el comportamiento mecánico que presentan los diferentes suelos, especialmente los más susceptibles al agua, dependiendo de las condiciones de drenaje, en el contenido de humedad de equilibrio y, también, en el comportamiento reológico y envejecimiento de las capas ligadas con asfalto.

Por lo anterior los diseñadores de pavimentos deben considerar en los estudios las condiciones climáticas y evitar el uso de materiales susceptibles al agua ó muy sensibles a la temperatura.

Debido a la ubicación de Colombia en una zona intertropical de bajas latitudes, por la altura y la complejidad del relieve, por la influencia de los mares, la extensión del territorio y los vientos locales, se presenta en el país una diversidad grande de climas, desde selva tropical con altas temperaturas y precipitaciones, hasta zonas desérticas y zonas con nieves perpetuas.

La posición del país en la zona tropical hace que en las partes bajas se presenten temperaturas altas y uniformes durante todo el año. El sistema montañoso hace que la temperatura descienda a valores bajos, en algunos casos inferiores a 0 °C.

En el mapa de Climas de Colombia que se anexa, es posible visualizar la complejidad de éstos y ubicar las diferentes regiones de acuerdo con el clima que presentan.

#### 4.2. HIDROLOGÍA

El régimen de precipitaciones en el territorio colombiano se puede observar en el mapa de isohietas que se anexa. Este régimen es muy variado, observándose promedios anuales menores a 500 mm y valores superiores a los 8000 mm anuales.

Las corrientes de agua superficiales siguen la orientación sur-norte que presentan las tres grandes cordilleras colombianas y en la llanura oriental, el sistema hidrográfico tiene una orientación oeste – este.

Las diversas geomorfias existentes originan una red de drenaje muy densa, debido a la alta precipitación sobre la mayor parte del territorio: de ahí que Colombia sea uno de los países con mayor abundancia de recursos de agua superficial.

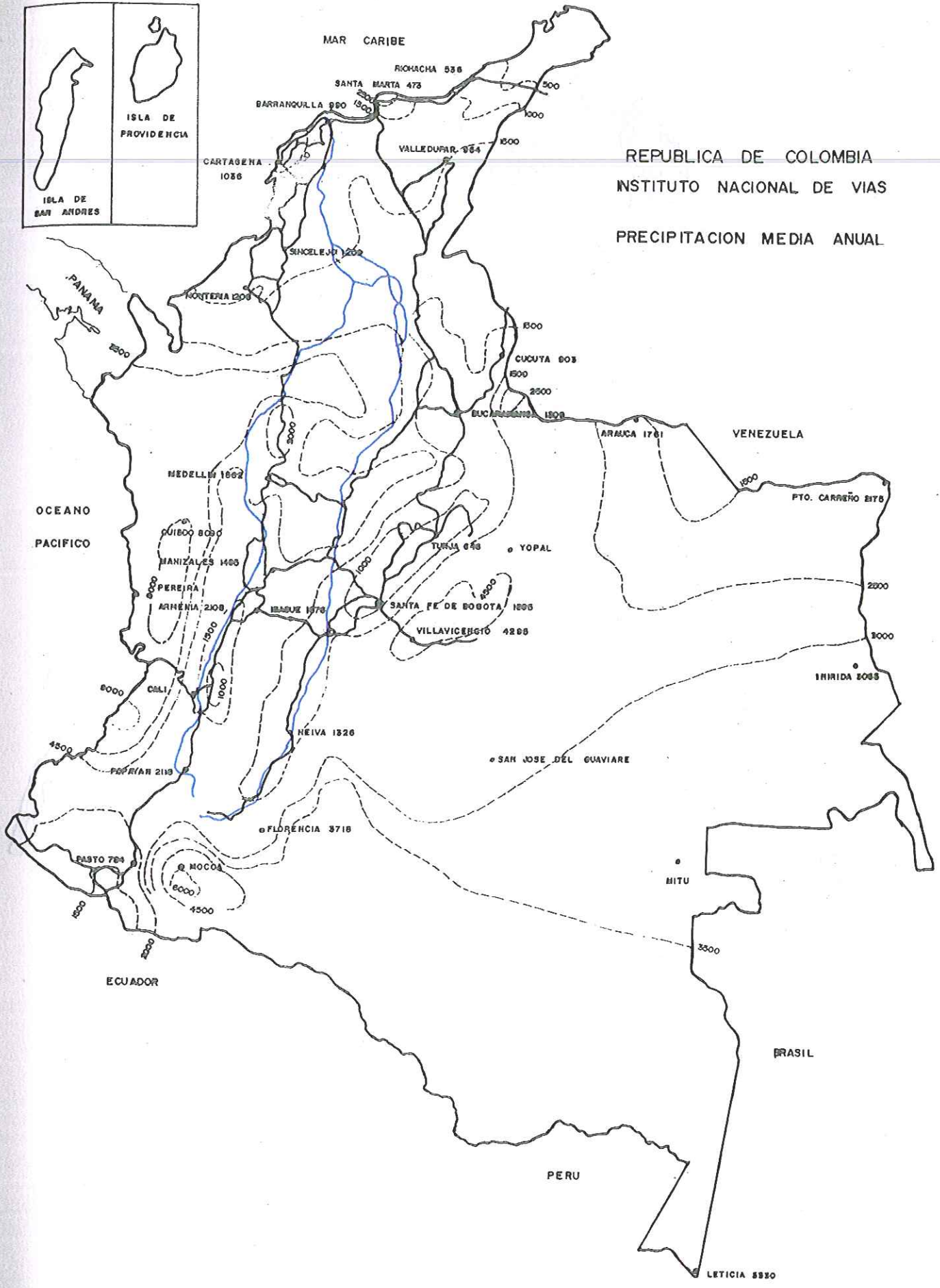
#### 4.3 TEMPERATURA

En Colombia, por su posición geográfica, se presentan temperaturas relativamente altas durante todo el año, pero existen zonas que, por su altitud, tienen temperaturas bajas que en épocas frías pueden llegar a los 0 °C.

En el mapa anexo se presentan las temperaturas medias anuales ponderadas TMAP, de las ciudades capitales y las correspondientes a los tramos de la red vial que se utilizaron como muestra para escoger los rangos de TMAP, que abarcan las temperaturas del país.



REPUBLICA DE COLOMBIA  
 INSTITUTO NACIONAL DE VIAS  
 PRECIPITACION MEDIA ANUAL



#### 4.4 REGIONES CLIMÁTICAS

Con base en las temperaturas y precipitaciones, el país se ha dividido en seis regiones climáticas, con el fin de que la variable clima se involucre en forma apropiada en el diseño de estructuras de pavimento.

**Tabla 4.1 Regiones climáticas según la temperatura y precipitación**

No	REGIÓN	TEMPERATURA TMAP (°C)	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
R1	Fría seca y fría semihúmeda	< 13	< 2000
R2	Templado seco y templado semihúmedo	13 -20	< 2000
R3	Cálido seco y Cálido semihúmedo	20 – 30	< 2000
R4	Templado húmedo	13 – 20	2000 – 4000
R5	Cálido húmedo	20 – 30	2000 – 4000
R6	Cálido muy húmedo	20 – 30	> 4000

Para cada una de estas regiones climáticas se ha elaborado una carta de diseño y para la selección se recomienda el siguiente procedimiento:

##### 4.4.1. Determinar la temperatura media anual ponderada del proyecto (TMAP).

- Seleccionar las estaciones meteorológicas más cercanas al proyecto y consultar en el IDEAM las temperaturas medias mensuales de los últimos 10 años.
- Con las temperaturas medias mensuales establecidas en el paso anterior y de acuerdo con los criterios Shell, seleccionar los factores de ponderación mensuales y encontrar el factor promedio anual con el cual se determina el TMAP, para cada uno de los años de la serie histórica considerada en el análisis.
- Para encontrar el valor TMAP que define la escogencia de la Carta de Diseño, se debe calcular el promedio de los TMAP encontrados para cada uno de dichos años.
- La curva para definir los factores de ponderación, Figura 4.1, y el formato guía para el cálculo de TMAP °C, Tabla 4.2, se presentan mas adelante.

##### 4.4.2. Precipitación media anual

- Seleccionar las estaciones meteorológicas ubicadas más cerca del proyecto, donde las condiciones climáticas sean semejantes a las del sitio y consultar las precipitaciones anuales de los últimos 10 años.
- Determinar la media de las precipitaciones anuales en este período y con base en este valor y el TMAP se define la región que permite escoger en el catálogo la carta de diseño.

Aunque Colombia cuenta con una numerosa red de estaciones climatológicas, puede darse el caso de que cerca al proyecto no se encuentre ninguna estación





REPUBLICA DE COLOMBIA  
 INSTITUTO NACIONAL DE VIAS  
 T MAP

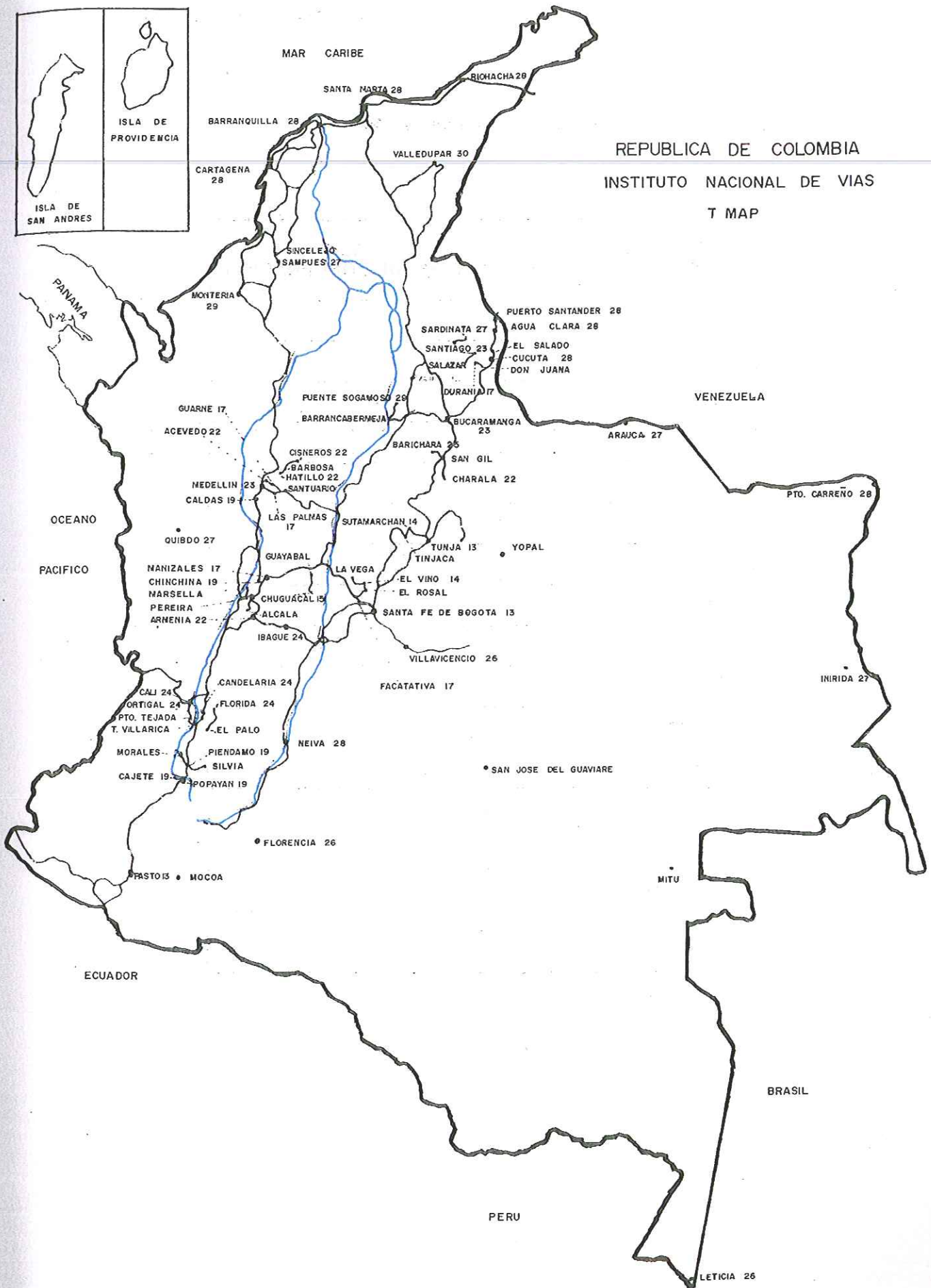
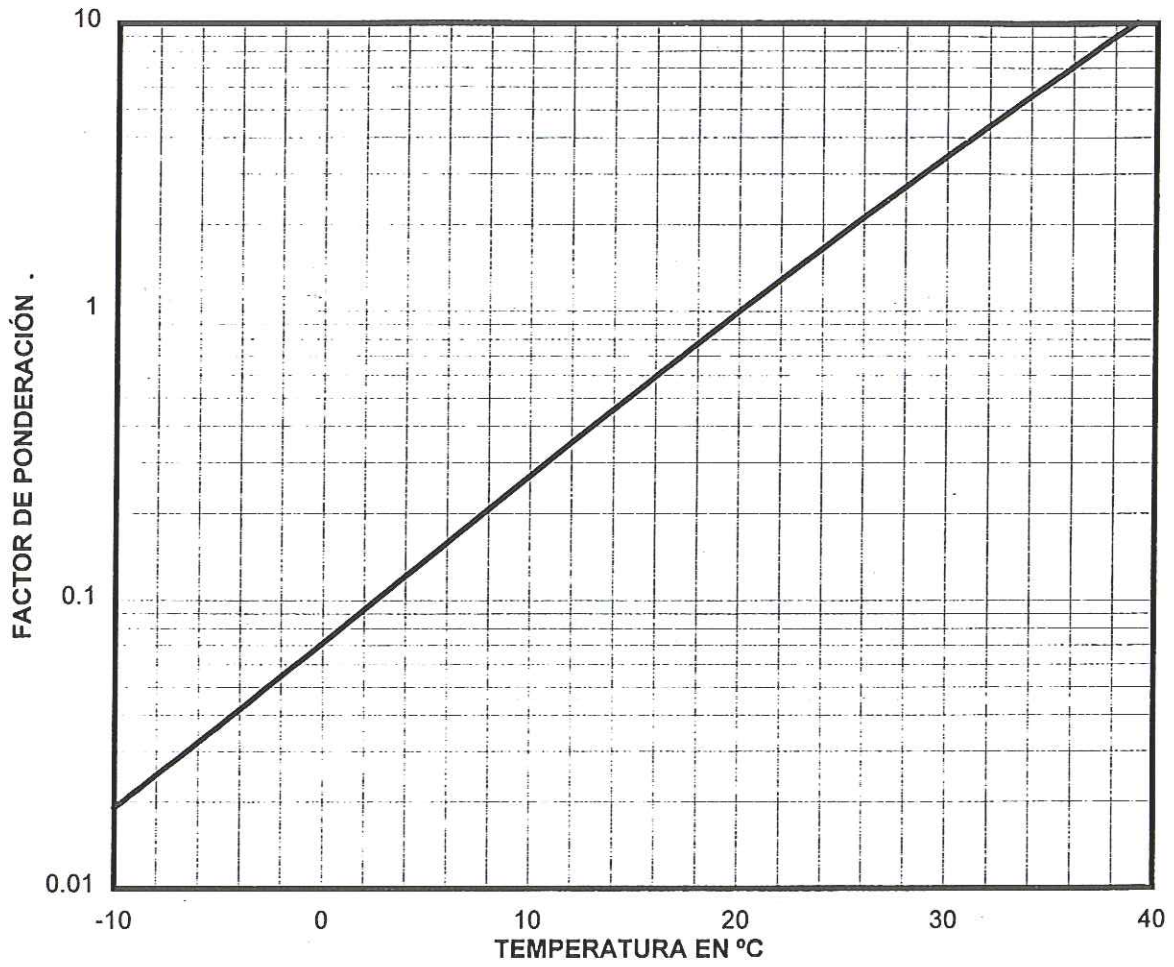


Figura 4.1  
FACTORES DE PONDERACIÓN PARA DETERMINACIÓN  
DE LA TMAP



AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMB.		OCTUBRE		NOVIEMB.		DICIEMBRE		TMAP	
	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	(5)	(6)
1987	24.7	1.79	25.0	1.86	24.4	1.72	24.1	1.66	24.0	1.64	24.4	1.72	25.0	1.86	25.0	1.86	24.3	1.70	24.1	1.66	24.8	1.81	24.7	1.79	1.76	24.6
1988	25.1	1.88	24.8	1.81	25.3	1.93	23.2	1.49	23.9	1.62	23.1	1.47	24.2	1.68	23.6	1.56	23.3	1.50	23.3	1.50	23.1	1.46	23.1	1.46	1.61	23.9
1989	23.6	1.56	23.7	1.58	23.6	1.56	24.1	1.66	23.6	1.56	23.7	1.58	24.3	1.70	24.6	1.84	24.0	1.64	23.7	1.58	23.7	1.58	23.6	1.56	1.62	23.9
1990	24.5	1.75	23.9	1.62	24.3	1.70	23.9	1.62	23.8	1.60	24.4	1.72	24.0	1.64	25.0	1.85	25.1	1.87	23.1	1.46	23.7	1.58	23.5	1.54	1.66	24.1
1991	24.7	1.79	25.1	1.88	23.9	1.62	24.1	1.66	24.1	1.66	23.8	1.60	24.0	1.64	24.2	1.68	23.3	1.51	23.7	1.58	23.5	1.54	24.1	1.66	1.65	24.1
1992	24.5	1.74	24.5	1.74	24.8	1.81	23.6	1.56	23.7	1.58	25.0	1.86	24.7	1.79	25.2	1.90	24.3	1.70	24.4	1.72	23.6	1.56	24.2	1.68	1.72	24.4
1993	24.1	1.66	24.4	1.72	24.2	1.68	24.3	1.70	24.0	1.64	23.9	1.62	24.1	1.66	24.3	1.70	23.9	1.62	24.3	1.70	23.3	1.50	24.3	1.70	1.66	24.1
1994	23.8	1.60	24.1	1.66	23.8	1.60	23.5	1.54	23.5	1.54	24.0	1.64	23.9	1.62	23.8	1.60	24.0	1.64	23.7	1.58	23.7	1.58	23.9	1.62	1.60	23.8
1995	24.1	1.66	24.1	1.66	24.0	1.64	23.5	1.54	23.6	1.56	23.6	1.56	23.6	1.56	23.6	1.56	23.9	1.62	23.5	1.54	23.7	1.58	23.5	1.54	1.59	23.7
1996	23.5	1.54	23.9	1.62	23.7	1.58	23.8	1.60	23.7	1.58	23.9	1.62	23.9	1.62	24.1	1.66	24.2	1.68	24.1	1.66	24.0	1.64	23.9	1.62	1.62	23.9
TMAP PROMEDIO PARA LOS 10 AÑOS																										
24.1																										

ESTACIÓN 2604501 IDEAM  
 TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN EL MUNICIPIO DE PUERTO TEJADA  
 DETERMINACIÓN DE TMAP PROMEDIO TOMADO UN PERIODO DE ANALISIS DE 10 AÑOS

TMAP PROMEDIO EN LOS 10 AÑOS = 24.1 °C

(5) Promedio del factor de ponderación. Tabla 4.2.

(6) TMAP °C. Tabla 4.2.



## CAPITULO 5

---

CARACTERIZACIÓN DE LA  
RESISTENCIA DE DISEÑO  
DE LA SUBRASANTE

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En Colombia se han identificado 25 grupos de suelos bien definidos como se aprecia en el mapa de suelos y en la Tabla 5.1, en donde se describe cada grupo con su correspondiente clima y rango estimado de CBR.

Tabla 5.1 Principales suelos de Colombia

CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN	CLIMA	RANGO DE % DE CBR ESTIMADO
1. CAFÉ	Cenizas volcánicas con abundancia de fragmentos rocosos limo-arenosos, ubicados en montañas.	De medio a frío con altas humedades	5-25
2. ROJO CLARO	Cenizas volcánicas. Limo-arenosas, ubicadas en lomeríos y altiplanicies.	Fríos húmedos.	5-20
3. AZUL CLARO	Suelos areno-arcillosos, ubicados en relieves de fuertemente ondulados a fuertemente quebrados.	Cálidos húmedos y muy húmedos.	5-15
4. RAYADO AZUL CLARO	Suelos sedimentarios ubicados en relieve ondulado a quebrado (lomeríos).	Cálidos, húmedos y muy húmedos.	3-10
5. AZUL CLARO RAYAS NEGRAS	Suelos sedimentarios areno arcillosos, ubicados en relieve ondulado.	Cálidos húmedos a muy húmedos.	5-15
6. AZUL CLARO RAYAS ROJAS	Suelos con porcentaje de arcilla < 35% localizados en altiplanos.	Cálidos húmedos y muy húmedos.	5-15
7. AZUL CLARO RAYAS VERDES	Suelos areno-arcillosos ubicados en montaña.	Cálidos húmedos y muy húmedos	5-15
8. AZUL OSCURO	Arenas cuarzosas ubicadas en relieves planos a ondulados y en altiplanicies. Depósitos eólicos.	-	5-30
9. AZUL OSCURO RAYAS NEGRAS	Suelos gruesos de origen ígneo o metamórfico con altos contenidos de arena cuarzosa ubicados en peniplanicies.	Húmedos.	20-50
10. NARANJA	Cenizas volcánicas, limo arenosas, ubicadas en montañas.	Medios, húmedos y muy húmedos.	3-25
11. NARANJA RAYAS NEGRAS	Cenizas volcánicas con altos contenidos de arcillas, ubicadas en piedemontes.	Cálidos secos y húmedos.	2-10
12. AMARILLO	Suelos con altos contenidos de partículas granulares, fragmentos de rocas y afloramientos rocosos, ubicados en montaña.	-	20-70
13. AMARILLO RAYAS NEGRAS	Suelos con altos contenidos de fragmentos de roca y afloramientos rocosos. Ubicados en relieve quebrado.	Cálido y muy húmedo	10-40
14. AMARILLO RAYAS VERDES	Suelos areno limosos con fragmentos de roca, localizados en piedemontes..	Cálidos, cálidos secos y húmedos.	10-40
15. RAYADO AMARILLO	Suelos con altos contenidos de fragmentos de roca, ubicados en altiplanicies.	Cálido y muy húmedo.	10-30
16. AMARILLO RAYAS ROJAS	Suelos con altos contenidos de fragmentos de roca, ubicados en lomeríos.	Cálidos húmedos y muy húmedos	10-20
17. VIOLETA	Suelos sedimentarios aluviales recientes, ubicados en planicies y valles.	Todos los climas, en áreas inundables.	20-40
18. VIOLETA CLARO	Suelos sedimentarios aluviales recientes. Ubicados en piedemontes.		20-60
19. NEGRO	Arenas eólicas ubicadas en planicies	-	10-30
20. ROSADO	Suelos arcillo arenosos. Ubicados en montaña,	Cálidos húmedos y muy húmedos	3-15
21. GRIS	Suelos areno limosos localizados en piedemonte.	Muy secos.	10-40
22. MAGENTA	Suelos de planicies y valles aluviales, areno arcillosos.	Cálidos, secos y húmedos.	10-20
23. MAGENTA RAYAS NEGRAS	Suelos areno arcillosos, ubicados en altiplanos.	Secos.	10-20
24. VERDE OSCURO	Suelo arcillo arenosos ubicados en planicies.	Fríos y secos.	3-10
25. VERDE CLARO	Suelos altamente erosionables.	Cálidos y secos	5-25

Teniendo en cuenta la diversidad de suelos, es conveniente considerar también una variedad de resistencias las cuales, con fines de diseño estructural, se agrupan en las cinco categorías descritas en la Tabla No. 5.2

**Tabla 5.2 Entornos de la resistencia**

CATEGORÍA	INTERVALO MODULO RESILIENTE (E) kg/cm <sup>2</sup>	INTERVALO C.B.R %
S1	300 – 500	3 ≤ CBR < 5
S2	500 – 700	5 ≤ CBR < 7
S3	700 – 1000	7 ≤ CBR < 10
S4	1000 – 1500	10 ≤ CBR < 15
S5	> 1500	CBR ≥ 15

Aunque es común encontrar módulos resilientes menores a 300 kg/cm<sup>2</sup> (CBR < 3%), no se contempla esta alternativa porque se considera que para poder utilizar estos suelos como subrasantes, requieren tratamiento especial de estabilización ó reemplazo parcial, con el fin de lograr valores mayores de resistencia.

## 5.2 DELINEACIÓN DE LAS UNIDADES HOMOGÉNEAS

Los métodos de diseño asumen que es posible determinar un valor específico de diseño para un suelo y condiciones climáticas dadas, presentándose una variabilidad en los resultados de los ensayos dentro de un rango determinado. Dicha variabilidad es un fenómeno natural que depende de varios factores, incluyendo características inherentes al suelo del lugar, métodos de muestreo, métodos de ensayo y otros.

La selección de las unidades homogéneas depende en gran medida de la geología, clima y topografía del área en consideración, y esta última tendrá un efecto pronunciado sobre la selección de las unidades homogéneas. Para mejores resultados se debe distinguir entre las zonas en que la subrasante estará constituida por suelos transportados de otros depósitos (terraplén), y las zonas donde el pavimento asentará sobre el suelo o roca del lugar (corte). En el caso de ser necesario recurrir a suelo de préstamo, se estudiarán de forma similar las posibles ubicaciones de estos depósitos. Fotografías aéreas pueden ser de gran ayuda para delinear estas zonas.

El problema de la variabilidad está dado no sólo por la heterogeneidad en el plano horizontal, sino también en el plano vertical. Esto se evidencia en los perfiles edafológicos, donde se observan los distintos horizontes geológicos que fueron depositándose a través del tiempo. Ello implica un especial cuidado durante el programa de muestreo, debiendo reconocer a que horizonte en particular pertenece la muestra de suelo extraída.

En resumen, de acuerdo con los estudios geológicos, (los cuales deben incluir la geología propiamente dicha, la geomorfología y el drenaje natural), con las condiciones climáticas y topográficas, con los estudios de tránsito y con los resultados de la investigación geotécnica preliminar, el proyecto se debe dividir en unidades homogéneas de diseño. Se debe delinear el menor número posible de unidades homogéneas. Casos localizados de inestabilidad geotécnica que afecten la subrasante, deben resolverse independientemente antes de generar otra unidad

**Tabla 5.5 Método Seed, Woodward and Lundgren**

POTENCIAL DE HINCHAMIENTO (%)	GRADO DE EXPANSIÓN
0 – 1.5	Bajo
1.5 – 5.0	Medio
5.0 – 25	Alto
> 25	Muy alto

**Tabla 5.6 Método de Lambe**

P.V.C	GRADO DE EXPANSIÓN
< 2.0	No crítico
2 – 4	Marginal
4 – 6	Crítico
> 6	Muy crítico

También con el fin de evaluar la homogeneidad de la zona desde el punto de vista de su comportamiento mecánico, se deben efectuar pruebas con el penetrómetro dinámico de cono y determinar el PDC a las profundidades recomendadas en la siguiente tabla, evaluando un espesor de 0.20m a partir de la profundidad propuesta, este procedimiento se recomienda cuando se trata de diseños de pavimentos de vías que en el momento del diseño estén en afirmado.

**Tabla 5.7 Profundidad mínima para realizar prueba con el penetrómetro dinámico de cono**

NO. EJES DE 8.2 TN ACUMULADOS EN EL PERIODO DE DISEÑO X 10 <sup>6</sup>	PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)
0.5 - 2.0	0.50
> 2.0	0.60

Basados en los resultados de laboratorio y de campo, se deben dibujar tanto el perfil estratigráfico, como los perfiles de índice de consistencia y de PDC

**5.2.1.2 Secciones en terraplén**

La investigación preliminar consistirá en buscar y evaluar los bancos de préstamo, mediante la realización de las pruebas estipuladas en el Artículo No. 220 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del I.N.V.

**5.2.2 Definición de las unidades homogéneas de diseño**

Superponiendo los resultados de los estudios geológicos, de tránsito, de clima y los geotécnicos preliminares, se deben escoger las unidades homogéneas de diseño. Las unidades deberán tener una extensión mínima de tres (3) kilómetros para facilitar la sistematización de los procesos constructivos y las programaciones económicas.

detalla más adelante.

El diseñador también puede contemplar esta alternativa cuando, a pesar de que la subrasante alcance módulos superiores a  $300 \text{ kg/cm}^2$ , considere más conveniente desde los puntos de vista técnico y económico trabajar con una subrasante más resistente que le permita solucionar con estructuras de espesor razonable problemas críticos, correspondientes a elevadas cargas del tránsito y severos climas.

**CASO 3: Tratar el suelo de la fundación mediante compactación, para conformar una capa subrasante con el suelo mejorado in situ.**

Para cada tipo de suelo diferente detectado en las unidades de diseño se tomarán muestras representativas para efectuar ensayos de módulo resiliente ó de CBR de laboratorio para las condiciones de densidad y humedad esperadas en obra, considerando las especificaciones de compactación para coronas de terraplenes y las condiciones climáticas del sector del proyecto.

El número de muestras por ensayar por tipo de suelo será el mismo recomendado para los casos anteriores.

**CASO 4: Subrasantes correspondientes a coronas de terraplén**

Cuando la subrasante corresponda a coronas de terraplén, se deben hacer ensayos de Módulos ó CBR de los suelos de préstamo seleccionados, con las condiciones de densidad y humedad esperadas, las cuales se estimarán con base en las características climáticas del sector del proyecto y la especificación de compactación dada para coronas de terraplén (Artículo No. 220, especificaciones generales de construcción de carreteras del I.N.V).

La cantidad de ensayos por realizar dependerá de la variabilidad del material y se determinará de acuerdo con los principios estadísticos que se detallan en los siguientes apartes. Se debe hacer un mínimo de cuatro (4) ensayos por banco de material homogéneo.

**CASO 5: Suelos de fundación de las estructuras del pavimento consideradas especiales.**

Si en la investigación preliminar se detectan depósitos de suelos problemáticos (expansivos, muy blandos y sensitivos), con importantes espesores, (más de 0.5 m a partir de cota de subrasante), se debe realizar una exploración intensiva de tal manera que se defina el depósito tanto longitudinalmente como en profundidad. De acuerdo a los resultados, se estudiarán alternativas para el manejo particular y estabilización de los suelos de fundación de la capa subrasante sobre la que se apoyará la estructura del pavimento en los tramos comprometidos con estos depósitos.

Una vez solucionada la fundación, se construirá una capa subrasante con suelo de préstamo; por lo tanto, se deberán realizar adicionalmente las actividades recomendadas en el Caso 2.



número dado de muestras son usadas; o, dicho de otro modo, cuántas muestras serán necesarias para que el resultado esté dentro de un determinado intervalo para alcanzar cierto grado de confianza en la estimación.

Estas preguntas pueden ser resueltas mediante el concepto de estimación estadística o niveles de confianza. La filosofía básica de estos niveles de confianza se explica por el concepto de la probabilidad o seguridad que la diferencia entre el valor medio de la muestra y el valor medio de la población esté dentro de los límites preestablecidos. Inicialmente se debe definir el error permitido es decir cuánto es conveniente que se aleje la media del muestreo ( $X_{med}$ ) de la media de la población ( $\mu$ ), posteriormente escoger el nivel de confianza o probabilidad de que la diferencia entre ( $X_{med} - \mu$ ) sea igual o menor que el valor establecido como máximo error permitido.

Se usará la expresión de intervalo de confianza de dos lados para una distribución Normal.

$$[X_{med} - \mu] = K_{\alpha/2} * [\sigma / (n)^{0.5}] = \text{Máximo Error Permitido}$$

Donde:

$K_{\alpha/2}$ : Es el número de veces que se debe contemplar la desviación estándar para lograr un determinado grado de confiabilidad

$\sigma$ : Desviación estándar encontrada para el MR ó el CBR en suelos similares en otros proyectos.

Se sugiere un nivel de confianza del 90% y un máximo error permitido en términos de % de C.B.R. igual a 1% para suelos finos y de 2% para suelos granulares, y en términos de MR igual a 100 Kg/cm<sup>2</sup> en suelos finos y 200 Kg/cm<sup>2</sup> en suelos gruesos.

Para el nivel de confianza del 90%:

$$\alpha/2 = (1-0.90)/2 = 0.05$$

$$K_{\alpha/2} = 1.645$$

#### Ejemplo ilustrativo:

De una experiencia antecedente, para una área de suelo determinada, la desviación estándar ( $\sigma$ ) para el CBR fue de 3.40. Determinar cuántas muestras se deberán utilizar para predecir el valor CBR medio con un error máximo permitido del 2% y con un nivel de confianza del 90%.

Se usará la expresión de intervalo de confianza de dos lados para una distribución normal.

$$K_{\alpha/2} * [\sigma / (n)^{0.5}] = 2\%$$

Para  $\alpha/2 = 0.05$  y  $K_{\alpha/2} = 1.645$  se tiene:

$$K_{\alpha/2} * [\sigma / (n)^{0.5}] = 1.645 * [3.40 / (n)^{0.5}] = 2\%$$

$$n = 7.8 \text{ muestras}$$

8 muestras serán necesarias para satisfacer los requerimientos del problema.



## CAPITULO 6

---

MATERIALES QUE COMPONEN  
LA ESTRUCTURA DEL  
PAVIMENTO

## 6.1 LISTADO GENERAL DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS Y CONVENCIONES

La selección de materiales para diseño de pavimentos está basada en una combinación de factores como calidad, disponibilidad, economía y experiencia previa de uso. Estos factores necesitan ser evaluados durante el diseño, en orden a seleccionar los materiales que mejor se adapten a las condiciones del proyecto.

El procedimiento de diseño generalmente tiene en cuenta las características de los materiales definidos en las especificaciones generales de construcción de carreteras del I.N.V. La clasificación de los materiales está dada en la Tabla 6.1. Se han establecido símbolo, código, descripción y especificaciones abreviadas; los códigos listados se usan extensivamente en el catálogo de diseño y en las normas de ensayo de I.N.V. Las especificaciones que aparecen abreviadas podrán consultarse en detalle en la Tabla 6.1.

## 6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

Esta sección describe los materiales de la Tabla 6.1 y sus principales características. La estructura de los diferentes tipos de pavimento consta de la combinación de estos materiales.

### 6.2.1 Suelos de subrasante

Suelos SR-1 a SR-2: Estos se pueden utilizar en coronas de terraplén ó para la construcción de capas de subrasante, casos 2 y 4 de subrasante considerados en el Capítulo 5. Los SR-3, suelos tolerables, sólo pueden emplearse en núcleos de terraplén o cimientó, no en subrasante. Especificaciones INV: Artículos 220 y 230.

### 6.2.2 Materiales de sub-base y base granular

Materiales SBG-1, BG-1 y BG-2: Para la construcción de sub-bases granulares, los materiales serán agregados naturales clasificados, o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas ó estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Para la construcción de bases granulares, será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción de partículas con trituración mecánica.

Para ambas capas, las partículas de agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.

Especificaciones INV: Artículos 300, 320 y 330.

### 6.2.3 Materiales para bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Materiales BEE-1 a BEE-3: Para bases estabilizadas con emulsión asfáltica los materiales pueden ser agregados pétreos o suelos naturales.

Los agregados pétreos BEE-1 y BEE-2 podrán ser triturados o naturales, clasificados, o una mezcla de ambos y deberán estar exentos de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial. Los BEE-3 pueden ser suelos de grano fino que sean pulverizables o disgregables económicamente, que se encuentren exentos de cantidades perjudiciales de materia orgánica, arcilla plástica, materiales micáceos y cualquier otra sustancia objetable.

Tabla 6.1 Convenciones para la identificación de los materiales y especificaciones

SIMBOLO	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
		Sub-base INV 320	
	SBG-1	Agregado grueso	$T_{MAX}$ 50 mm, % Pasa #4 = 30 a 70%, Pasa # 200 = 4 a 20%, $D \leq 50\%$ , $P \leq 12\%-18\%$ , $EA \geq 25\%$ , $IP \leq 6$ , $CBR > 20-30-40$ , 95% de Proctor Modificado.
		Base granular INV 330	$Tr \geq 50\%$ , $D \leq 40\%$ , $P \leq 12\%-18\%$ , $I_a \leq 35\%$ , $CBR \geq 80\%$
.....	BG-1	Triturado	$T_{MAX}$ 37,5 mm, % Pasa #4 = 30 a 60%, Pasa # 200 = 5 a 15%, $IP = \leq 3$ , Compactación 100% de Proctor Modificado.
.....	BG-2	Triturado	$T_{MAX}$ 25 mm, % Pasa #4 = 35 a 65%, Pasa # 200 = 5 a 15%, $IP = \leq 3$ , Compactación 100% de Proctor Modificado.
		Base estabilizada con emulsión asfáltica INV 340	Emulsión: CRL-1 ó CRL-1h Agua : Ph 5.5 a 8.0, $SO_4 \leq 1$ g/l Aditivos: INV 400 y 412
	BEE-1	Suelo grueso	$T_{MAX}$ 37,5 mm, % Pasa #4 = 30 a 60%, Pasa # 200 = 3 a 15%, $IP < 7$ , $D \leq 50\%$ , Compactación 95% de Proctor Modificado.
	BEE-2	Suelo grueso	$T_{MAX}$ 25 mm, % Pasa #4 = 30 a 60%, Pasa # 200 = 3 a 15%, $IP < 7$ , $D \leq 50\%$ , Compactación 95% de Proctor Modificado.
	BEE-3	A-1-b ó A-2-4	$EA \leq 90\%$ A-1-b y $20 \leq E.A. \leq 40\%$ A-2-4 $T_{MAX}$ 4,75 mm, % Pasa #200 = 5 a 25%, $CBR$ sin Estabilizar $\geq 15$ , $IP \leq 7$ , Compactación 95% de Proctor Modificado
		Base estabilizada con cemento INV 341	Cemento Portland: NTC 121 y 321 Agua : Ph 5.5 a 8.0, $SO_4 \leq 1$ g/l Suelo : $SO_4 \leq 0.5\%$
.....	BEC	Granular Grueso: A-1, A-2-4, A-2-5 ,A-3 Granular Fino: A-2-6, A-2-7, A-4, A-5 A-6, A-7	$T_{MAX} \leq 75$ mm y $< \frac{1}{2}$ del espesor de la capa compactada Pasa #4 $\geq 50\%$ , Pasa #200 $\leq 50\%$ $LL \leq 35$ , $IP < 15$ , % en peso de $SO_4 \leq 0,5$ .
		Mezcla densa en frío INV 440	Emulsión: CRL-1 ó CRL-1h Agua: Ph 5.5 a 8.0, $SO_4 \leq 1$ g/l Agregado: $Tr \geq 75\%$ , $D \leq 40\%$ Base, $D \leq 30\%$ Rodadura, $P \leq 12\%-18\%$ , $R_c \geq 75\%$ , $I_a \leq 35\%$ , Coef. $P \geq 0.45$ , $EA \geq 50\%$ , NP
	MDF-1	Triturado	$T_{MAX}$ 37,5 mm, % Pasa # 4 = 45 a 60, % Pasa # 200 = 3 a 8
	MDF-2	Triturado	$T_{MAX}$ 25 mm, % Pasa # 4 = 47 a 62, % Pasa # 200 = 3 a 8
	MDF-3	Triturado	$T_{MAX}$ 19 mm, % Pasa # 4 = 50 a 65, % Pasa # 200 = 3 a 8
		Mezcla densa en caliente INV 450	Cemento Asfáltico : 60 - 70 ó 80 - 100 Agregado: $Tr \geq 75\%$ , $D \leq 40\%$ Base, $D \leq 30\%$ Rodadura, $P \leq 12\%-18\%$ , $R_c \geq 75\%$ , $I_a \leq 35\%$ , Coef. $P \geq 0.45$ , $EA \geq 50\%$ , NP
.....	MDC-1	Triturado	$T_{MAX}$ 25 mm, % Pasa # 4 = 43 a 54, % Pasa # 200 = 4 a 8
.....	MDC-2	Triturado	$T_{MAX}$ 19 mm, % Pasa # 4 = 51 a 68, % Pasa # 200 = 4 a 8
.....	MDC-3	Triturado	$T_{MAX}$ 9,5 mm, % Pasa # 4 = 65 a 87, % Pasa # 200 = 5 a 10

D = % de desgaste;  $I_A$  = Indices de alargamiento y aplanamiento  
P = % de pérdida en solidez; Tr = % de partículas trituradas



## CAPITULO 7

---

EVALUACIÓN ECONÓMICA  
DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO  
DE PAVIMENTOS

## 7.1 INTRODUCCIÓN

Los métodos de evaluación económica de proyectos de pavimentos se aplican generalmente en dos niveles:

- Para adoptar decisiones al nivel de gestión de red sobre la factibilidad de construir o no un proyecto.
- Para, una vez tomada la decisión de construir el proyecto, y propendiendo por su economía, elegir la más conveniente entre las diferentes alternativas estructurales.

En este capítulo se establecen los criterios para realizar el análisis económico en el segundo nivel, es decir, la identificación de la alternativa estructural más económica.

## 7.2 COSTOS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE UN PAVIMENTO DURANTE EL PERÍODO DE ANÁLISIS ECONÓMICO

Los costos asociados a la operación de un pavimento se pueden agrupar en dos categorías:

### 1. COSTOS DE LA INFRAESTRUCTURA

- $Co$  : Costo de construcción. Se determina elaborando el presupuesto, que debe incluir el costo del diseño, la construcción y la interventoría. Se aplica en el "año 0" es decir en el último año de la construcción.
- $MR_{(i)}$  : Costo del mantenimiento rutinario que se deberá realizar al pavimento en cada uno de los años del período de análisis económico. Incluye el costo de la rutina de limpieza del drenaje y zonas laterales y el costo del parcheo. Su valor puede determinarse mediante simulación con el modelo HDM del Banco Mundial, u otro procedimiento apropiado.
- $RH_{n+1}$  : Costo de la rehabilitación del pavimento. Se aplica en el año  $(n+1)$ , o sea en el año inmediatamente siguiente al año final del período de diseño estructural. Si a partir del término del período de diseño estructural, la política de mantenimiento adoptada indica subsiguientes intervenciones de rehabilitación, éstas se aplicarán en los años pertinentes. La rehabilitación del pavimento es el conjunto de acciones de nivelación, refuerzo ó reconstrucción, encaminadas a recuperar la serviciabilidad de la calzada.
- $VR_m$  : Valor residual de la estructura del pavimento. Más que un costo, se debe entender como un beneficio. Es el valor estimado de la estructura en su condición final. Se aplica en el año  $m$ , o sea en el último año del período de análisis económico..

### 2. COSTOS DE LOS USUARIOS

$CU(i)$  : Costos de los usuarios en cada uno de los años del período de análisis económico. Estos costos constituyen la suma de los siguientes componentes:

### 7.3 ALGUNOS COMENTARIOS RELATIVOS AL ANÁLISIS ECONÓMICO

- **Valor presente (VP):** Concepto económico que representa la traslación de una cantidad específica de costos o beneficios ocurridos a diferentes períodos, a una cantidad en un instante único (usualmente el presente). El término "valor presente neto" (VPN) se refiere al valor presente acumulado de una serie de costos y beneficios extendido sobre un período de análisis. La necesidad de utilizar valor presente surge de: (1) La capacidad intrínseca del dinero de sumar intereses con el tiempo, y (2) la necesidad en un estudio económico de comparar o sumar inversiones o ahorros de dinero ocurridos en diferentes momentos en el tiempo.
- **Tasa de descuento:** Porcentual, usualmente expresada como tasa anual, que representa el interés en dinero que puede asumirse como ganancia en el período bajo análisis. Una organización gubernamental que decide invertir en carreteras, pierde la oportunidad de invertir en otra actividad. La tasa a la cual el dinero puede ser invertido es conocida como "costo de oportunidad del capital" y es la tasa apropiada de descuento que se debe usar en los estudios económicos. El factor de descuento derivado como una función de la tasa de descuento y del periodo relativo al presente, puede ser usado para convertir beneficios y costos periódicos de un proyecto a valor presente. Sin embargo, calcular beneficios en dinero constante y usando la tasa de interés del mercado es un error, porque la tasa de retorno del mercado incluye un descuento por la expectativa de inflación. Por lo tanto, si costos o beneficios futuros van a ser calculados en dinero constante, sólo debe estar representado en la tasa de descuento usada, el costo real del capital.
- **Inflación:** La forma de tratar la inflación en el cálculo del costo global actualizado es importante, ya que el procedimiento adoptado para el tratamiento de la inflación puede tener efectos decisivos en los resultados del análisis. Primero, se debe identificar cuidadosamente la diferencia entre dos tipos de cambios en los precios: Inflación general y cambios de precios relativos.

El primero puede ser definido como un incremento en el nivel general de precios en toda la economía. Cambios relativos de precio significan diferencias entre la tendencia de precios de los bienes y servicios analizados y la general.

Las distorsiones causadas por la inflación general pueden ser neutralizadas por dos caminos. Uno es usar la tasa nominal de interés para descontar, mientras que los costos en el proyecto se calculan con inflación. El otro, es ajustar la tasa de interés nominal para la inflación, descontando con el componente real de la tasa únicamente, mientras se mide el flujo de costos en términos de dinero constante.

Para evitar la falta de certezas asociadas con la predicción de tasas futuras de inflación y a la vista de los resultados semejantes alcanzados con cualquier método, surgió el uso de una tasa de descuento que represente el costo real del capital mientras se calcula el costo global actualizado en términos de dinero constante. Como este procedimiento elimina la necesidad de especular acerca de la inflación, es el método de mayor aceptación y es el recomendado por el Instituto Nacional de Vías.

La elección final de la tasa de descuento, interés o inflación y el método de interpretación se dejan en manos del ingeniero encargado de tomar las decisiones respecto del tipo de pavimento más conveniente.

Aunque las distorsiones causadas por la inflación general pueden ser neutralizadas, la

## 7.5 PARÁMETROS GENERALES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para efectos de simulación de la operación de cada alternativa estructural de pavimento durante el período de análisis económico, se sugieren los criterios que se indican a continuación.

### 7.5.1 Políticas de mantenimiento rutinario

La política o estrategia de mantenimiento rutinario deberá ser la siguiente:

- Actividades permanentes de rocería, despeje de zonas laterales y limpieza de cunetas, descoles y alcantarillas.
- Parcheo inmediato de la totalidad de los baches que vayan apareciendo.

### 7.5.2 Rehabilitación al término del período de diseño estructural

Las intervenciones de rehabilitación que se sugieren al término del período de diseño estructural, en función de  $N$  (número acumulado de ejes simples de 8.2 toneladas estimado para dicho período de diseño estructural), son las siguientes:

- **Para  $0.5 \leq N \leq 2.0$ :** ( $N$  en millones de ejes de 8.2 toneladas)

Opción 1: Parcheo de las áreas deterioradas de la calzada y 5 cm de mezcla densa en caliente.

Opción 2: Parcheo de las áreas deterioradas de la calzada y 8 cm de mezcla densa en frío.

- **Para  $2.0 < N \leq 6.0$ :**

Parcheo de las áreas deterioradas de la calzada y 10 cm de mezcla densa en caliente, colocados en una sola capa.

- **Para  $6.0 < N \leq 10.0$ :**

Parcheo de las áreas deterioradas de la calzada y 12 cm de mezcla densa en caliente, colocados en una sola capa.

- **Para  $N > 10.0$ :**

Parcheo de las áreas deterioradas de la calzada y 15 cm de mezcla densa en caliente, colocados en dos capas.

Es importante dejar en claro que las intervenciones de rehabilitación sugeridas en este numeral son exclusivamente para efectos de uniformizar la comparación económica de las alternativas. Las acciones de rehabilitación que requiera la calzada al término del período de diseño estructural sólo podrán ser definidas mediante un estudio específico de ingeniería de pavimentos y dependerán del estado en que dicha calzada se encuentre en ese momento.

### 7.5.3 Valor residual (VR)

Se recomienda, para todos los casos, utilizar como valor residual (VR) de la estructura el 10% de su valor de construcción.





**CAPITULO 8**

---

**CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS**

## 8.1 INTRODUCCIÓN

El procedimiento de diseño desarrollado es aplicable a pavimentos de carreteras interurbanas de dos o más carriles y abarca todas las gamas probables de tránsito. La normativa se fundó en una combinación de métodos existentes, la experiencia, la teoría de comportamiento estructural y los materiales disponibles. Sin embargo, la normativa propuesta no excluye otros métodos de diseño que, por la particularidad propia del caso, deban ser utilizados.

El diseño estructural de pavimentos tiene como fin proveer protección a la subrasante mediante la interposición de capas, incluidas las rehabilitaciones, y de esta forma obtener un nivel de servicio fijado, minimizando los costos totales. El diseño estructural contempla factores de tiempo, tránsito, materiales de pavimentos, suelos de subrasante, condiciones climáticas, detalles constructivos y consideraciones económicas.

La presente normativa trata de cubrir un rango de tipos de pavimentos y materiales corrientemente usados en la práctica local.

## 8.2 MÉTODO DE DISEÑO

### 8.2.1 Justificación de la selección del Método de Diseño

Para la calibración y validación se utilizó la información sobre distintos tramos de estudio de pavimentos existentes de la red vial nacional, evaluados en las diferentes etapas de la Investigación Nacional de Pavimentos.

En la primera etapa de la Investigación Nacional de Pavimentos se recopilaron datos de 17 tramos de la red nacional, mientras que en la segunda y tercera etapa se analizaron 43 tramos con el objeto de calibrar los modelos de deterioro del HDM-III. Esto permitió un buen inicio para establecer las secciones de las estructuras más usadas y su comportamiento en servicio.

A partir de esta base de datos se asignaron campos de interés al diseño estructural incluyendo: número de ejes equivalentes soportados por la estructura, valor soporte de la subrasante, espesores y tipos de materiales utilizados, edad del pavimento y estado en que se encontraba en el momento del análisis. Los otros datos complementarios fueron estimados a partir de los anteriores, por ejemplo el número estructural.

Teniendo en cuenta la historia del pavimento, las condiciones ambientales y las mediciones deflectométricas, se estimó la resistencia de la subrasante en su estado de equilibrio.

Se estableció el grado de deterioro tendiendo presente que:

- Si hubiese habido intervenciones, se asumió que éstas fueron realizadas cuando se alcanzó un índice de serviciabilidad de dos (2).
- Si hubiese habido reconstrucción, se asumió que la misma fue realizada cuando se alcanzó un índice de serviciabilidad de uno (1).

Cuando el pavimento no alcanzó ninguno de los umbrales anteriores se procedió a estimar el índice de serviciabilidad aplicando el criterio del método AASHTO. Con ello se estableció la caída del índice y, consecuentemente, se estimó el número de repeticiones según ese método de diseño. Al menos dos estimaciones de número de ejes equivalentes se calcularon por cada sección de calibración. En la confección del presente manual se utilizaron los métodos AASHTO versión 1993 y racional (mecanístico-empírico), basados en las curvas de

Tabla 8.1 Valores de coeficientes estructurales  $a_i$ 

Mezcla densa en caliente	MDC $a_i = 0.44$	TMAP < 13 °C
	MDC $a_i = 0.37$	13 °C ≤ TMAP < 20 °C
	MDC $a_i = 0.30$	20 °C ≤ TMAP ≤ 30 °C
Mezcla densa en frío	MDF $a_i = 0.8 * 0.44$	TMAP < 13 °C
	MDF $a_i = 0.8 * 0.37$	13 °C ≤ TMAP < 20 °C
	MDF $a_i = 0.8 * 0.33$	20 °C ≤ TMAP ≤ 30 °C
Base estabilizada con emulsión asfáltica	BEE-1 $a_i = 0.20$	Agregado grueso
	BEE-2 $a_i = 0.20$	Agregado medio
	BEE-3 $a_i = 0.14$	Suelo
Base estabilizada con cemento	BEC-1 $a_i = 0.16$	A-1-a; A-1-b
	BEC-2 $a_i = 0.14$	A-3; A-2-4; A-2-5
	BEC-3 $a_i = 0.13$	A-2-6; A-2-7; A-4 A-5; A-6; A-7
Base granular	BG-1, BG-2	$a_i = 0.14$
Sub-base granular	SBG-1, SBG-2	$a_i = 0.12$

- Los valores de los coeficientes de drenaje ( $m_i$ ) utilizados para las capas granulares se determinaron de acuerdo con los niveles de precipitación, calidad de drenaje y considerando que el pavimento estará a niveles de humedad próximos a la saturación por lapsos cercanos al 15% del tiempo de exposición.

Tabla 8.2 Valores del coeficiente de drenaje ( $m_i$ )

Precipitación mm/año	$m_i$
< 2000	1.00
2000 - 4000	0.90
> 4000	0.80

### 8.2.3 Verificación estructural del método de diseño

Teniendo en cuenta que el método básico de diseño empleado para la elaboración de las cartas de diseño fue el método AASHTO 1993, el cual define el número de diseño estructural (SN) requerido para condiciones específicas de tránsito futuro, resistencia de la subrasante, nivel de confiabilidad, desviación estándar y pérdida de serviciabilidad, se realizó la determinación de espesores de las capas de cada alternativa de diseño, garantizando el cumplimiento del valor del número estructural total y las recomendaciones de espesores mínimos de capas propuestas por el método, de acuerdo con los niveles previstos de tránsito en el carril de diseño.

Con el fin de verificar las estructuras propuestas para cada combinación de variables, se utilizó el método racional, para lo cual se realizó un análisis elástico multicapa mediante el programa DEPAV, el cual permite definir el estado de tensiones y deformaciones en los

### **8.3.1 CARTA DE DISEÑO No.1**

**REGIÓN No. 1 : FRÍA SECO Y FRÍA SEMIHÚMEDA**

**TMAP < 13° C**

**PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año**

CARTA No. 1  
REGIÓN 1 (R1)  
FRÍA SECA Y FRÍA SEMIHÚMEDA

TMAP < 13°C  
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

Mr (Kg/cm²) N <sub>1,2</sub> (10 <sup>5</sup> )	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T1 0,5 < N <sub>1,2</sub> ≤ 1			
T2 1 < N <sub>1,2</sub> ≤ 2			
T3 2 < N <sub>1,2</sub> ≤ 4			
T4 4 < N <sub>1,2</sub> ≤ 6			
T5 6 < N <sub>1,2</sub> ≤ 10			

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.

2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

CARTA No. 1  
REGIÓN 1 (R1)  
FRIA SECA Y FRIA SEMIHÚMEDA

TMAP < 13°C  
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

$M_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) $N_{8,2}(10^1)$	S1 300 ≤ $M_r$ < 500	S2 500 ≤ $M_r$ < 700	S3 700 ≤ $M_r$ < 1000
T6 10 < $N_{8,2}$ ≤ 15			
T7 15 < $N_{8,2}$ ≤ 20			
T8 20 < $N_{8,2}$ ≤ 30			
T9 30 < $N_{8,2}$ ≤ 40			

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

### **8.3.2 CARTA DE DISEÑO No. 2**

**REGIÓN No. 2 : TEMPLADO SECO Y TEMPLADO SEMIHÚMEDO**

**TMAP 13 - 20° C**

**PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año**

CARTA No. 2  
REGIÓN 2 (R2)  
TEMPLADO SECO Y TEMPLADO SEMIHÚMEDO

TMAP 13 °C - 20 °C  
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

Mr (Kg/cm <sup>2</sup> ) N <sub>1,2</sub> (10 <sup>1</sup> )	S1 300 ≤ Mr < 500			S2 500 ≤ Mr < 700			S3 700 ≤ Mr < 1000		
T1 0,5 < N <sub>1,2</sub> ≤ 1	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 30	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDF-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BG-2 15 SBG-1 30	MDF-2 7,5 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 7,5 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 7,5 BG-2 15 SBG-1 25	MDC-2 5 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 25	MDF-3 7,5 BG-2 15 SBG-1 30
T2 1 < N <sub>1,2</sub> ≤ 2	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 40	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 40	MDF-2 10 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 40	MDC-2 7,5 BG-2 20 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 25	MDF-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 7,5 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 7,5 BG-2 15 BEC 25
T3 2 < N <sub>1,2</sub> ≤ 4	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 45	MDC-2 7,5 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 40	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 30	MDC-2 7,5 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20	
T4 4 < N <sub>1,2</sub> ≤ 6	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 45	MDC-2 10 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 40	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 30	MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 30	
T5 6 < N <sub>1,2</sub> ≤ 10	MDC-2 12 BG-2 30 SBG-1 45	MDC-2 10 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 45	MDC-2 10 BG-2 25 SBG-1 40	MDC-2 10 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 25 BEC 30	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 30	

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1



CARTA No. 2  
REGIÓN 2 (R2)  
TEMPLADO SECO Y TEMPLADO SEMIHÚMEDO

TMAP 13 °C - 20 °C  
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

$N_{8,2(10)}$	S4 $1000 \leq Mr < 1500$			S5 $Mr > 1500$		
	$Mr$ (Kg/cm <sup>2</sup> )					
T1 $0,5 < N_{8,2} \leq 1$	MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 15	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDF-3 7.5 BG-2 15 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BG-2 25	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 15	MDF-3 7.5 SBG-1 25
T2 $1 < N_{8,2} \leq 2$	MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 25	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BG-2 15 BEC 20	MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 15	MDC-2 5 BEE-1 15 BEE-2 10	MDF-3 5 BEE-1 15 BEE-2 10
T3 $2 < N_{8,2} \leq 4$	MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 25	MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20	MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 15	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 15	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 15
T4 $4 < N_{8,2} \leq 6$	MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20	MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 15	MDC-2 7.5 BEE-1 15 BEE-2 10	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 15
T5 $6 < N_{8,2} \leq 10$	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 20	MDC-2 10 BG-1 15 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 15

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.

2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

### **8.3.3 CARTA DE DISEÑO No.3**

**REGIÓN No. 3 : CÁLIDO SECO Y CALIDO SEMIHÚMEDO**

**TMAP 20°C - 30° C**

**PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año**

**CARTA No. 3**  
**REGIÓN 3 (R3)**  
**CÁLIDO SECO - CÁLIDO SEMIHÚMEDO**

TMAP 20 °C - 30 °C  
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

	$Mr$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>S1</b> 300 ≤ $Mr$ < 500	<b>S2</b> 500 ≤ $Mr$ < 700	<b>S3</b> 700 ≤ $Mr$ < 1000
<b>T1</b> $0.5 < N_{k2} \leq 1$	$N_{k2} \leq 5$			
<b>T2</b> $1 < N_{k2} \leq 2$				
<b>T3</b> $2 < N_{k2} \leq 4$				
<b>T4</b> $4 < N_{k2} \leq 6$				
<b>T5</b> $6 < N_{k2} < 10$				

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.

2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

CARTA No. 3  
REGIÓN 3 (R3)  
CÁLIDO SECO - CÁLIDO SEMIHÚMEDO

TMAP 20 °C - 30 °C  
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

Mr (Kg/cm <sup>2</sup> ) N <sub>8,2</sub> (10 <sup>5</sup> )	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
T1 0,5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	MDC-2 5 BG-2 15 SBG-1 30	MDF-2 5 BG-2 15 SBG-1 30	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 5 BG-2 30	MDF-2 5 BG-2 15 SBG-1 20	
T2 1 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	MDC-2 7.5 BG-2 20 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BG-2 20 BEC 20	MDC-2 7.5 BG-1 30	MDC-2 7.5 BEE-1 15 BEE-2 10	MDC-2 7.5 BG-2 15 BEC 15
T3 2 < N <sub>8,2</sub> ≤ 4	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 20	MDC-2 10 BG-2 30	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 15	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 15
T4 4 < N <sub>8,2</sub> ≤ 6	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 20	MDC-2 10 BG-2 35	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20
T5 6 < N <sub>8,2</sub> ≤ 10	MDC-2 10 BG-2 25 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 25 BEC 25	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

### **8.3.4 CARTA DE DISEÑO No. 4**

**REGIÓN No. 4 : TEMPLADO HÚMEDO**

**TMAP 13° C - 20° C**

**PRECIPITACIÓN 2000 - 4000 mm/año**

# CARTA No. 4 REGIÓN 4 (R4) TEMPLADO HÚMEDO

TMAP 13 °C - 20 °C  
PRECIPITACIÓN 2000 - 4000 mm/año

$Mr$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) $N_{a2} \leq 5$	S1 300 ≤ $Mr$ < 500	S2 500 ≤ $Mr$ < 700	S3 700 ≤ $Mr$ < 1000
T1 $0,5 < N_{a2} \leq 1$			
T2 $1 < N_{a2} \leq 2$			
T3 $2 < N_{a2} \leq 4$			
T4 $4 < N_{a2} \leq 6$			
T5 $6 < N_{a2} \leq 10$			

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.

2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

**CARTA No. 4**  
**REGIÓN 4 (R4)**  
**TEMPLADO HÚMEDO**

TMAP 13 °C - 20 °C  
PRECIPITACIÓN 2000 - 4000 mm/año

$N_{8,2(10)}$	S4 $1000 \leq Mr < 1500$			S5 $Mr > 1500$		
	$Mr$ (Kg/cm <sup>2</sup> )					
T1 $0,5 < N_{8,2} \leq 1$						
T2 $1 < N_{8,2} \leq 2$						
T3 $2 < N_{8,2} \leq 4$						
T4 $4 < N_{8,2} \leq 6$						
T5 $6 < N_{8,2} \leq 10$						

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.

2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

### **8.3.5 CARTA DE DISEÑO No. 5**

**REGIÓN No. 5 : CÁLIDO HÚMEDO**

**TMAP 20° C - 30° C**

**PRECIPITACIÓN 2000 - 4000 mm/año**



# CARTA No. 5 REGIÓN 5 (R5) CÁLIDO HÚMEDO

TMAP 20 °C - 30 °C  
PRECIPITACIÓN 2000 - 4000 mm/año

$M_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) $N_{8,2}(10^6)$	S1 300 ≤ $M_r$ < 500	S2 500 ≤ $M_r$ < 700	S3 700 ≤ $M_r$ < 1000
T1 0,5 < $N_{8,2}$ ≤ 1			
T2 1 < $N_{8,2}$ ≤ 2			
T3 2 < $N_{8,2}$ ≤ 4			
T4 4 < $N_{8,2}$ ≤ 6			
T5 6 < $N_{8,2}$ ≤ 10			

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

# CARTA No. 5 REGIÓN 5 (R5) CÁLIDO HÚMEDO

TMAP 20 °C - 30 °C  
PRECIPITACIÓN 2000 - 4000 mm/año

$M_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) $N_{8,2}^5$ (10 <sup>5</sup> )	S4 1000 ≤ $M_r$ < 1500	S5 $M_r$ > 1500
T1 0,5 < $N_{8,2} \leq 1$		
T2 1 < $N_{8,2} \leq 2$		
T3 2 < $N_{8,2} \leq 4$		
T4 4 < $N_{8,2} \leq 6$		
T5 6 < $N_{8,2} \leq 10$		

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

### **8.3.6 CARTA DE DISEÑO No. 6**

**REGIÓN No. 6 : CÁLIDO MUY HÚMEDO**

**TMAP 20° C - 30° C**

**PRECIPITACIÓN > 4000 mm/año**

CARTA No. 6  
REGIÓN 6 (R6)  
CÁLIDO MUY HÚMEDA

TMAP 20 °C - 30 °C  
PRECIPITACIÓN > 4000 mm/año

Mr (Kg/cm <sup>2</sup> ) N <sub>8,2</sub> (10 <sup>6</sup> )	S1 300 ≤ Mr < 500			S2 500 ≤ Mr < 700			S3 700 ≤ Mr < 1000		
T1 0,5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	MDC-2 12 BG-1 30 SBG-1 35	MDC-2 7.5 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 30	MDF-2 12 BG-1 35 SBG-1 35	MDC-2 12 BG-2 30 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BEE-2 10 SBG-1 25	MDF-1 12 BG-1 20 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDF-2 10 BG-1 25 SBG-1 25
T2 1 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	MDC-2 15 BG-1 30 SBG-1 35	MDC-2 10 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 35	MDF-2 15 BG-1 35 SBG-1 40	MDC-2 15 BG-2 20 SBG-1 30	MDC-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDF-2 12 BG-2 30 SBG-1 35	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 25	MDF-2 10 BG-2 35 SBG-1 20
T3 2 < N <sub>8,2</sub> ≤ 4	MDC-2 15 BG-1 35 SBG-1 40	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 40	MDF-2 15 BG-1 35 SBG-1 40	MDC-2 12 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-1 15 BG-2 20 BEC 25	MDF-2 12 BG-2 25 BEC 35	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDF-2 10 BG-2 35 BEC 35
T4 4 < N <sub>8,2</sub> ≤ 6	MDC-1 15 BG-1 40 SBG-1 40	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 40	MDF-2 15 BG-1 35 SBG-1 40	MDC-2 15 BG-2 25 BEC 30	MDC-2 7.5 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 40	MDC-1 15 BG-1 30 BEC 35	MDC-2 12 BG-1 30 SBG-1 30	MDC-2 12 BG-1 25 BEC 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 30
T5 6 < N <sub>8,2</sub> ≤ 10	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 45	MDC-1 15 BG-2 45 SBG-1 45	MDF-2 15 BG-1 35 SBG-1 35	MDC-2 15 BG-2 30 BEC 30	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-1 15 BG-1 35 SBG-1 35	MDC-1 10 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 40	MDC-1 12 BG-1 30 BEC 25	MDC-2 12 BG-1 35 SBG-1 35

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

CARTA No. 6  
REGIÓN 6 (R6)  
CÁLIDO MUY HÚMEDA

TMAP 20 °C - 30 °C  
PRECIPITACIÓN > 4000 mm/año

Mr (Kg/cm <sup>2</sup> ) N <sub>8,2</sub> (10 <sup>5</sup> )	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
	T1 0,5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	MDC-2 7.5 BG-2 20 SBG-1 25	MDF-1 10 BG-2 20 SBG-1 25	MDC-1 5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 20	MDF-1 7.5 BG-2 15 SBG-1 25
T2 1 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	MDC-2 7.5 BG-2 25 SBG-1 25	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDF-2 7.5 BG-2 25 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BG-2 20 SBG-1 20	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDF-2 7.5 BG-2 20 SBG-1 25
T3 2 < N <sub>8,2</sub> ≤ 4	MDC-2 7.5 BG-2 30 SBG-1 30	MDC-2 5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 7.5 BG-2 30 SBG-1 15	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BG-2 15 BEC 20
T4 4 < N <sub>8,2</sub> ≤ 6	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 7.5 BG-2 30 SBG-1 20	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 35	MDC-2 7.5 BG-2 20 BEC 20
T5 6 < N <sub>8,2</sub> ≤ 10	MDC-2 12 BG-2 30 SBG-1 25	MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 35	MDC-2 12 BG-2 15 BEC 30	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 20	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BG-2 20 BEC 25

1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1



CAPITULO 9

---

EJEMPLOS ILUSTRATIVOS  
PARA EL MANEJO  
DEL MANUAL

## 9.1 EJEMPLO No. 1

### 9.1.1 Datos del tránsito

Camino rural estratégico, por lo tanto se clasifica la vía como categoría III

- Período de diseño = 10 años      recomendado para vías de categoría tipo III, de acuerdo con la Tabla 2.3
- Tránsito
  - Conteo realizado = 300 vehiculos/día
  - Composición general del tránsito:  
Autos = 55 %      Buses = 12 %      Camiones = 33 %
  - Distribución de los vehículos comerciales
 

Camión C2-P	=	50%
Camión C2-G	=	25%
Camión C3 y C4	=	20%
Camión C5	=	4%
Camión C6	=	1%
		100%
  - Distribución direccional    Fd = 60%
  - Distribución por carril      Fca = 1
  - Tránsito atraído = 20% y Tránsito Generado = 30% (Expresados como % del tránsito normal durante todo el periodo de diseño estructural.)
  - Tránsito por carril y por día durante la construcción, estimado.
 

	Cant.	F.D.
Camión C3 y C4	9	3.74
Camión C5	6	4.40
Total camiones = 15		
F.D. Ponderado = 4.00		
  - Crecimiento anual del tránsito
 

Crecimiento entre el diseño y la construcción = 6%

Crecimiento normal del tránsito durante el periodo de diseño = 5%

### 9.1.2. Cálculo del tránsito.

#### 9.1.2.1 Cálculo del número de ejes equivalentes existentes en el año base

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) * Fd * Fca + N_c$$

- Cálculo de Ni. - Considerando un tiempo de 2 años entre el diseño y la construcción:  
 $300 * 365 * (1 + 0.06)^2 = 123034$  Vehículos

- Factor camión global :

$$FC = \frac{0.12*1 + 0.33 (0.50*1.14+0.25*3.44+0.20*3.74+0.04*4.4+0.01*4.72)}{0.45} = 2.0275$$

### 9.1.4. Caracterización de la subrasante

Unidad	Valores de módulo resiliente (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Categoría de subrasante
1	300 - 250 - 400 - 500 220 300 - 500 - 250	340	S1

### 9.1.5. Diseño de las estructuras del pavimento

#### 9.1.5.1 Parámetros de diseño

Tabla 9.1 Parámetros de diseño, Ejemplo No. 1

Parámetros de Diseño	Valor	Categoría en el manual
Módulo resiliente promedio	340 kg/cm <sup>2</sup>	S1
Tránsito equivalente de diseño	$1.5 \cdot 10^6$	T2
TMAP	20°C	20°C - 30° C
Precipitación	3600 mm/año	2000 - 4000 mm/año
Carta de diseño = No 5		

#### 9.1.5.2 Dimensionamiento de las estructuras

Alternativa 1	Alternativa 2
MDC-2 = 10 cm	MDC-2 = 7.5 cm
BG-2 = 30 cm	BEE-1 = 15.0 cm
SBG-1 = 40 cm	BEE-2 = 10.0 cm
	SBG-1 = 40.0 cm

## 9.2 EJEMPLO No. 2

### 9.2.1 Información general

- Categoría del camino. Vía rural de dos carriles
- Periodo de diseño = 15 años
- Factores ambientales  
TMAP = 12°C Precipitación media anual=1500 mm
- Caracterización de la subrasante

Unidad	Valores de módulo resiliente (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Categoría de subrasante
1	800 - 750 - 920 - 900 - 870 860 - 910 - 900 - 770 - 820	850	S3



- Análisis de regresión del tránsito equivalente

Modelo Lineal  $Y = 1183.4 + 76.99(\text{año}-1984)$

Coefficiente de correlación  $r = 0.84$

Coefficiente de determinación  $r^2 = 0.71$

- Estimación del tránsito equivalente diario en cada año para el período observado, utilizando la ecuación de regresión definida por el modelo.
- Comparación de tránsito equivalente diario estimado y el tránsito observado en el período de la serie histórica, cálculo de las diferencias de tránsitos en cada año, y determinación de la sumatoria de las diferencias al cuadrado de los dos tránsitos.

Tabla 9.4 Comparación de tránsitos equivalentes diarios

Año	Tránsito equivalente diario observado	Tránsito equivalente diario estimado por el modelo asumido	Diferencia de tránsitos	Diferencia <sup>2</sup>
1985	1461	1260	-201	40401
1986	1152	1337	185	34225
1987	1635	1414	-221	48841
1988	1493	1491	-2	4
1989	1442	1568	126	15876
1990	1534	1645	111	12321
1991	1501	1722	221	48841
1992	1802	1799	-3	9
1993	1965	1876	-89	7921
1994	1862	1953	-91	8281
1995	2253	2030	-223	49729
				$\Sigma$ 266449

- Cálculo del error estándar del modelo de proyección asumido durante el período de la serie histórica

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Tránsito estimado} - \text{Tránsito medido})^2}{n-2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{266449}{11-2}} \quad \sigma = 172.06$$

- Determinación del valor promedio de los años registrados en la serie histórica

$$\text{año promedio} = \frac{(1985 + 1995)}{2} = 1990$$

- Cálculo de la diferencia entre el valor de cada año de la serie y el valor promedio de los años de registro; posteriormente calcular la sumatoria de las diferencias al cuadrado.

Limite superior = Tránsito equivalente proyectado +  $\sigma_{\text{pronostico}} * Z_r$

- Cálculo del tránsito equivalente en el período de diseño para las condiciones normales. Será igual a la sumatoria anterior, multiplicada por 365 días de cada año y por los correspondientes factores de distribución direccional (0.5) y por carril (1.0).

$$N = 49790 * 365 * 0.5 * 1.0 = 9086675$$

Tránsito equivalente con nivel de confianza del 95% =  $9.0 * 10^6$  ejes de 8.2 toneladas.  
Tránsito = T5

### 9.2.3 Diseño de las estructuras de pavimento

#### 9.2.3.1 Parámetros de diseño

Tabla 9.7 Parámetros de diseño Ejemplo No. 2

Parámetros de Diseño	Valor	Categoría en el manual
Módulo resiliente promedio	850 Kg/cm <sup>2</sup>	S3
Tránsito equivalente de diseño	$9.0 * 10^6$	T5
TMAP	12°C	< 13 °C
Precipitación	1500 mm/año	< 2000 mm/año
Carta de diseño = No 1		

#### 9.2.3.2 Dimensionamiento de las estructuras del pavimento

##### Alternativa 1

MDC-2 = 10 cm  
BG-2 = 20 cm  
SBG-1 = 30 cm

##### Alternativa 2

MDC-2 = 7.5 cm  
BEE-2 = 10.0 cm  
BEE-2 = 10.0 cm  
SBG-1 = 30.0 cm

##### Alternativa 3

MDC-2 = 10 cm  
BG-2 = 20 cm  
BEC = 25 cm



REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

---

- "Shell Pavement Design Manual". Shell International Petroleum Company Limited, London 1978
- "Addendum to the Shell Pavement Design Manual". Shell International Petroleum Company Limited, London 1985
- "Thickness design-asphalt pavements for highways and streets". The Asphalt Institute, Manual Series No. 1 (MS-1) 1984
- "Research and development of the Asphalt Institute's thickness design manual (MS-1)", ninth edition. The Asphalt Institute, Research Report No. 82-2 (RR-82-2), 1982
- "AASHTO Guide for design of pavements structures". American Association of State Highways and Transportation Officials, 1993
- "Manual de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tráfico". Miguel A. del Val Melus, Alberto Bardesi Orue Echeverría, Comosan, Madrid, 1991.
- "Firmes flexibles, instrucción de carreteras normas 6.1 IC". MOPU, Dirección General de Carreteras, 2a, Edición, Madrid 1983.
- "Refuerzo de firmes flexibles, instrucción de carreteras norma 6.3 IC". Dirección General de carreteras, MOPU 2a Edición, Madrid 1980.
- "Structural design of interurban and rural road pavements", National Institute For Transport and Road Research of the Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa, 1985.