

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

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



*Modernizamos
la red vial*

ISBN 958-96558-1-5

Popayán, Cauca, 1998

CONTENIDO

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.

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Propósito del Manual y Aspectos Básicos Relacionados con el mismo

CAPÍTULO 2 PERIODO DE DISEÑO

- 2.1. PERIODO DE ANÁLISIS Y PERIODO DE DISEÑO ES ESTRUCTURAL
2.2. DIFERENCIA DEL PERIODO DE ANÁLISIS Y DEL PERIODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL
2.2.1. Definición del periodo de análisis
2.2.2. Definición del periodo de diseño estructural

CAPÍTULO 3 ESTIMACIÓN DEL TRANSITO DE DISEÑO

- 3.1. INTRODUCCIÓN
- 3.2. CONSIDERACIONES TÍPICAS Y CARGAS REGLAMENTARIAS
- 3.2.1. Cargas típicas típicas
- 3.2.2. Cargas típicas sobre pesos y cargas de los vehículos
- 3.3. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR TIPO DE VEHÍCULO
- 3.4. TIPO DE TRANSITO CONSIDERADO
- 3.5. TRANSITO POR OCCASIONAL Y POR CARRIL DE VEHÍCULOS
- 3.6. ESTIMACIÓN DEL TRANSITO Y CÁLCULO DEL NÚMERO DE PASAJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO
- 3.6.1. Estimación del tránsito y cálculo del número de pasajes equivalentes en un carril de tránsito para el día 1
- 3.6.2. Estimación del tránsito y cálculo del número de pasajes equivalentes en un carril de tránsito para el día 2

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 período de diseño para el nivel 1	19
3.6.2	Proyección del tránsito y el cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño para el nivel 2	23

CAPITULO 4 FACTORES AMBIENTALES Y CLIMÁTICOS

4.1	GENERALIDADES	29
4.2	HIDROLOGÍA	29
4.3	TEMPERATURA	29
4.4	REGIONES CLIMÁTICAS	33
4.4.1	Determinar la temperatura media anual ponderada del proyecto	33
4.4.2	Precipitación media anual	33
4.5	EJERCICIO DE APLICACIÓN	38

CAPITULO 5 CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO DE LA SUBRASANTE

5.1	INTRODUCCION	43
5.2	DELINEACIÓN DE LAS UNIDADES HOMOGÉNEAS	45
5.2.1	Investigación geotécnica preliminar	46
5.2.1.1	Secciones en corte	46
5.2.1.2	Secciones en terraplén	48
5.2.2	Definición de las unidades homogéneas de diseño	48
5.3	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DEFINITIVA	48
5.3.1	Selección de las condiciones de humedad prevalecientes en la obra	50
5.3.2	Determinación del tamaño de la muestra o número de ensayos requeridos para la caracterización de la resistencia de la subrasante	50
5.4	SELECCIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO Y CLASIFICACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA UNIDAD	52

CAPITULO 6 MATERIALES QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

6.1	LISTADO GENERAL DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS Y CONVENCIONES	55
6.2	DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES	55
6.2.1	Suelos de subrasante	55
6.2.2	Materiales de sub-base y base granular	55
6.2.3	Materiales para bases estabilizadas con emulsión	55
6.2.4	Materiales para bases estabilizadas con cemento	56
6.2.5	Materiales para bituminosas	56

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	Confiability 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

	Pag.
9.1.5.1	Parámetros de diseño 103
9.1.5.2	Dimensionamiento de las estructuras 103
9.2	EJEMPLO No. 2 103
9.2.1	Información general 103
9.2.2	Cálculo del tránsito con nivel de confianza 104
9.2.3	Diseño de las estructuras de pavimento 107
9.2.3.1	Parámetros de diseño 107
9.2.3.2	Dimensionamiento de las estructuras 107

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 109

109	COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES	109
110	PARÁMETROS GENERALES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	110
111	Políticas de mantenimiento vial en A.S. 111	
112	Procedimiento sistemático en el diseño de obras estructurales	112
113	Vías rurales (P)	113
114	Tarifas de desarrollo (P)	114
115	EJEMPLO DE CÁLCULO DEL COSTO GLOBAL ACTUALIZADO DE UNA ALTERNATIVA ESTRUCTURAL	115
116	Manual de diseño	116
117	CAPÍTULO 8: CATEGORÍAS DE OBRAS	117
118	CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS	118
119	INTRODUCCIÓN	119
120	MÉTODOS DE DISEÑO	120
121	Justificación de la elección del método de diseño	121
122	Consideraciones generales del diseño	122
123	Verificación de los requisitos de diseño	123
124	CAPÍTULO 9: DISEÑO	124
125	9.1. DISEÑO GENERAL	125
126	9.1.1. Datos de diseño	126
127	9.1.2. Cálculo de la longitud de la estructura	127
128	9.1.3. Cálculo de la anchura de la estructura	128
129	9.1.4. Cálculo de la altura de la estructura	129
130	9.1.5. Cálculo de la longitud de la estructura	130
131	9.1.6. Cálculo de la anchura de la estructura	131
132	9.1.7. Cálculo de la altura de la estructura	132
133	9.1.8. Cálculo de la longitud de la estructura	133
134	9.1.9. Cálculo de la anchura de la estructura	134
135	9.1.10. Cálculo de la altura de la estructura	135
136	9.1.11. Cálculo de la longitud de la estructura	136
137	9.1.12. Cálculo de la anchura de la estructura	137
138	9.1.13. Cálculo de la altura de la estructura	138
139	9.1.14. Cálculo de la longitud de la estructura	139
140	9.1.15. Cálculo de la anchura de la estructura	140
141	9.1.16. Cálculo de la altura de la estructura	141
142	9.1.17. Cálculo de la longitud de la estructura	142
143	9.1.18. Cálculo de la anchura de la estructura	143
144	9.1.19. Cálculo de la altura de la estructura	144
145	9.1.20. Cálculo de la longitud de la estructura	145
146	9.1.21. Cálculo de la anchura de la estructura	146
147	9.1.22. Cálculo de la altura de la estructura	147
148	9.1.23. Cálculo de la longitud de la estructura	148
149	9.1.24. Cálculo de la anchura de la estructura	149
150	9.1.25. Cálculo de la altura de la estructura	150
151	9.1.26. Cálculo de la longitud de la estructura	151
152	9.1.27. Cálculo de la anchura de la estructura	152
153	9.1.28. Cálculo de la altura de la estructura	153
154	9.1.29. Cálculo de la longitud de la estructura	154
155	9.1.30. Cálculo de la anchura de la estructura	155
156	9.1.31. Cálculo de la altura de la estructura	156
157	9.1.32. Cálculo de la longitud de la estructura	157
158	9.1.33. Cálculo de la anchura de la estructura	158
159	9.1.34. Cálculo de la altura de la estructura	159
160	9.1.35. Cálculo de la longitud de la estructura	160
161	9.1.36. Cálculo de la anchura de la estructura	161
162	9.1.37. Cálculo de la altura de la estructura	162
163	9.1.38. Cálculo de la longitud de la estructura	163
164	9.1.39. Cálculo de la anchura de la estructura	164
165	9.1.40. Cálculo de la altura de la estructura	165
166	9.1.41. Cálculo de la longitud de la estructura	166
167	9.1.42. Cálculo de la anchura de la estructura	167
168	9.1.43. Cálculo de la altura de la estructura	168
169	9.1.44. Cálculo de la longitud de la estructura	169
170	9.1.45. Cálculo de la anchura de la estructura	170
171	9.1.46. Cálculo de la altura de la estructura	171
172	9.1.47. Cálculo de la longitud de la estructura	172
173	9.1.48. Cálculo de la anchura de la estructura	173
174	9.1.49. Cálculo de la altura de la estructura	174
175	9.1.50. Cálculo de la longitud de la estructura	175
176	9.1.51. Cálculo de la anchura de la estructura	176
177	9.1.52. Cálculo de la altura de la estructura	177
178	9.1.53. Cálculo de la longitud de la estructura	178
179	9.1.54. Cálculo de la anchura de la estructura	179
180	9.1.55. Cálculo de la altura de la estructura	180
181	9.1.56. Cálculo de la longitud de la estructura	181
182	9.1.57. Cálculo de la anchura de la estructura	182
183	9.1.58. Cálculo de la altura de la estructura	183
184	9.1.59. Cálculo de la longitud de la estructura	184
185	9.1.60. Cálculo de la anchura de la estructura	185
186	9.1.61. Cálculo de la altura de la estructura	186
187	9.1.62. Cálculo de la longitud de la estructura	187
188	9.1.63. Cálculo de la anchura de la estructura	188
189	9.1.64. Cálculo de la altura de la estructura	189
190	9.1.65. Cálculo de la longitud de la estructura	190
191	9.1.66. Cálculo de la anchura de la estructura	191
192	9.1.67. Cálculo de la altura de la estructura	192
193	9.1.68. Cálculo de la longitud de la estructura	193
194	9.1.69. Cálculo de la anchura de la estructura	194
195	9.1.70. Cálculo de la altura de la estructura	195
196	9.1.71. Cálculo de la longitud de la estructura	196
197	9.1.72. Cálculo de la anchura de la estructura	197
198	9.1.73. Cálculo de la altura de la estructura	198
199	9.1.74. Cálculo de la longitud de la estructura	199
200	9.1.75. Cálculo de la anchura de la estructura	200
201	9.1.76. Cálculo de la altura de la estructura	201
202	9.1.77. Cálculo de la longitud de la estructura	202
203	9.1.78. Cálculo de la anchura de la estructura	203
204	9.1.79. Cálculo de la altura de la estructura	204
205	9.1.80. Cálculo de la longitud de la estructura	205
206	9.1.81. Cálculo de la anchura de la estructura	206
207	9.1.82. Cálculo de la altura de la estructura	207
208	9.1.83. Cálculo de la longitud de la estructura	208
209	9.1.84. Cálculo de la anchura de la estructura	209
210	9.1.85. Cálculo de la altura de la estructura	210
211	9.1.86. Cálculo de la longitud de la estructura	211
212	9.1.87. Cálculo de la anchura de la estructura	212
213	9.1.88. Cálculo de la altura de la estructura	213
214	9.1.89. Cálculo de la longitud de la estructura	214
215	9.1.90. Cálculo de la anchura de la estructura	215
216	9.1.91. Cálculo de la altura de la estructura	216
217	9.1.92. Cálculo de la longitud de la estructura	217
218	9.1.93. Cálculo de la anchura de la estructura	218
219	9.1.94. Cálculo de la altura de la estructura	219
220	9.1.95. Cálculo de la longitud de la estructura	220
221	9.1.96. Cálculo de la anchura de la estructura	221
222	9.1.97. Cálculo de la altura de la estructura	222
223	9.1.98. Cálculo de la longitud de la estructura	223
224	9.1.99. Cálculo de la anchura de la estructura	224
225	9.1.100. Cálculo de la altura de la estructura	225

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.

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.

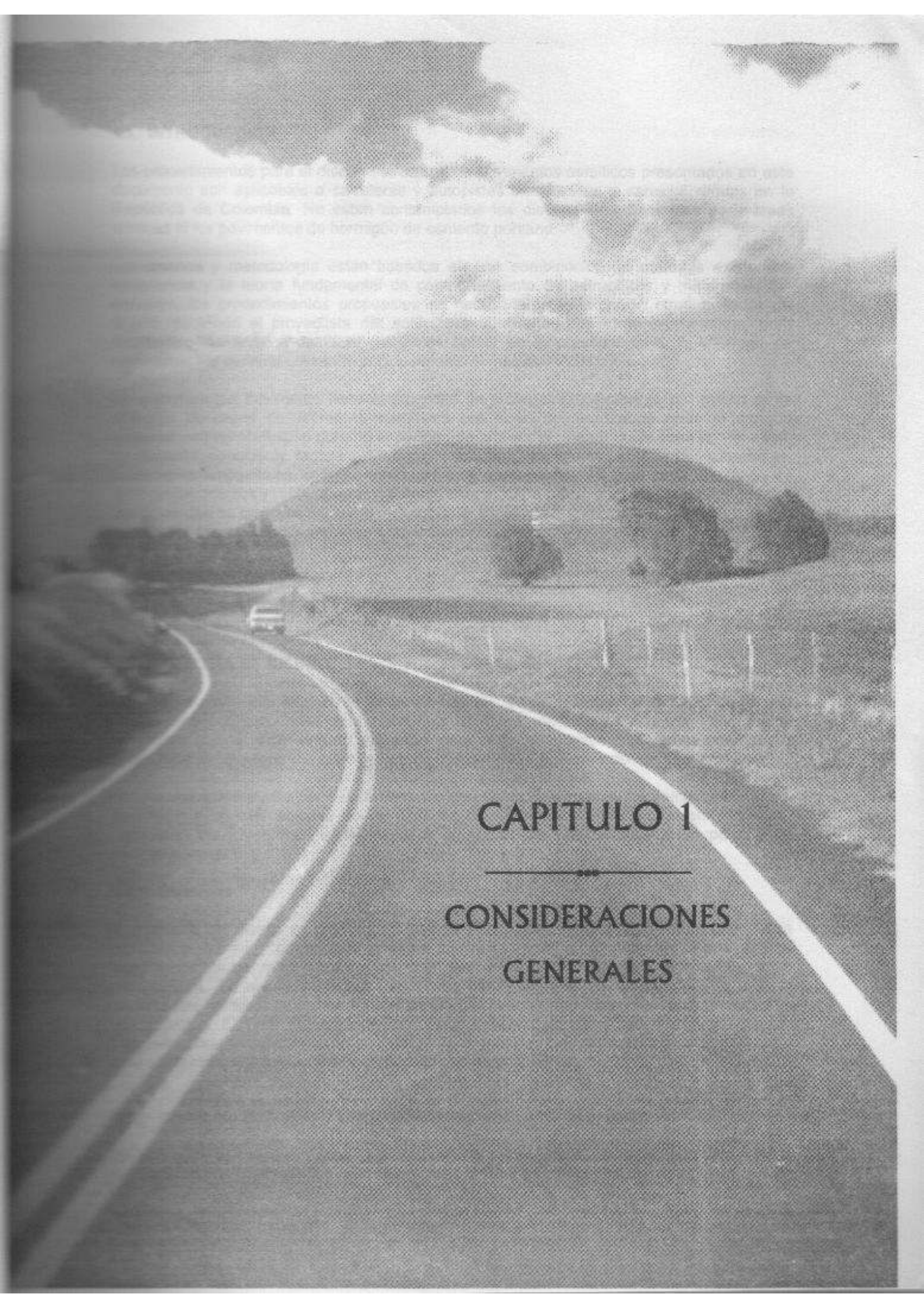
El tránsito promedio diario es una de las variables fundamentales para la determinación del número de ejes equivalentes que solicitarán el pavimento. En general, se cuenta con conteos en secciones de rutas para las cuales existen cambios significativos de los volúmenes. Los conteos se ejecutan con el 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).



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 tecnologías 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 e integrar 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

producirse el diseño.

1.1 INTRODUCCIÓN

Del segundo al sexto capítulo se presentan los datos básicos para el proyecto del pavimento, es decir, la categoría del camino, el período de diseño, el tránsito de diseño, el suelo de subrasante, el clima y los materiales disponibles. Con estos datos, el proyectista usará el catálogo para seleccionar alternativas de pavimentos a las cuales establecerá futuras medidas de mantenimiento y características constructivas, para luego comparar las diferentes estructuras de pavimento con base en los costos, como se propone en el Capítulo 7 de la guía.

El catálogo está basado en la experiencia en la construcción y en el mantenimiento de pavimentos flexibles en Colombia. Cada diseño ha sido controlado con los más modernos métodos de diseño de pavimentos existentes en el momento de su elaboración. Las soluciones dadas en el catálogo tienen un confiabilidad global del 90% y ésta se logra entrando a las cartas con los valores medios obtenidos en las variables de entrada: resistencia de la subrasante y condiciones climáticas; para el tránsito, debe proporcionarse el nivel de confiabilidad externamente, contemplándolo en la estimación de N (ejes equivalentes acumulados en el período de diseño), como se detalla en el Capítulo 3 de esta guía. Los diseños han sido realizados para una caída del índice de serviciabilidad presente de 2.2.

El uso del catálogo se considera adecuado para proporcionar el diseño básico requerido. Sin embargo, condiciones especiales pueden exigir un análisis más detallado a ser realizado por medio de otros métodos.

1.2 ESTRUCTURA DE DISEÑO

Como un pavimento se construye en un sitio específico, el diseñador debe tener en cuenta los datos de entrada que se le proporcionan para poder seleccionar el tipo de pavimento que se va a utilizar. El diseñador debe tener en cuenta los datos de entrada que se le proporcionan para poder seleccionar el tipo de pavimento que se va a utilizar.

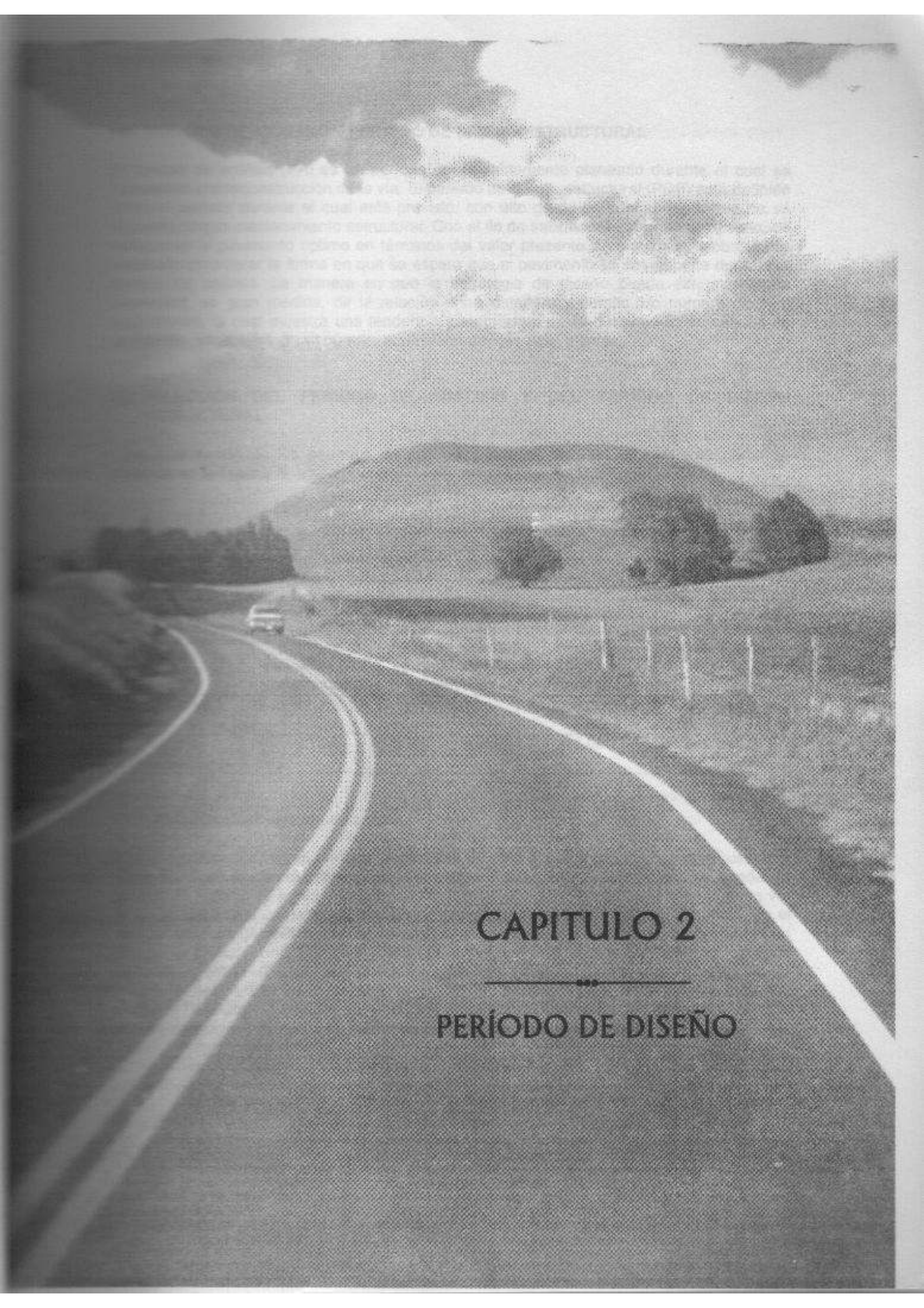
Una vez que se ha seleccionado el tipo de pavimento, el diseñador debe tener en cuenta los datos de entrada que se le proporcionan para poder seleccionar el tipo de pavimento que se va a utilizar.

1.2.1 Objetivos

El propósito de esta guía es proporcionar al diseñador un método para seleccionar el tipo de pavimento que se va a utilizar. El diseñador debe tener en cuenta los datos de entrada que se le proporcionan para poder seleccionar el tipo de pavimento que se va a utilizar.

1.2.2 Estructura de la guía y aspectos básicos relacionados en el diseño

En esta guía se presentan los datos de entrada que se le proporcionan para poder seleccionar el tipo de pavimento que se va a utilizar.



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.

2.2.2 Selección del período de diseño estructural

Categoría I

Para las carreteras de la categoría I, el período de diseño estructural debe ser razonablemente largo debido a que:

- No es políticamente aceptable para las autoridades de carreteras cargar con grandes rehabilitaciones a pavimentos recientemente construidos.
- Los costos de los usuarios son altos y los costos originados por interrupciones del tránsito probablemente cancelen cualquier ahorro resultante de la elección de un período de diseño estructural más corto.
- La geometría de la vía es normalmente fija.

El período de diseño estructural adoptado en este documento es de 20 años para los pavimentos de categoría I, como se muestra en la Tabla 2.3

Categoría II

Para las carreteras de la categoría II, el período de diseño estructural puede variar dependiendo de las circunstancias. Períodos de diseño estructural largos (20 años) serán elegidos cuando las circunstancias sean las mismas que para los caminos de la categoría I. Los factores que pueden derivar en la elección de períodos de diseño estructural más cortos incluyen:

- Una vida geométrica corta debido a una situación de tránsito cambiante.
- Una carencia de fondos a corto plazo
- Una falta de confianza en las suposiciones de diseño, especialmente en el tránsito de diseño.

Los períodos de diseño estructural pueden variar entre 10 y 20 años. Normalmente se usará un período de 15 años, como se muestra en la Tabla 2.3

Tabla 2.2 Períodos de análisis recomendados

Categoría de la vía	Período de análisis (P.A.) años		
	Rango	Período recomendado	
		Geometría fija	Condiciones inciertas
I	20-40	30	-
II	15-30	30	25
III	10-30	30	20
Especial	10-30	30	20-25

Categoría III

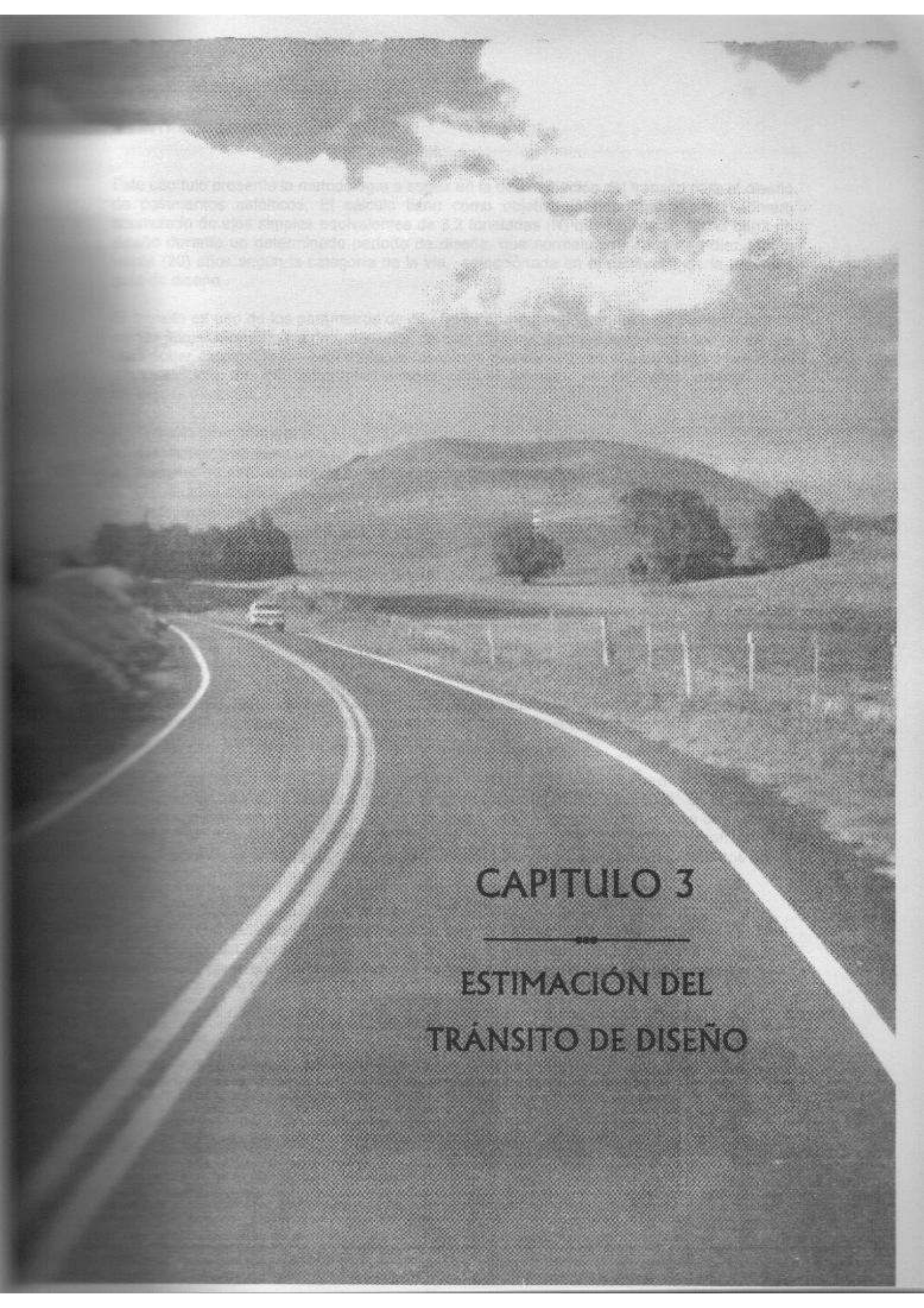
Para las vías de la categoría II usualmente es más económico seleccionar un período de diseño estructural corto de 10 años. Sin embargo, cuando la rehabilitación estructural al final de dicho tiempo sea difícil o no práctica, se puede seleccionar un período más largo, hasta de 20 años, según muestra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

Este capítulo presenta la metodología para la estimación del tránsito de diseño de carreteras nuevas, el método de la curva de ajuste de los datos de un censo equivalente de 27 kilómetros. Este método requiere un determinado período de tiempo que varía entre 10 y 20 años según la categoría de la vía que se está diseñando.

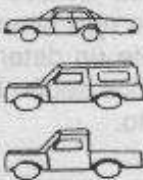
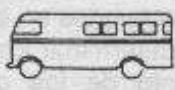
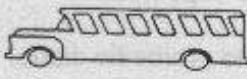
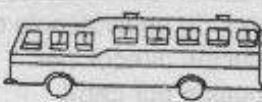
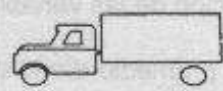
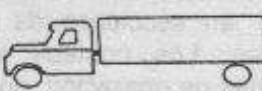
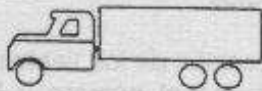
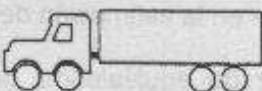

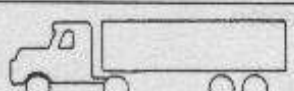
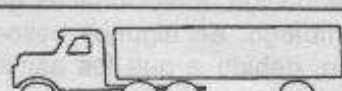

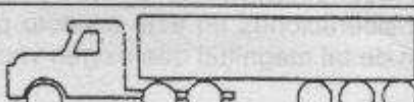
El método de la curva de ajuste de los datos de un censo equivalente de 27 kilómetros.



CAPITULO 3

ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

Tabla 3.1. Esquema de clasificación de vehículos

TIPO DE VEHÍCULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMIÓN DE DOS EJES PEQUEÑO	
C2-G	CAMIÓN DE DOS EJES GRANDE	
C3 Y C4	CAMIÓN C3	
	CAMIÓN C4	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S1	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S2	
	TRACTOR-CAMIÓN C3-S1	
C5	TRACTOR-CAMIÓN C3-S2	
> C5	TRACTOR-CAMIÓN C3-S3	

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.

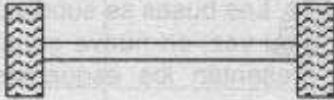
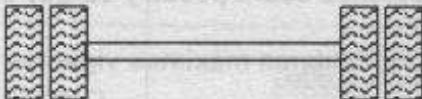
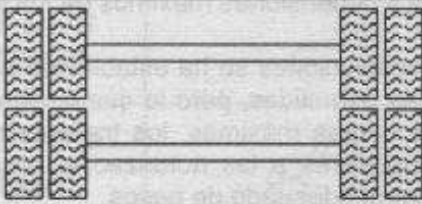
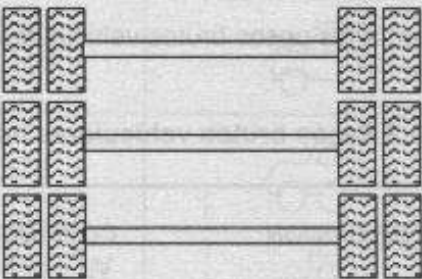
Tabla 3.2 Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia

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

• **Cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia.**

Los vehículos transmiten sus cargas al pavimento a través de sus ejes y éstos inducen esfuerzos tanto mayores cuanto más considerables sean las cargas. En la Tabla 3.3 se presentan las cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia, a la fecha de la elaboración de esta guía.

Tabla 3.3 Cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia

DESCRIPCION	CONFIGURACION	PESO t
EJE SIMPLE DIRECCIONAL		6,0
EJE SIMPLE LLANTA DOBLE		11,0
EJE TANDEM LLANTA DOBLE		22,0
EJE TRIDEM LLANTA DOBLE		24,0

3.3 FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR TIPO DE VEHÍCULO

El factor de equivalencia de carga por tipo de vehículo comercial representa el mayor o menor daño que un tipo de vehículo causa a un pavimento. El factor representa el número de veces que pasa el eje normalizado de 8.2 toneladas por cada pasada del tipo de vehículo considerado.

Las fórmulas que se utilizan para el cálculo del factor de equivalencia de carga por eje son las que se muestran en la Tabla 3.4.

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

Tipo de Eje	Fórmula para el Cálculo del Factor de Equivalencia
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.

Tipo de Vehículo		Factor de Equivalencia
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 periodo de diseño.

Tabla 3.6. Rangos de tránsito contemplados en la norma

Designación	Rangos de tránsito Acumulado por carril de diseño
T1	$0.5 - 1 * 10^6$
T2	$1 - 2 * 10^6$
T3	$2 - 4 * 10^6$
T4	$4 - 6 * 10^6$
T5	$6 - 10 * 10^6$
T6	$10 - 15 * 10^6$
T7	$15 - 20 * 10^6$
T8	$20 - 30 * 10^6$
T9	$30 - 40 * 10^6$

Es importante anotar que los tránsitos menores a $0.5 * 10^6$ ejes equivalentes están contemplados en el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajo tránsito del Instituto Nacional de Vías.

3.5 DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL Y POR CARRIL DE VEHÍCULOS PESADOS

Para el cálculo del tránsito equivalente por carril de diseño, se debe determinar la distribución porcentual de vehículos pesados de acuerdo a las características particulares de las condiciones de tránsito en la vía en estudio. Mediante observación, se determina la distribución direccional (F_d) de los vehículos comerciales o bien se adopta una distribución del 50% en cada dirección. Posteriormente, se corrige el número de vehículos comerciales en cada dirección por un factor de distribución por carril (F_{ca}) en función del número de carriles en cada sentido, para lo cual se recomienda la Tabla 3.7 sugerida por la AASHTO.

Tabla 3.7 Factor de distribución por carril

Numero total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (F_{ca})
1	1.0
2	0.90
3	0.75

3.6 PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO Y CÁLCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERÍODO DE DISEÑO

Según el grado de detalle de la información que se pueda obtener en cada proyecto, se contemplan dos niveles para el pronóstico del tránsito:

- **Nivel 1:** Pronosticar el número de ejes equivalentes acumulados en el período de diseño como simple expansión del número de ejes equivalentes en el año base, mediante fórmulas simples. En este caso, se necesita conocer el tránsito promedio diario, el porcentaje de vehículos comerciales y el factor de equivalencia de carga global para el año inicial del proyecto únicamente y la definición de la tasa de crecimiento.
- **Nivel 2:** Pronosticar el número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño y en el período de diseño, a partir de la extrapolación de la serie histórica del número de ejes equivalentes que se presentaron en cada uno de los años que conforman dicha

- 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:

$$N = (N_0 - N_c) * ((1+r)^n - 1) / r + N_c$$

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).

N₀ : 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_c : 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 (N₀).

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 (N₀), 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.

2. Otro de los aspectos importantes que se debe estudiar, es la estimación del crecimiento del tránsito debido al tiempo transcurrido entre el momento del conteo o estimación inicial hasta el momento de su efectiva puesta en servicio. Se incluye dentro de este período, el tiempo necesario para el proyecto, la gestión del financiamiento y la construcción de la obra.
3. Finalmente, se deben tener presentes las correcciones por el tránsito generado y atraído por la nueva carretera o pavimentación. En muchos casos, la corrección por este tipo de tránsito es igual o superior al tránsito observado en la carretera, siendo mayor la incidencia cuanto menor sea el tránsito observado.
4. Con respecto al tránsito generado y atraído, si se trata de una nueva carretera se sugiere adoptar los mismos valores contemplados en el estudio de diseño geométrico. En el caso de pavimentaciones de vías existentes, se deberán asumir estos valores de acuerdo con los criterios establecidos en los estudios de tránsito.

De acuerdo con lo anterior, el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el año base se puede expresar:

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) * F_d * F_{ca} + N_c$$

Donde:

- N_o : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t que circularán en el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.
- N_i : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t en el año de la medición del tránsito o proyecto del pavimento, corregido por el tiempo transcurrido entre éste y la puesta en servicio del pavimento.
- N_a : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t en el año base o de puesta en servicio, atraído de otras carreteras.
- N_g : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t en el año base o de puesta en servicio, generados por la mejora de la carretera.
- N_c : Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t ya soportados por el carril de diseño del pavimento durante la construcción del mismo.

F_d : Factor de distribución direccional.

F_{ca} : Factor de distribución por carril.

Para la determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (N_i) en el año de la medición del tránsito o proyecto del pavimento se podrá optar por una de las siguientes formas, dependiendo de las condiciones específicas del proyecto:

1. Medición de volúmenes y pesajes.
2. Estimación a partir de mediciones anteriores.
3. Estimación por comparación con vías de características similares a la que se está proyectando.
4. Combinación de las tres opciones anteriores.

El procedimiento por comparación se podrá utilizar solamente a nivel de anteproyecto.

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:

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

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:

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

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

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

• 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.

Tabla 3.8. Tasas de crecimiento obtenidas en un muestreo de la red vial nacional

TPDS	TASA DE CRECIMIENTO (%)	
	Total Vehículos	Vehículos Comerciales
< 500	6.0 - 6.5	5.5 - 6.0
500 - 1000	5.7 - 6.3	5.5 - 6.0
1000 - 2500	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
2500 - 5000	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
5000 - 10000	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
> 10000	4.0 - 6.0	3.0 - 5.0

Para la determinación de las tendencias de crecimiento del tránsito en la red vial colombiana administrada por el I.N.V, presentada en la Tabla 3.8 se dividió el país en ocho regiones, tratando de tener en cada una de ellas alto grado de homogeneidad. En cada región se escogieron doce tramos, de tal manera que se contara con dos para cada una de las categorías de tránsito preestablecidas, tomando como referencia el TPDS medido en el año 1994.

En el caso de que no se conozca la composición vehicular, se puede tomar como referencia la Tabla 3.9 que presenta el rango de valores porcentuales de composiciones vehiculares y de camiones, obtenidos en la red vial nacional para diferentes niveles de tránsito promedio diario semanal, encontrado con la misma muestra utilizada para las tasas de crecimiento.

Tabla 3.9 Resumen de composición vehicular obtenida de la red vial nacional

Categoría	TPDS	COMPOSICION			CAMIONES				
		A	B	C	C2-P	C2-G	C3-4	C-5	>C6
1	<500	50-55	10-15	30-35	40-45	50-55	2-5	0-2	0-2
2	500-1000	55-60	7-12	25-30	35-40	50-55	2-5	0-2	0-2
3	1000-2500	55-60	7-12	25-30	25-30	50-55	5-10	5-10	5-10
4	2500-5000	60-65	7-12	25-30	25-30	45-50	5-10	5-10	5-10
5	5000-10000	65-70	7-12	20-25	25-30	45-50	5-10	5-10	5-10
6	>10000	65-70	7-12	15-20	30-35	45-50	5-10	5-10	5-10

- **Corrección del tránsito proyectado para garantizar una confiabilidad del 90% en la determinación del número de ejes equivalentes.**

Una vez determinado N, el número de ejes equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño, se debe contemplar la confiabilidad requerida (del 90%) para acceder al catálogo de diseño; como se anotó en la introducción, el nivel de confianza en la estimación del tránsito debe manejarse externamente porque en los diseños únicamente se involucró el error por comportamiento.

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 periodo 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.

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

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

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

F_{cam} : 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.

3. Con base en la información de tránsitos equivalentes, realizar un análisis estadístico para establecer modelos de crecimiento factibles para las condiciones del estudio, utilizando los datos de la serie histórica de tránsito equivalente correspondientes a los últimos diez años, descartando de la serie histórica los valores de los años con condiciones anormales como: taponamientos en la vía, situaciones críticas de orden público, variantes, etc. Los modelos por aplicar pueden ser: regresiones, modelos autorregresivos, modelos económicos, modelos de transporte etc.
4. Definir el modelo de crecimiento de tránsito factible. La selección final de cualquier modelo de pronóstico se realizará sobre la base de los resultados de los coeficientes estadísticos (R^2 , F, t, etc), del análisis de las variables independientes adoptadas y de consideraciones acerca de las particularidades del proyecto, como la capacidad de la vía y la coherencia entre el valor proyectado y los datos iniciales. En ningún caso se deberá aceptar o rechazar un modelo sobre la base de los resultados de los coeficientes estadísticos únicamente, por ejemplo de acuerdo al valor del coeficiente de determinación (R^2).
5. Estimar el tránsito futuro en cada uno de los años del periodo de diseño con base en el modelo seleccionado, considerando los posibles años muertos por desarrollo del estudio, gestión del financiamiento y por procedimientos de adjudicación y construcción del proyecto, en forma análoga a lo descrito en el numeral 3.6.1.

Año	Tránsito equivalente pronosticado (N_j)
Año base1	N1
Año 2	N2
Año 3	N3
Año 4	N4
.	.
Año final del período de diseño	Nn

n : período de diseño j : varía desde el año 1 proyectado hasta el año n.

6. Corregir el tránsito proyectado para garantizar una confiabilidad del 90% en la determinación del número de ejes equivalentes.

Como se explica en la introducción de la norma, los diseños presentados en el catálogo alcanzan una confiabilidad del 90%, siempre y cuando el tránsito calculado para acceder el catálogo lleve externamente una confiabilidad del 90%. Por tal razón, los tránsitos equivalentes pronosticados para los años del período del diseño, requieren corrección para alcanzar dicho nivel de confiabilidad.

El procedimiento para introducir la confiabilidad al tránsito es el siguiente:

- a) Cálculo del error estandar (σ) del modelo utilizado en la proyección del tránsito, determinado con base en los datos de la serie histórica utilizada para definir el modelo.

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

Donde :

σ : Es el error estándar del modelo utilizado.

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

Y_{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 estándar en la predicción del tránsito ($\sigma_{\text{pronóstico}}$) año por año, en el período de diseño.

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

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 .

σ : 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.

AÑO (j)	N _j	(σ _{pronóstico}) _j
Año 1	N1	(σ _{pronóstico}) ₁
Año 2	N2	(σ _{pronóstico}) ₂
Año 3	N3	(σ _{pronóstico}) ₃
Año n	Nn	(σ _{pronóstico}) _n

- c) Determinación de los valores de corrección (C_j) para los N_j con base en el nivel de confianza deseado.

Conociendo los errores estándar y asumiendo una distribución normal para la diferencia del tránsito real con el estimado, se puede establecer el coeficiente de la curva normal estandarizada (Z_r) que asegure el nivel de confianza en la determinación.

$$C_j = (\sigma_{\text{pronóstico}})_j * Z_r$$

$$N'_j = N_j + C_j$$

Donde :

N_j : Ejes equivalentes estimados por el modelo en el año j.

C_j : Corrección en ejes equivalentes para el año j.

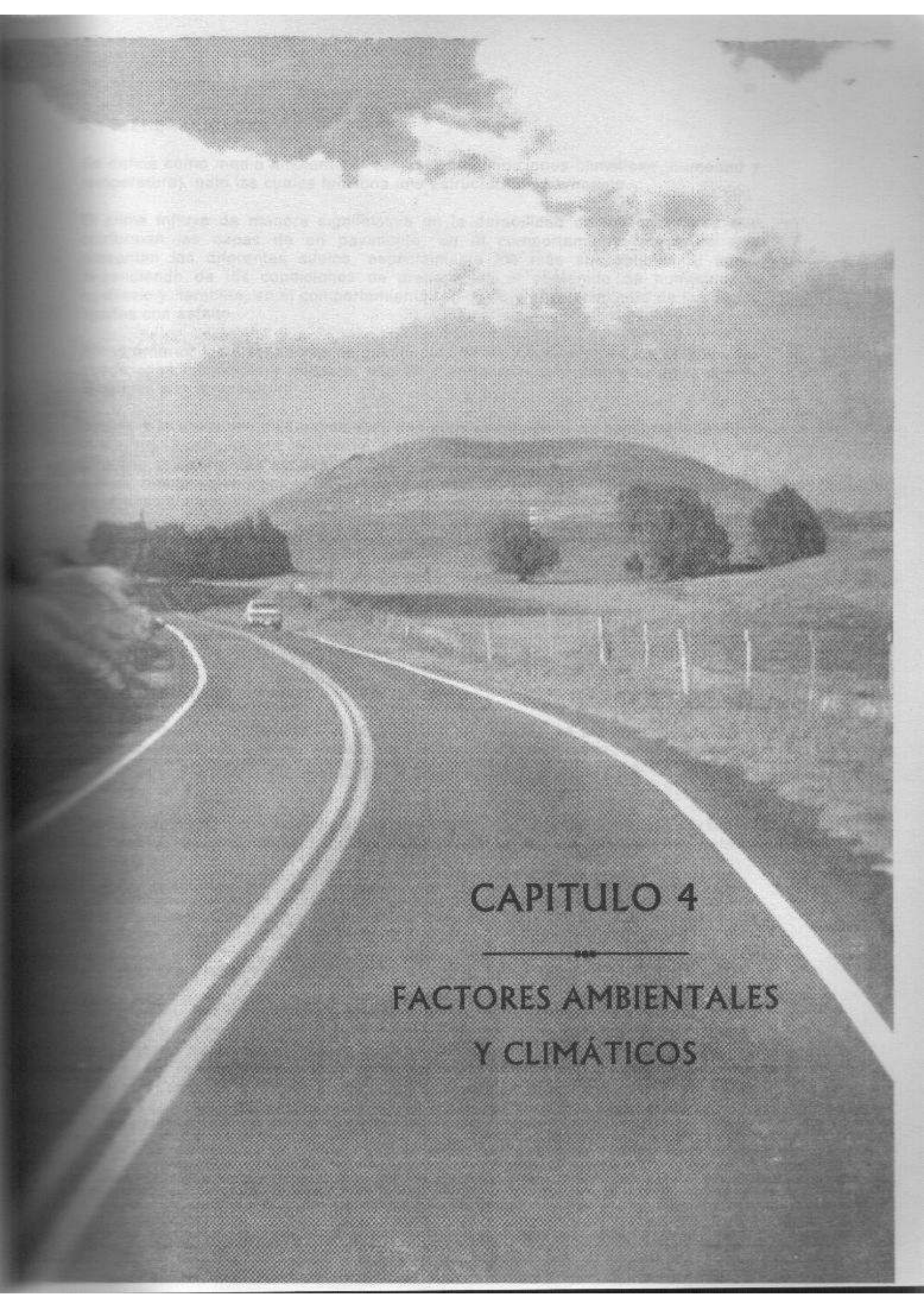
N'_j : Ejes equivalentes corregidos en el año j.

AÑO (j)	N _j	(σ _{pronóstico}) _j	Corrección C _j	Tránsito corregido N' _j
Año 1	N1	(σ _{pronóstico}) ₁	C1	N'1 = N1 + C1
Año 2	N2	(σ _{pronóstico}) ₂	C2	N'2 = N2 + C2
Año 3	N3	(σ _{pronóstico}) ₃	C3	N'3 = N3 + C3
Año n	Nn	(σ _{pronóstico}) _n	Cn	N'n = Nn + Cn
				$\sum_{j=1}^n N'_j$

7. Acumular los ejes equivalentes en el periodo de diseño, $\sum_{j=1}^n N'_j$, para lo cual se sumarán los tránsitos equivalentes corregidos de cada año en el periodo de diseño.

8. Calcular el valor N de diseño

Para calcular el valor del tránsito equivalente de diseño se tendrán en cuenta, además del tránsito normal, los volúmenes de tránsito correspondientes al tránsito generado y atraído debido a la construcción.



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.

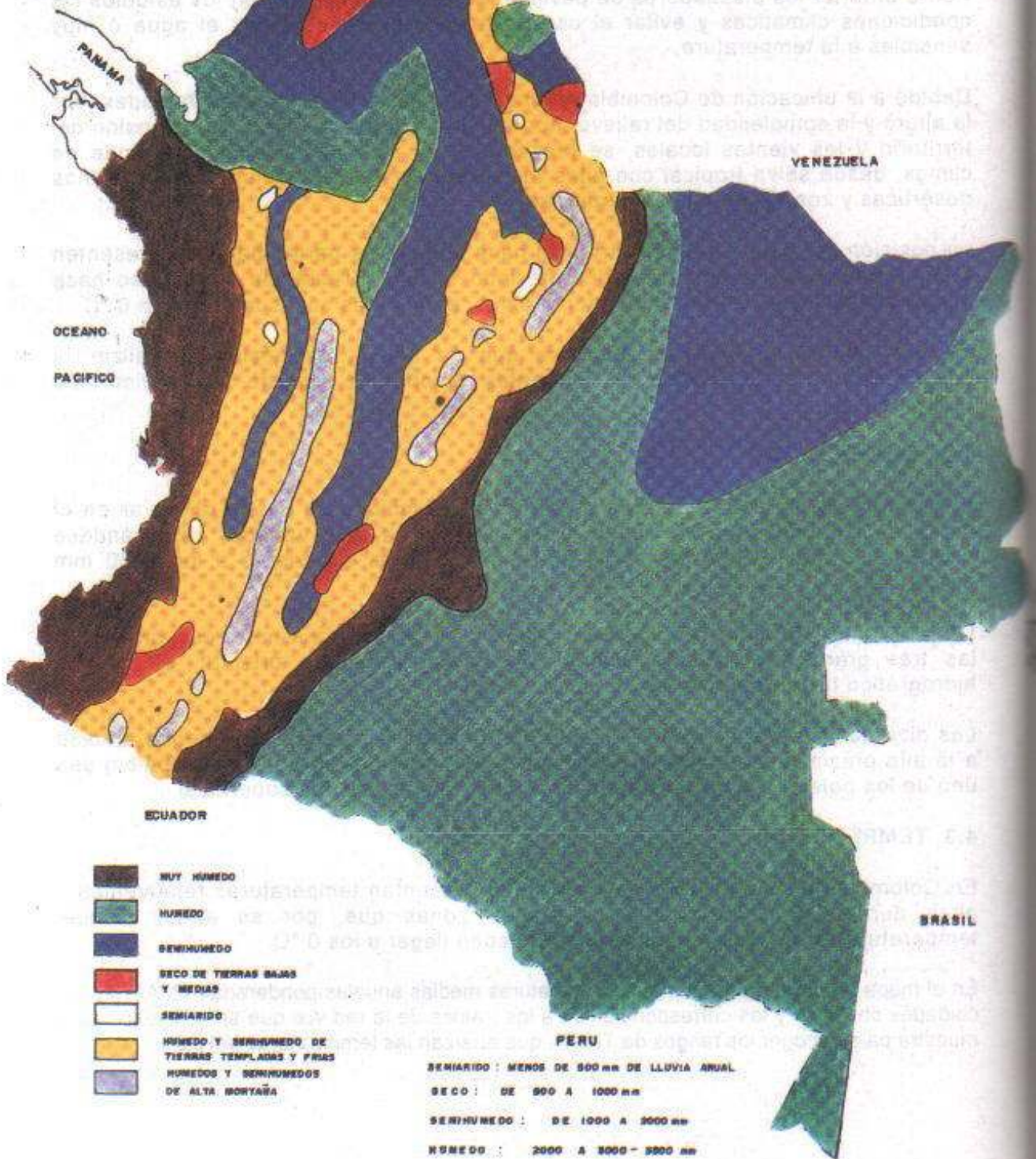
En el mapa anexo se presentan las temperaturas medias anuales ponderadas TMAP, de las ciudades capitales y las correspondientes a los tramos de la red vial que se utilizaron como muestra para escoger los rangos de TMAP, que abarcan las temperaturas del país.



MAR CARIBE

REPUBLICA DE COLOMBIA
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

MAPA DE CLIMAS

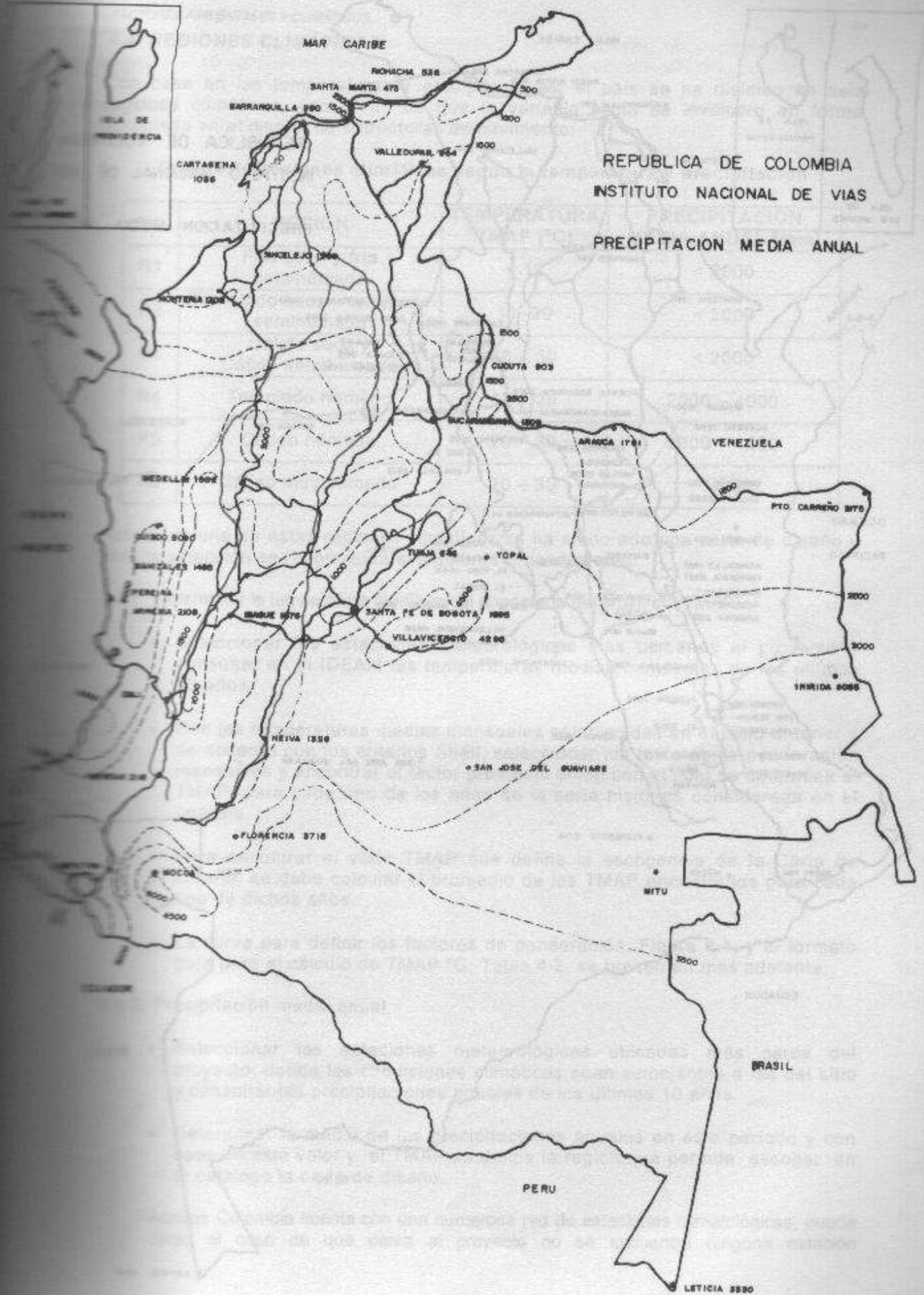




ISLA DE HISPANIOLA

MAR CARIBE

REPUBLICA DE COLOMBIA
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
PRECIPITACION MEDIA ANUAL



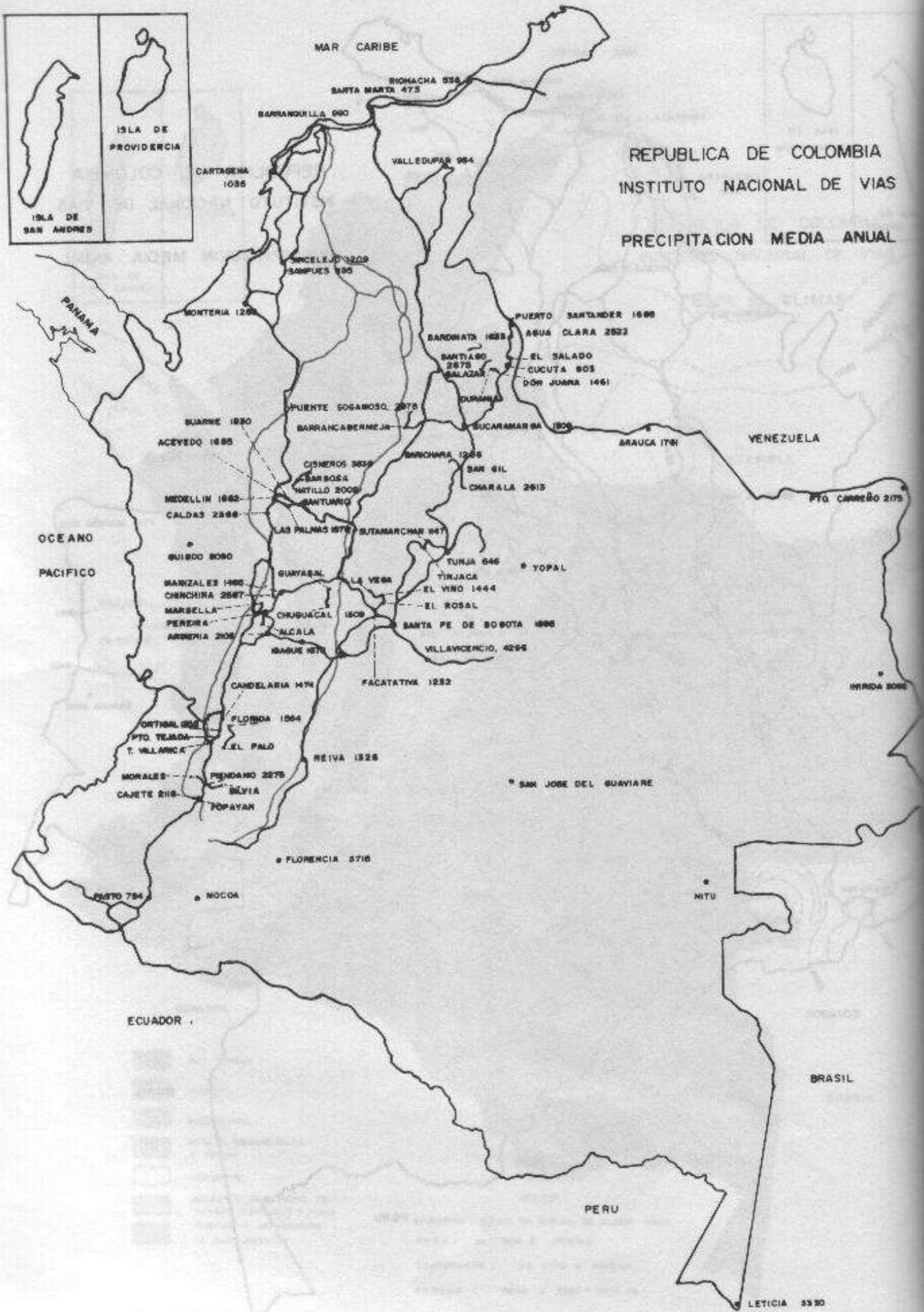
VENEZUELA

BRASIL

PERU



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

meteorológica; en este caso, el diseñador debe buscar una región "par" que tenga altitud, topografía, drenaje y clima que reproduzcan prácticamente los de la zona del proyecto.

Si alguna región de un proyecto se aleja del valor extremo de temperatura detectada con la muestra analizada, se debe tener en cuenta la siguiente consideración:

- Si la TMAP supera los 30°C, se debe utilizar concreto asfáltico fabricado con asfaltos tratados con polímeros, que tengan muy baja susceptibilidad térmica y se procederá a utilizar las cartas de diseño 5 ó 6, según la información de la precipitación.

Temperatura (°C)	Índice de Precipitación (mm)	Descripción de la Región
> 30	> 2000	Templado seco y templado semihúmedo
> 30	1000 - 2000	Caldo seco y Caldo semihúmedo
20 - 30	1000 - 2000	Templado templado
20 - 30	500 - 1000	Caldo templado
20 - 30	< 500	Caldo muy templado

ISLA DE
PROVIDENCIA

REPUBLICA DE COLOMBIA
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
T MAP

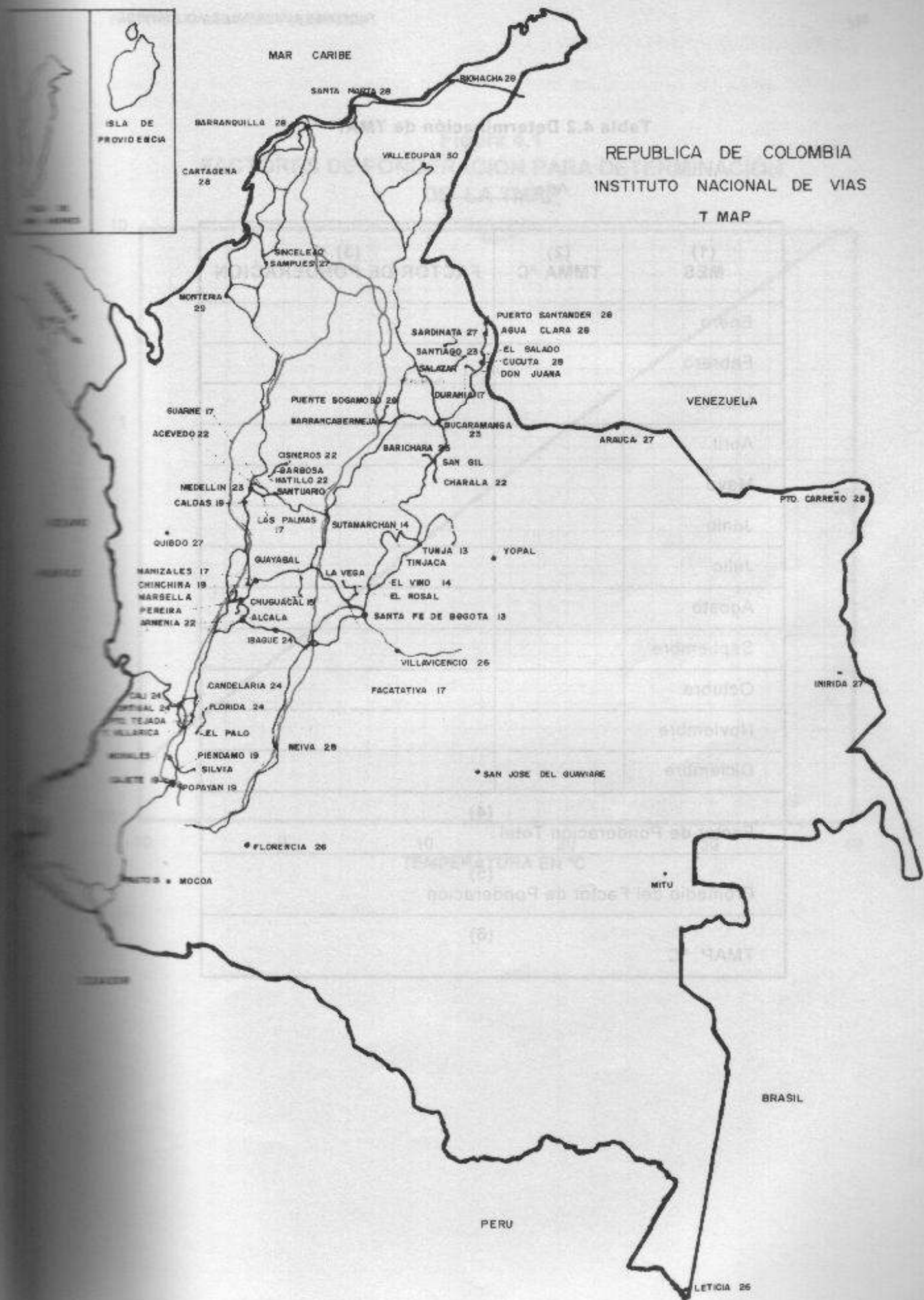


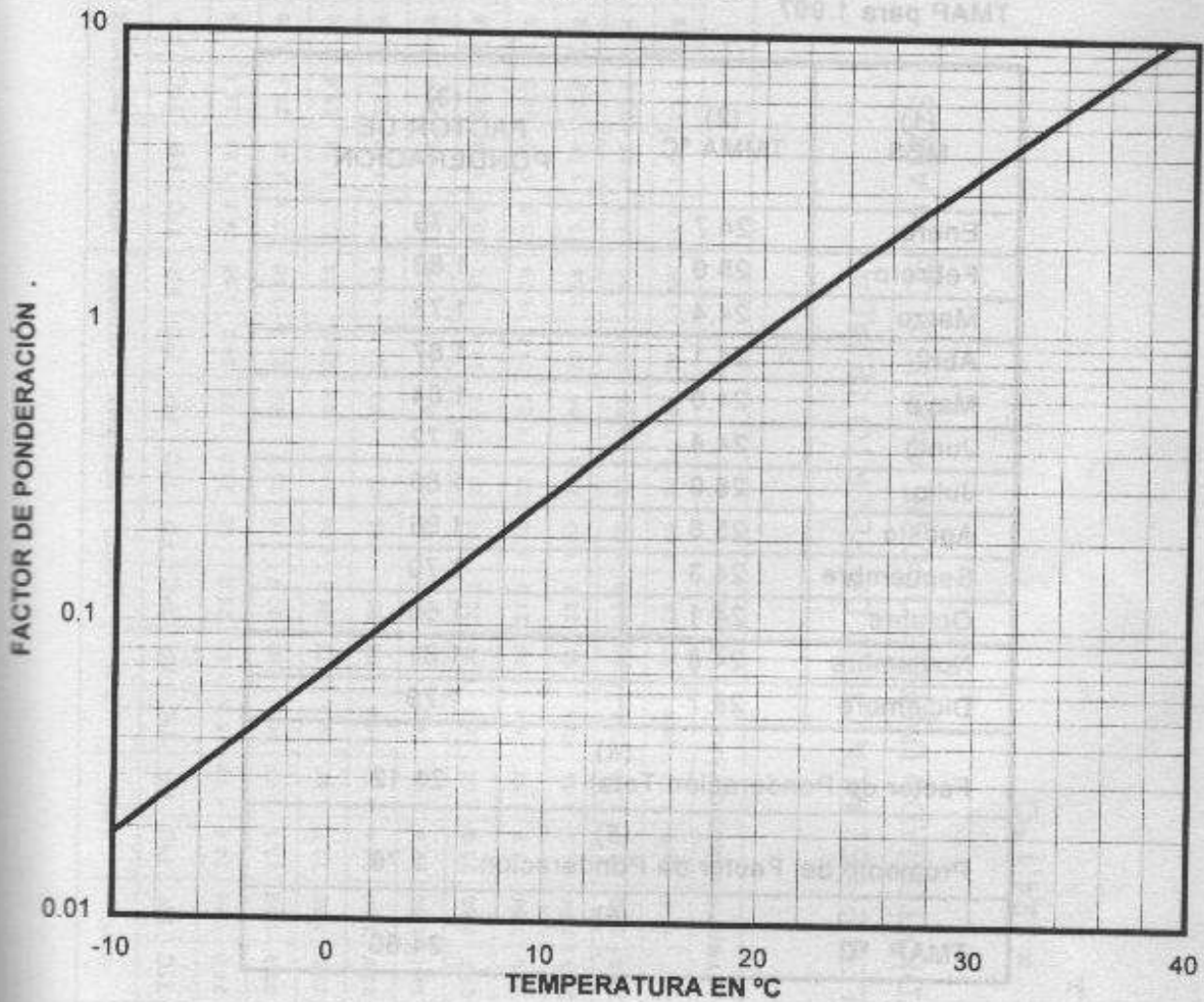
Tabla 4.2 Determinación de TMAP

Año: _____

(1) MES	(2) TMMa °C	(3) FACTOR DE PONDERACION
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
Factor de Ponderación Total		(4)
Promedio del Factor de Ponderación		(5)
TMAP. °C		(6)

Con los datos de temperatura media mensual del municipio de Puerto Tejada correspondiente a la estación 2604801, calcular la TMAP para un periodo de diseño de 10 años.

Figura 4.1
FACTORES DE PONDERACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE LA TMAP



Para determinar la TMAP para un periodo de diseño de 10 años, se debe utilizar el factor de ponderación correspondiente a la temperatura media mensual del municipio de Puerto Tejada para un periodo de diseño de 10 años.

Para calcular la TMAP, se recomienda utilizar los datos de temperatura media mensual del municipio de Puerto Tejada para un periodo de diseño de 10 años.

4.5 EJERCICIO DE APLICACIÓN

Con los datos de temperatura media mensual del municipio de Puerto Tejada, correspondiente a la estación 2604501, calcular la TMAP para un período de diseño de 10 años:

- Cálculo de la TMAP para cada año, utilizando la Tabla 4.2

TMAP para 1.997

(1) MES	(2) TMMA °C	(3) FACTOR DE PONDERACION
Enero	24.7	1.79
Febrero	25.0	1.86
Marzo	24.4	1.73
Abril	24.1	1.67
Mayo	24.0	1.64
Junio	24.4	1.72
Julio	25.0	1.86
Agosto	25.0	1.86
Septiembre	24.3	1.70
Octubre	24.1	1.66
Noviembre	24.8	1.81
Diciembre	24.7	1.79
(4) Factor de Ponderación Total		21.12
(5) Promedio del Factor de Ponderación		1.76
(6) TMAP. °C		24.60

- Para determinar la TMAP del período de diseño se promedian las TMAP de cada uno de los años de diseño.
- Para facilitar la operación, se recomienda utilizar una tabla como la que se presenta a continuación:

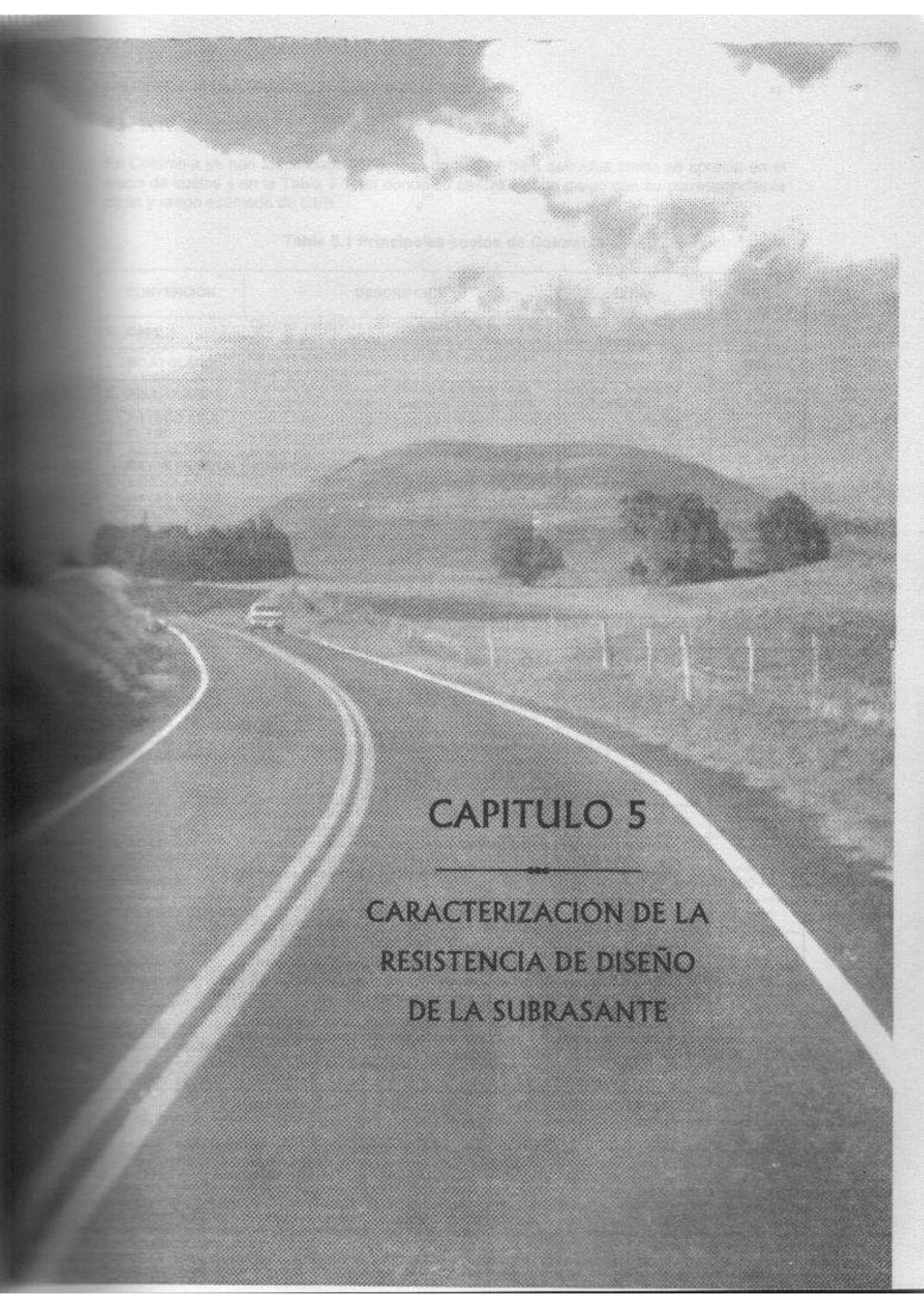
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMB		OCTUBRE		NOVIEMB		DICIEMBRE		TMAP	
	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	T°C	FP	(5)	(6)
1987	24.7	1.79	25.0	1.86	24.4	1.72	24.1	1.66	24.0	1.64	24.4	1.72	25.0	1.86	25.0	1.88	24.3	1.70	24.1	1.66	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	23.3	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	1.64	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	1.58	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	23.8	1.56	23.6	1.56	23.6	1.56	23.8	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.



El Control de la Tasa de...
de la Tasa de...
de la Tasa de...

Tabla 5.1 Principales suelos de Chile

Distribución	Descripción

CAPITULO 5



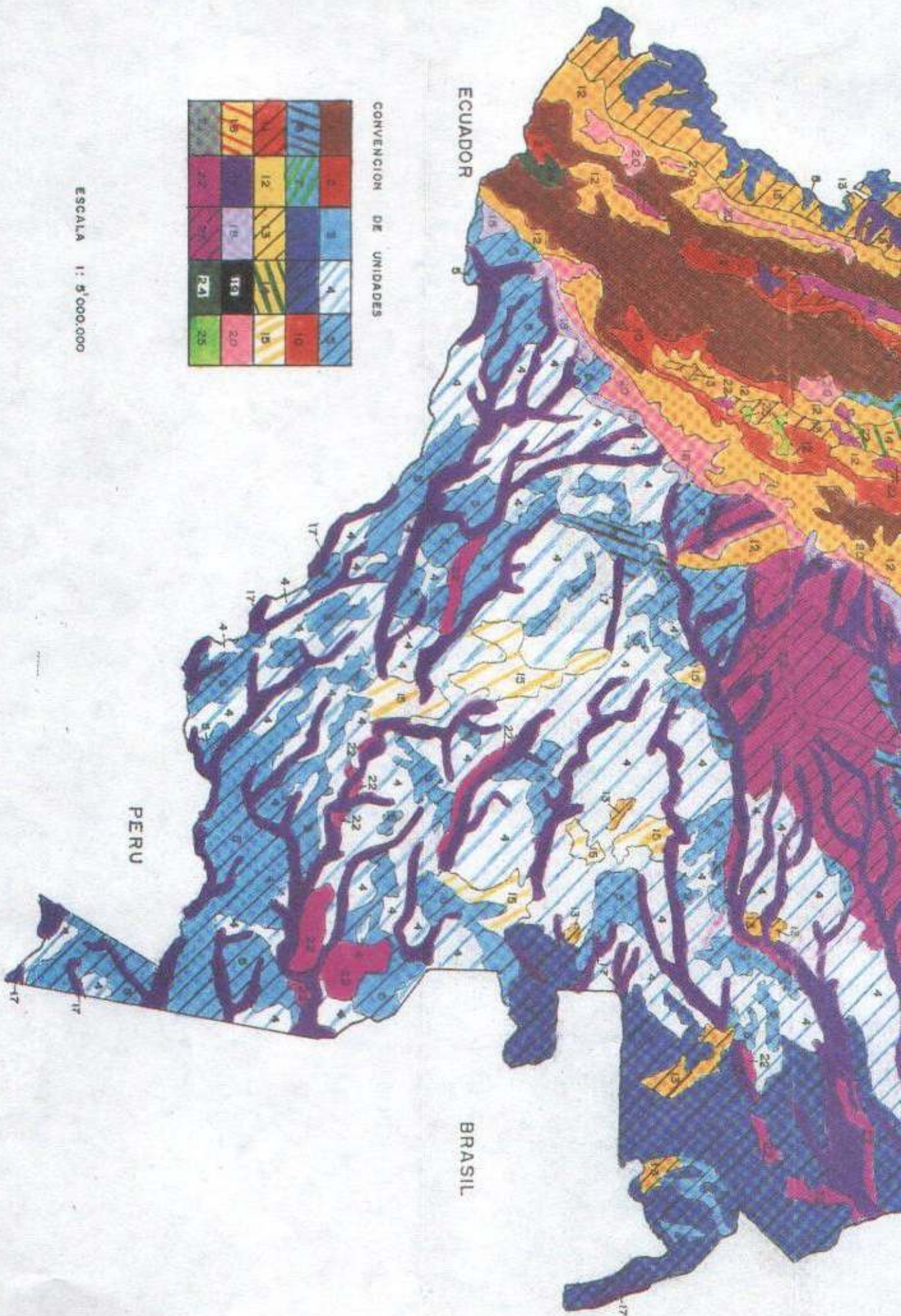
CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO DE LA SUBRASANTE

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 igneo 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



ECUADOR

CONVENCIÓN DE UNIDADES

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

ESCALA 1: 5'000.000

PERU

BRASIL

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 ²	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/cm² (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

5.2.1 Investigación geotécnica preliminar

5.2.1.1 Secciones en corte

La investigación preliminar se efectuará con base en sondeos cada 250 m, hasta una profundidad por debajo de la cota de rasante donde las características del suelo tienen un efecto significativo en el comportamiento del pavimento. Por debajo de este nivel la resistencia y la densidad del suelo no afectan la estructura, debido a que la incidencia de las cargas de tránsito es prácticamente insignificante.

Para investigaciones preliminares se recomiendan las siguientes profundidades mínimas de exploración, medidas a partir de las cotas de rasante.

Tabla 5.3 Profundidades mínimas de exploración

NO. EJES DE 8.2 TONELADAS ACUMULADOS EN EL PERIODO DE DISEÑO X 10 ⁶	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION MÍNIMA (m)
0.5 -2.0	1.20
> 2.0	1.50

En proyectos de carreteras en zonas montañosas, en los que se contemplen simultáneamente los estudios geométricos y de pavimentos, la frecuencia de los sondeos preliminares (cada 250 m) puede ser improcedente; por lo tanto, en este caso el I.N.V acordará con el consultor un plan para los estudios geotécnicos relacionados con el diseño definitivo del pavimento.

Para cada estrato de suelo detectado a partir de 0.40 m por debajo de la cota de rasante se efectuará muestreo alterado para determinar los límites de consistencia del suelo y la humedad natural para calcular el índice de consistencia. Cuando haya indicios de expansividad en los suelos de la zona, las sospechas pueden ser generadas por los valores de I_p y LL (Ver Tabla 5.4) ó por antecedentes de daños en edificaciones livianas y estructuras de pavimentos en el sector; en tal caso, se deberá determinar el % de expansión según el método de Seed, el cual establece correlaciones entre el potencial de hinchamiento de un suelo, el tamaño de las partículas arcillosas y la actividad del suelo. El potencial de hinchamiento se determina en el consolidómetro con muestras remoldeadas, compactadas con humedad y densidad iguales a la humedad óptima y densidad máxima del proctor estándar y bajo una presión de 0.07 Kg/cm². Se considerará la subrasante como expansiva, si el % de hinchamiento supera el valor de 1.5. Para calificar el potencial expansivo también se puede utilizar como método alternativo el P.V.C, encontrado en el expansómetro de Lambe.

Tabla 5.4 Clasificación de suelos expansivos con base en el Limite Líquido y el Índice de Plasticidad (Snethen y otros)

LL %	IP %	HINCHAMIENTO POTENCIAL %	CLASIFICACIÓN DEL HINCHAMIENTO POTENCIAL
>60	>35	>1.5	Alto
50 - 60	25 - 35	0.5 - 1.5	Marginal
>50	<25	< 0.5	Bajo

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 ⁶	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.

5.3 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DEFINITIVA

Con base en la investigación preliminar y en las unidades de diseño ya definidas, se deben tomar decisiones acerca del tratamiento general de la subrasante, considerando alguno de los siguientes casos.

1. Capa subrasante conformada por el suelo natural o de fundación.
2. Remoción parcial del suelo de fundación para conformar la capa subrasante con un suelo de préstamo.
3. Tratar el suelo de fundación mediante compactación o estabilización química para conformar una capa de subrasante con el suelo mejorado in situ.
4. Subrasantes correspondientes a coronas de terraplén.
5. Suelos de fundación de la estructura del pavimento considerados especiales, como son:
 - Suelos expansivos
 - Suelos muy blandos orgánicos e inorgánicos
 - Suelos sensitivos de origen volcánico

Para cada uno de estos cinco (5) casos, el estudio definitivo tendrá características particulares y se realizarán las siguientes actividades:

CASO 1: Capa subrasante conformada por el suelo natural o de fundación.

Cuando en el estudio preliminar se detecte una subrasante de consistencia dura o muy dura, según los índices de consistencia, se efectuará un muestreo inalterado para pruebas de Módulo Resiliente ó CBR por cada tipo de suelo.

Las condiciones de humedad (saturado ó no) de estos ensayos, dependen de las características climáticas de la zona de proyecto, como se indica más adelante. El número de ensayos necesarios será establecido de acuerdo a los conceptos estadísticos que se detallan más adelante en el numeral 5.3.2. En ningún caso el número mínimo de ensayos será inferior a cuatro (4) por cada tipo de suelo.

CASO 2: Remoción parcial de la fundación para conformar la capa subrasante con un suelo importado.

Se debe efectuar la remoción parcial de la fundación en caso que los resultados de la investigación preliminar indiquen que el suelo no es capaz de desarrollar módulos resilientes iguales ó superiores a 300 kg/cm^2 y cuando el suelo no sea susceptible de ser estabilizado en el sitio.

En este caso, el espesor mínimo a reemplazar en vías con tránsitos superiores a 0.5×10^6 ejes equivalentes debe ser de 0.50 m. El material de préstamo se debe estudiar previamente y efectuarle las pruebas definidas en el Artículo No. 220 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del I.N.V., incluyendo la medición del Módulo Resiliente a un número de muestras determinado según los criterios estadísticos expuestos en el numeral 5.3.2, donde se define un mínimo absoluto de 4 ensayos, con las condiciones de densidad y humedad que se considera van a prevalecer en obra ó el mismo número de pruebas de CBR de laboratorio que permita seleccionar el valor para las condiciones de densidad y humedad esperadas, las cuales se determinan de acuerdo con las condiciones climáticas, como se

detalla más adelante.

El diseñador también puede contemplar esta alternativa cuando, a pesar de que la subrasante alcance módulos superiores a 300 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.

5.3.1 Selección de las condiciones de humedad prevalecientes en la obra

Las condiciones de humedad a las cuales se deben realizar las pruebas de laboratorio dependen de las características climáticas de la zona del proyecto.

Con base en estas características, se presentan en la Tabla 5.8 las recomendaciones para

Tabla 5.8 Precipitación y condiciones de humedad para el ensayo

No	REGIÓN	TEMPERATURA TMAP (°C)	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	CONDICIONES DE HUMEDAD PARA EL ENSAYO
R1	Fría seca	< 13	< 1000	Con humedad y densidad de equilibrio. Norma I.N.V. E-146
	Fría semihúmeda	< 13	1000 – 2000	Sumergido
R2	Templado seco	13 – 20	< 1000	Con humedad y densidad de equilibrio Norma I.N.V. E-146
	Templado semihúmedo	13 – 20	1000 – 2000	Sumergido
R3	Cálido seco	20 – 30	< 1000	Con humedad y densidad de equilibrio Norma I.N.V. E-146
	Cálido semihúmedo	20 – 30	1000 – 2000	Sumergido
R4	Templado húmedo	13 – 20	2000 – 4000	Sumergido
R5	Cálido húmedo	20 – 30	2000 – 4000	Sumergido
R6	Cálido muy húmedo	20°C - 30°C	> 4000	Sumergido

Tiempo de inmersión: 4 días para suelos limosos poco plásticos.
8 días para suelos arcillosos y limosos plásticos.

Los diseños presentados en la guía han sido preparados asumiendo que la subrasante, subbase y base granulares estarán en presencia de agua subsuperficial libre por un periodo no mayor a cinco(5) días consecutivos en un mes. En caso que el ingeniero considere que las capas del pavimento estarán más tiempo en contacto con agua subsuperficial, deberá diseñar el sistema de subdrenaje que asegure el cumplimiento de la condición de diseño.

5.3.2 Determinación del tamaño de la muestra ó número de ensayos requeridos para la caracterización de la resistencia de la subrasante

Uno de los más importantes principios que deben ser atendidos en la aplicación de conceptos estadísticos para el análisis de pavimentos es el hecho que cuando se conduce cualquier programa de muestreo y ensayos, es imperativo que se adopte un completo método aleatorio para la selección.

Cualquier medición realizada sobre una población da sólo una estimación de la verdadera media poblacional y desviación estándar. Lógicamente, a medida que el número de muestras se incrementa, las estimaciones se vuelven más precisas y la confiabilidad del muestreo aumenta.

En programas de muestreos y ensayos, frecuentemente se desea saber qué tan seguro se está de que el valor medio obtenido esté dentro de los límites especificados, cuando un

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 (μ), 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

σ : 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/cm² en suelos finos y 200 Kg/cm² 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 (σ) para el CBR fue de 3.40. Determinar cuantas 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.

Recomendación general

Para determinar la resistencia u otra característica de la subrasante, en general, el número requerido de ensayos a realizar es de 6 a 8 para cada tipo de suelo, con un mínimo absoluto de 4. Cabe destacar que más de 9 ensayos es innecesario. Estas recomendaciones están basadas en información obtenida de curvas de límites de confianza o máximo error permitido para determinados niveles de confianza en función del número de ensayos requeridos.

5.4. SELECCIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO Y CLASIFICACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA UNIDAD

Una vez obtenidos los resultados de los módulos resilientes se debe seleccionar el valor de diseño para cada una de las unidades homogéneas. Como se expuso en la introducción del manual, las estructuras propuestas en el catálogo tienen implícita una confiabilidad del 90%, que se alcanza siempre y cuando se entre con los valores medios de la subrasante y el clima. Para determinar el valor medio del módulo resiliente de la unidad se debe proceder así:

Como primer paso se debe encontrar el valor medio de los valores de los módulos resilientes determinados para cada uno de los suelos presentes en la unidad, y como segundo y último paso se debe calcular el valor medio ponderado de la unidad utilizando como criterio de ponderación la relación entre la extensión del depósito de suelo y la longitud total de la unidad considerada.

Si el parámetro evaluado es el CBR se debe utilizar la correlación: $MR \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 100 \text{ CBR}$, pero si se cuenta con correlaciones entre el CBR y MR particulares para suelos de la zona del proyecto con aceptable coeficiente de correlación, se pueden usar para inferir el módulo resiliente de la unidad.

Según el módulo resiliente encontrado, se clasifica la subrasante de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Categorías de la subrasante

MÓDULO RESILIENTE kg/cm ²	CATEGORÍA
$300 \leq MR < 500$	S1
$500 \leq MR < 700$	S2
$700 \leq MR < 1000$	S3
$1000 \leq MR < 1500$	S4
$MR \geq 1500$	S5

ESTADOS Y CONDICIONES

La selección de materiales para el pavimento se realiza en una serie de etapas, desde la definición de los requisitos y condiciones de uso, hasta la selección de los materiales que mejor satisfacen las necesidades del proyecto, considerando los costos y la disponibilidad de los mismos.

El procedimiento de selección de materiales para el pavimento se realiza en etapas, desde la definición de los requisitos y condiciones de uso, hasta la selección de los materiales que mejor satisfacen las necesidades del proyecto, considerando los costos y la disponibilidad de los mismos.

El procedimiento de selección de materiales para el pavimento se realiza en etapas, desde la definición de los requisitos y condiciones de uso, hasta la selección de los materiales que mejor satisfacen las necesidades del proyecto, considerando los costos y la disponibilidad de los mismos.

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 cimiento, 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.

El ligante será emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, tipo CRL-1 ó CRL-1h, que cumpla los requisitos de calidad establecidos en la Especificación INV Artículo 400.

El agua que se requiera deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y de otras sustancias perjudiciales. Especificaciones INV: Artículos 340 y 400.

6.2.4 Materiales para bases estabilizadas con cemento

Suelos BEC: Son suelos para base estabilizada con cemento. El material para estabilizar con cemento podrá provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, agregados locales de baja calidad, escorias o mezclas de cualesquiera de ellos, libres de materia orgánica u otra sustancia que puede perjudicar el correcto fraguado del cemento. Son suelos con poca plasticidad, para que se puedan disgregar para conseguir una mezcla íntima con el cemento.

El cemento será Portland Normal tipo I, o excepcionalmente otro, cuando el diseño de la mezcla lo justifique.

El agua deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis u otras sustancias deletéreas. Especificaciones: INV Artículo 341 e ICONTEC NTC 121 y 321.

6.2.5 Materiales para mezclas bituminosas

Agregados pétreos MDF-1 a MDF-3; MDC-1 a MDC-3, empleados para la ejecución de cualquier mezcla bituminosa, deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicarle una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, éste no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular.

El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto.

Para seleccionar alguna de las gradaciones especificadas para las mezclas asfálticas en frío ó en caliente, uno de los criterios que deberá tenerse en cuenta es el espesor de la capa compactada por colocar.

Los cementos asfálticos a emplear en los riegos de liga y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente serán de penetración 60-70 ú 80-100 según el clima y las características de operación de la vía.

Las emulsiones asfálticas serán de rotura rápida, media o lenta, según la unidad de obra por ejecutar y las condiciones de granulometría y de clima.

En caso de justificar la necesidad, se podrán usar aditivos mejoradores de adherencia de calidad reconocida. Especificaciones INV: Artículos 400, 431, 433, 440 y 450.

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	$Tr \geq 50\%$, $D \leq 40\%$, $P \leq 12\%-18\%$, $la \leq 35\%$, $CBR \geq 80\%$
-----	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 ≥ 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, $D < 30\%$ Rodadura, $P \leq 12\%-18\%$, $R_c \geq 75\%$, $la \leq 35\%$, 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, $D < 30\%$ Rodadura, $P \leq 12\%-18\%$, $R_c \geq 75\%$, $la \leq 35\%$, 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

Los métodos de evaluación económica de alternativas de diseño de pavimentos:

- Para evaluar alternativas de diseño de pavimentos en proyectos de carreteras.
- Para evaluar alternativas de diseño de pavimentos en proyectos de carreteras.

El método de evaluación económica de alternativas de diseño de pavimentos:

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

- C_o : 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 periodo 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 periodo de diseño estructural. Si a partir del término del periodo 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 periodo de análisis económico..

2. COSTOS DE LOS USUARIOS

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

- Los costos de operación vehicular que involucran:

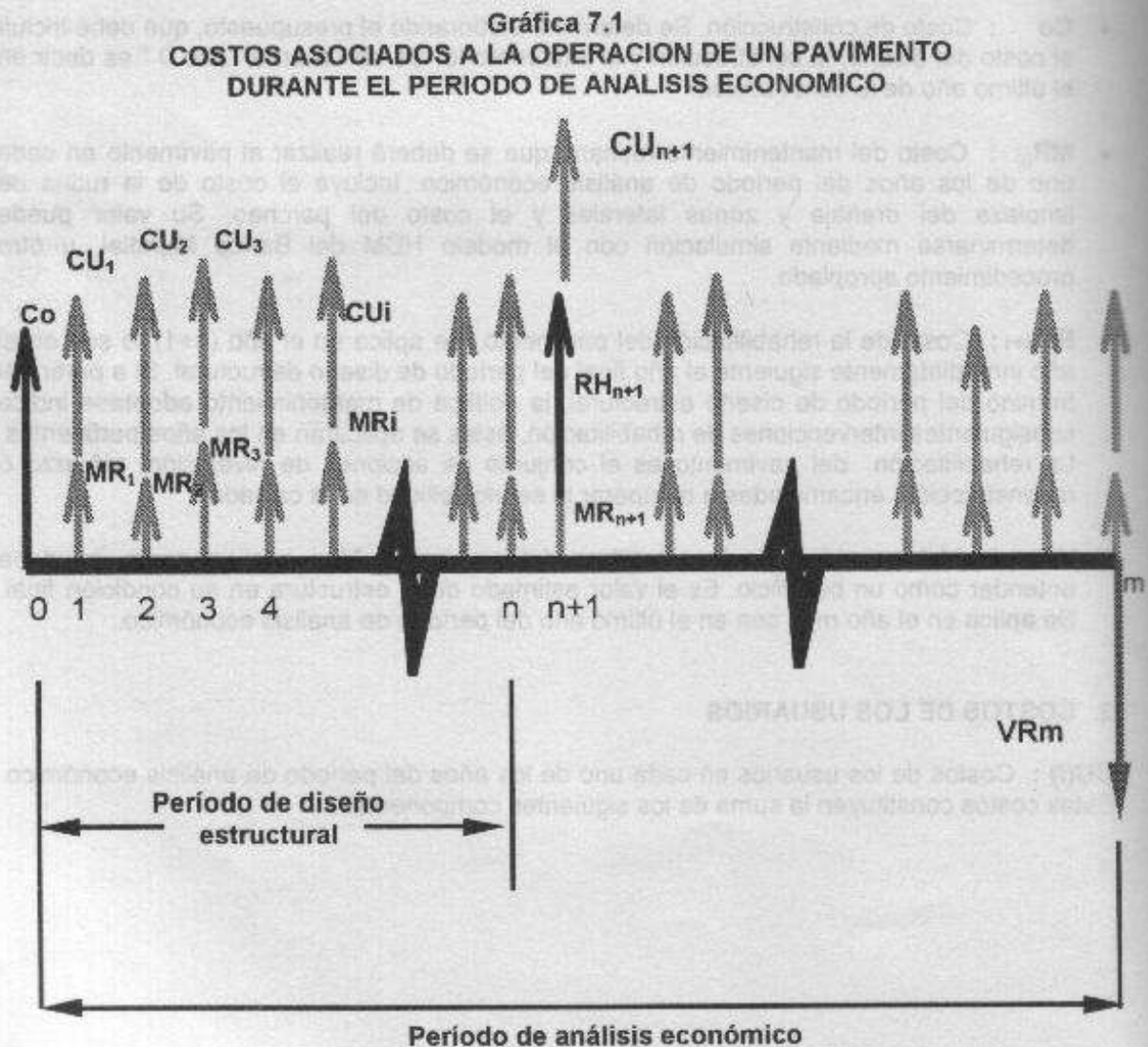
Consumo de combustibles
 Consumo de lubricantes
 Consumo de llantas
 Costos de repuestos y mano de obra en el mantenimiento de los vehículos.
 Costo de tripulación (en vehículos comerciales)
 Depreciación del vehículo, en proporción al kilometraje recorrido.

Estos costos pueden ser determinados mediante simulación con el modelo HDM

- Los costos del tiempo de los pasajeros . Se determinan multiplicando el tiempo de viaje (horas) * No. de pasajeros * \$/hora/pasajero.

- El costo de accidentes de tránsito. Para su determinación, se puede recurrir a estadísticas de las compañías de seguros.

En la Gráfica 7.1 se indica la localización en el tiempo de los factores de costo antes mencionados.



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

cuestión de incorporar cambio de precios diferenciales en el análisis económico es extremadamente complicado. El uso de precios diferenciales sólo está recomendado cuando haya una importante evidencia de que ciertos ítems, como el costo de la tierra, van a sufrir cambios significativos en relación al nivel de precios general.

7.4 EL COSTO GLOBAL ACTUALIZADO (CGA) COMO CRITERIO DE COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES

EL COSTO GLOBAL ACTUALIZADO es la suma, en valor presente, de los costos asociados a la operación de un pavimento.

Tales costos son:

- Costo de construcción.
- Costo del mantenimiento rutinario.
- Costo de las rehabilitaciones.
- Costos de los usuarios.
- Valor residual de la estructura. (con signo negativo, ya que se considera que es un monto que se recupera al final del período de análisis económico.)

La expresión para determinar el costo global actualizado (CGA) de una alternativa estructural dada es la siguiente:

$$CGA = \left[Co + \sum_{i=1}^m \frac{MR_i}{(1+a)^i} + \frac{RH_{n+1}}{(1+a)^{n+1}} - \frac{VR_m}{(1+a)^m} \right] + \left[\sum_{i=1}^m \frac{CU_i}{(1+a)^i} \right]$$

Donde :

CGA : Costo global actualizado de la alternativa considerada

$Co, MR_{(i)}, VR_m, RH_{n+1}, VR_m, CU_{(i)}$: Parámetros descritos en el numeral 7.2

n : Último año del período de diseño estructural

m : Último año de período de análisis económico

a : Tasa de descuento expresada en tanto por uno.

La alternativa más económica será aquella que presente el MENOR COSTO GLOBAL ACTUALIZADO.

Es pertinente manifestar que si la evaluación tiene como propósito adoptar elementos de juicio para la toma de decisiones por parte de una entidad del estado, los cálculos deberán realizarse mediante presupuestos elaborados utilizando precios económicos, es decir afectando los precios unitarios del mercado por las relaciones Precio/Cuenta sugeridas por el Departamento Nacional de Planeación.

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.

7.5.4 Tasa de descuento (a)

El Instituto Nacional de Vías, siguiendo las recomendaciones de entidades internacionales de crédito y directrices del gobierno central, sugiere la utilización de una tasa de actualización del 12% al año, es decir $a = 0.12$.

7.6 EJEMPLO DE CALCULO DEL COSTO GLOBAL ACTUALIZADO (CGA) DE UNA ALTERNATIVA ESTRUCTURAL

En la Tabla 7.1 se indican los costos asociados a una alternativa dada de un proyecto específico. En dicho ejemplo el período de diseño estructural es de diez (10) años y el período de análisis económico es de veinte (20) años.

Tabla 7.1 Ejemplo de la determinación del costo global actualizado (CGA) de una alternativa de diseño

AÑO	COSTO (Co)	COSTO (MR)	COSTO (RH)	COSTO (CU)	VR	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL ACTUALIZADO
0	4.260						4.260
1		8,30		13.450,00		13.458,30	12.016,34
2		14,90		17.600,00		17.614,90	14.042,49
3		20,50		23.860,00		23.880,50	16.997,67
4		26,40		29.100,00		29.126,40	18.510,35
5		31,20		32.410,00		32.441,20	18.408,01
6		36,50		38.830,00		38.866,50	19.690,98
7		39,10		41.520,00		41.559,10	18.799,23
8		42,40		43.410,00		43.452,40	17.549,70
9		49,60		45.970,00		46.019,60	16.595,13
10		55,30		48.670,00		48.725,30	15.688,24
11		12,60	1.380,00	19.365,00		20.757,60	5.967,31
12		17,30		27.340,00		27.357,30	7.021,94
13		21,90		33.850,00		33.871,90	7.762,57
14		22,40		37.400,00		37.422,40	7.657,36
15		22,80		42.615,00		42.637,80	7.789,77
16		29,60		47.420,00		47.449,60	7.740,06
17		35,80		52.990,00		53.025,80	7.722,91
18		39,40		56.110,00		56.149,40	7.301,64
19		41,70		59.570,00		59.611,70	6.921,32
20		45,40		63.480,00	-426,00	63.099,40	6.541,31
COSTO GLOBAL ACTUALIZADO (CGA) =							244.984,32

Co : Construcción

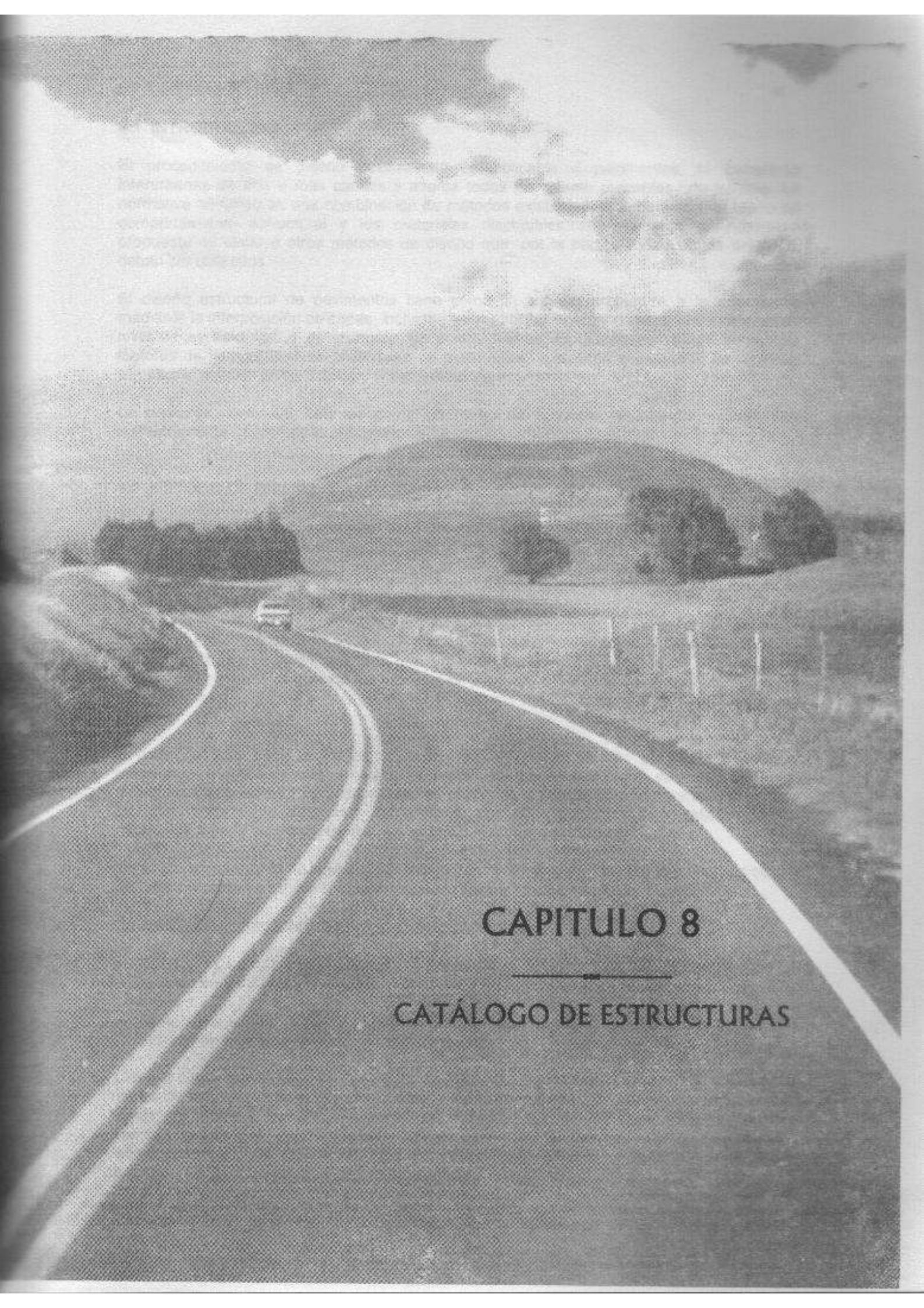
MR : Mantenimiento rutinario

RH : Rehabilitación

CU : Costos de los usuarios

VR : Valor residual

Valores en millones de pesos



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 teniendo 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

fatiga desarrolladas por Finn que involucran el nivel de fisuramiento en servicio.

La evaluación se realizó estadísticamente asumiendo las variables de entrada de diseño como variables aleatorias independientes y la diferencia entre el número de ejes equivalentes soportados por la estructura y los calculados por los métodos de diseño usados como variable aleatoria dependiente. El establecimiento del o de los métodos que más se ajustaron a las condiciones particulares del país, se realizó con base en la minimización del error en el número de ejes equivalentes, es decir, buscado que el mismo tienda a cero con una varianza mínima.

La comparación entre varianzas de errores calculadas a partir de la aplicación de diferentes métodos de diseño proporcionó los datos estimados para verificar los diseños. Si bien la calibración mostró una gran dispersión, permitió la selección del método de diseño usado en la verificación de la alternativas propuestas en las cartas. El método finalmente seleccionado fue el ASSHTO 1993. Una vez establecido el método de diseño más confiable, se procedió a verificar las secciones estructurales seleccionadas para validación. Posteriormente, se propusieron estructuras para aquellas combinaciones de resistencia de subrasante y tránsito que no contaban con diseños probados.

8.2.2 Consideraciones particulares del diseño

La ecuación básica de diseño empleado para el dimensionamiento de las estructuras fue la recomendada por el método AASHTO, con las siguientes consideraciones:

$$\text{Log. } N = Z_r S_o + 9.36 \text{ Log}(SN+1) - 0.20 + \left[\frac{\text{Log} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{2.19}}} \right] + 2.32 \text{ Log. } M_r - 8.07$$

- El valor de error normal S_o se consideró igual a 0.44, correspondiente a la condición de diseño cuando sólo se considera la variación en la predicción del comportamiento del pavimento, sin errores en la estimación del tránsito con un nivel de confianza determinado.
- El valor de desviación estándar normal Z_r es el correspondiente a un nivel de confiabilidad de 90%.
- La pérdida de serviciabilidad se consideró un valor de $\Delta \text{PSI}=2.2$, correspondiente a una serviciabilidad inicial de 4.2 y un índice de serviciabilidad final de 2.0
- Para la determinación de espesores se establecieron los siguientes valores de coeficientes estructurales a_i para los diferentes materiales, teniendo en cuenta las características mecánicas de dichos materiales obtenidas en diferentes investigaciones realizadas en el país, y las recomendaciones establecidas para estos parámetros por el método AASHTO.

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

puntos de interés de la estructura (capas de rodadura, bases estabilizadas y sobre la subrasante)

Una vez calculadas las deformaciones críticas de cada estructura, se verificaron con las deformaciones admisibles obtenidas de las curvas de fatiga propuestas por SHELL para capas asfálticas y subrasante, contemplando un nivel de confiabilidad similar al adoptado dentro del método AASHTO.

8.3. CARTAS DE DISEÑO

Con base en la información de: condiciones climáticas (R), niveles de tránsito (T), condiciones de resistencia de los suelos de subrasante (S) y características de los materiales definidos para cada una de las capas, se diseñaron las secciones estructurales para los diferentes combinaciones de las variables, indicándose para las alternativas de diseño los materiales y espesores correspondientes que garanticen una equivalencia estructural. La selección del diseño obedecerá a condiciones particulares de disponibilidad de materiales en la zona y al respectivo análisis económico de las alternativas. Dentro del Manual se establecieron seis (6) cartas de diseño, donde cada carta contempla los aspectos que se resumen en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3 Rangos contemplados en la cartas de diseño

Carta Nro.	Región Climática	Resistencia de Subrasante (S)	Rango de Tránsito	Materiales Tabla 6.1
1	R1	de S ₁ a S ₅	de T1 a T9	Variables
2	R2	de S ₁ a S ₅	de T1 a T9	Variables
3	R3	de S ₁ a S ₅	de T1 a T9	Variables
4	R4	de S ₁ a S ₅	de T1 a T9	Variables
5	R5	de S ₁ a S ₅	de T1 a T9	Variables
6	R6	de S ₁ a S ₅	de T1 a T9	Variables

Es importante anotar que las cartas se han diseñado bajo la hipótesis de que no serán necesarias intervenciones estructurales importantes durante la vida del pavimento, mientras se mantengan las condiciones de resistencia de subrasante y niveles de tránsito dentro de los rangos contemplados en cada categoría de diseño.

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)
FRIA SECA Y FRIA SEMIHÚMEDA

TMAP < 13°C
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

Mr (Kg/cm ²) N _{0,2(10)}	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T1 0.5 < N _{0,2} ≤ 1			
T2 1 < N _{0,2} ≤ 2			
T3 2 < N _{0,2} ≤ 4			
T4 4 < N _{0,2} ≤ 8			
T5 8 < N _{0,2} ≤ 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. 1
REGIÓN 1 (R1)
FRIA SECA Y FRIA SEMIHÚMEDA

PRECIPITACIÓN < 233 mm/año

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

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.

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

TMAP < 13°C
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

Mr (Kg/cm ²) N _{6,2} (10 ⁶)	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T6 10 < N _{6,2} ≤ 15			
T7 15 < N _{6,2} ≤ 20			
T8 25 < N _{6,2} ≤ 30			
T9 35 < N _{6,2} ≤ 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

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

PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

M_r (Kg/cm ²) $N_{6,2}(10^{-1})$	S4 $1000 \leq M_r < 1500$			S5 $M_r > 1500$		
T6 $10 < N_{6,2} \leq 15$	 MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 25	 MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 35	 MDC-2 10 BG-2 20 BEC 20	 MDC-2 10 BG-1 30	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 20	 MDC-2 10 BG-2 15 BEC 15
T7 $15 < N_{6,2} \leq 20$	 MDC-2 10 BG-1 20 SBG-1 30	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 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 25	 MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20
T8 $20 < N_{6,2} \leq 30$	 MDC-2 10 BG-1 20 SBG-1 35	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 30	 MDC-2 10 BG-2 20 BEC 25	 MDC-2 10 BG-2 40	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 20	 MDC-2 10 BG-2 15 BEC 25
T9 $30 < N_{6,2} \leq 40$	 MDC-2 10 BG-1 25 SBG-1 30	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 35	 MDC-2 10 BG-2 20 BEC 25	 MDC-2 10 BG-2 42	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 25	 MDC-2 10 BG-2 15 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

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 ²) s N ₂ (%)	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T1 0,5 < N ₂ ≤ 1			
T2 1 < N ₂ ≤ 2			
T3 2 < N ₂ ≤ 4			
T4 4 < N ₂ ≤ 6			
T5 6 < N 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. 2
REGIÓN 2 (R2)
TEMPLADO SECO Y TEMPLADO SEMIHÚMEDO

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

Mr (Kg/cm ²) N _{6,210} 1	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T6 10 < N _{6,2} ≤ 15			
T7 15 < N _{6,2} ≤ 20			
T8 20 < N _{6,2} ≤ 30			
T9 30 < N _{6,2} ≤ 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

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

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

Mr (Kg/cm ²) N _{R,2} (10 ³)	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
	T1 0,5 < N _{R,2} < 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
T2 1 < N _{R,2} < 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 _{R,2} < 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 _{R,2} < 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 _{R,2} < 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.

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

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

Mr (Kg/cm ²) N _{1,2} (10 ³)	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
T6 10 < N _{1,2} ≤ 15	MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 30	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 10 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 10 BG-1 15 SBG-1 25	MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 10 BG-2 15 BEC 20
T7 15 < N _{1,2} ≤ 20	MDC-2 12 BG-1 20 SBG-1 30	MDC-2 10 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-2 12 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 12 BG-2 15 SBG-1 25	MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 12 BG-2 15 BEC 20
T8 20 < N _{1,2} ≤ 30	MDC-2 15 BG-1 15 SBG-1 30	MDC-2 12 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 15 BG-2 15 BEC 25	MDC-2 12 BG-2 15 SBG-1 30	MDC-2 12 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 12 BG-2 15 BEC 20
T9 30 < N _{1,2} ≤ 40	MDC-2 15 BG-1 15 SBG-1 35	MDC-2 12 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 25	MDC-2 15 BG-2 15 BEC 30	MDC-2 12 BG-2 15 SBG-1 30	MDC-2 12 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 12 BG-2 20 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.

8.3.3 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 ²)	S1 300 < Mr < 500			S2 500 < Mr < 700			S3 700 < Mr < 1000		
Mr < 1									
1 < Mr < 2									
2 < Mr < 4									
4 < Mr < 6									
6 < Mr < 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 - 33°C
PRECIPITACIÓN < 2000 mm/año

Mr (Kg/cm ²) N _{k,2} (10 ³)	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T6 10 < N _{k,2} < 15			
T7 15 < N _{k,2} < 20			
T8 20 < N _{k,2} < 30			
T9 30 < N _{k,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

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

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

Mr (Kg/cm²) $N_{k,2} > 1$	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
T1 $0,5 < N_{k,2} < 1$	 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 $1 < N_{k,2} < 2$	 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 $2 < N_{k,2} < 4$	 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 $4 < N_{k,2} < 6$	 MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 20	 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 $6 < N_{k,2} < 10$	 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.

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

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

Mr (Kg/cm ²) N _{k,2} (10 ³)	S4 1000 < Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
	T8 10 < N _{k,2} < 15					
T7 15 < N _{k,2} < 20						
T8 20 < N _{k,2} < 30						
T9 30 < N _{k,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.

8.3.4 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
PRECIPITACION 2000 - 4000 mm/año

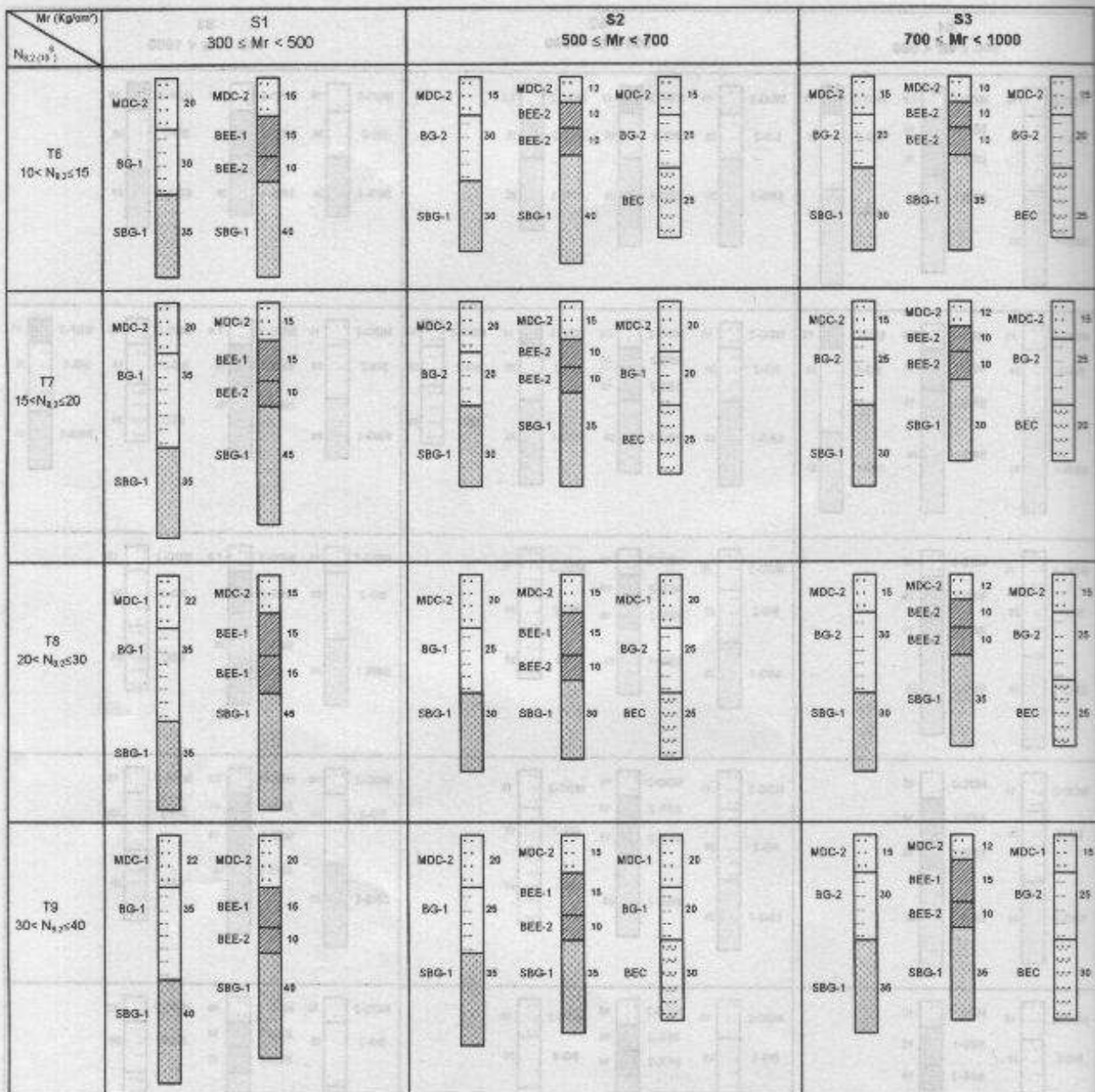
	S1 300 ≤ Mr < 500			S2 500 ≤ Mr < 700			S3 700 ≤ Mr < 1000		
T1 0.5 < N ₀₂ ≤ 1	 MDC-2: 15 BG-1: 25 SBG-1: 35	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 35	 MDF-2: 12 BG-2: 25 SBG-1: 35	 MDC-2: 10 BG-2: 15 SBG-1: 30	 MDF-2: 12 BG-2: 15 SBG-1: 30	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 15 SBG-1: 35	 MDC-2: 10 BG-2: 15 SBG-1: 20	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 15 SBG-1: 20	 MDF-3: 10 BG-2: 25 SBG-1: 20
T2 1 < N ₀₂ ≤ 2	 MDC-2: 10 BG-1: 30 SBG-1: 35	 MDC-2: 7.5 BEE-1: 15 BEE-2: 10 SBG-1: 35	 MDF-2: 12 BG-1: 30 SBG-1: 35	 MDC-2: 10 BG-2: 20 SBG-1: 30	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 25	 MDF-2: 12 BG-2: 20 SBG-1: 30	 MDC-2: 10 BG-2: 20 SBG-1: 20	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 16 SBG-1: 25	 MDF-3: 10 BG-1: 25 REC: 20 SBG-1: 25
T3 2 < N ₀₂ ≤ 4	 MDC-1: 15 BG-1: 25 SBG-1: 35	 MDC-2: 10 BEE-1: 16 BEE-2: 10 SBG-1: 35	 MDC-2: 15 BG-2: 20 SBG-1: 25	 MDC-2: 10 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 25	 MDC-2: 15 BG-2: 15 REC: 20	 MDC-2: 10 BG-2: 25 SBG-1: 25	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 16 SBG-1: 35	 MDC-2: 10 BG-2: 25 REC: 25	
T4 4 < N ₀₂ ≤ 6	 MDC-2: 15 BG-2: 30 SBG-1: 35	 MDC-2: 10 BEE-1: 15 BEE-2: 10 SBG-1: 40	 MDC-2: 15 BG-2: 25 SBG-1: 25	 MDC-2: 10 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 30	 MDC-2: 15 BG-2: 15 REC: 25	 MDC-2: 10 BG-2: 25 SBG-1: 30	 MDC-2: 7.5 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 30	 MDC-2: 10 BG-2: 25 REC: 35	
T5 6 < N ₀₂ ≤ 10	 MDC-2: 15 BG-2: 35 SBG-1: 35	 MDC-2: 12 BEE-1: 15 BEE-2: 10 SBG-1: 40	 MDC-2: 15 BG-2: 35 SBG-1: 30	 MDC-2: 10 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 45	 MDC-2: 15 BG-2: 20 REC: 25	 MDC-2: 12 BG-2: 25 SBG-1: 30	 MDC-2: 10 BEE-2: 10 BEE-2: 10 SBG-1: 30	 MDC-2: 12 BG-2: 20 REC: 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

CARTA No. 4 REGIÓN 4 (R4) TEMPLADO HÚMEDO

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



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

Mr (Kg/cm ²) N _{0,2} (mm)	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500			
T1 0,5 < N _{0,2} ≤ 1	MDC-2 7,5 BG-2 7,5 SBG-1 20	MDC-2 5 BEE-2 15 SBG-1 20	MDF-3 7,5 BG-2 15 SBG-1 25	MDC-2 7,5 BG-1 25	MDC-2 5 BEE-2 16 SBG-1 16	MDF-3 7,5 SBG-1 30	
T2 1 < N _{0,2} ≤ 2	MDC-2 7,5 BG-2 20 SBG-1 20	MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 25	MDC-2 7,5 BG-2 15 BEC 20	MDF-2 7,5 BG-2 20 SBG-1 25	MDC-2 7,5 BG-1 30	MDC-2 5 BEE-1 16 BEE-2 10	MDF-3 7,5 BG-1 35
T3 2 < N _{0,2} ≤ 4	MDC-2 7,5 BG-2 20 SBG-1 20	MDC-2 5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BG-2 20 BEC 20	MDC-2 7,5 BG-2 25	MDC-2 5 BEE-1 16 SBG-1 20	MDC-2 7,5 BG-2 15 BEC 20	
T4 4 < N _{0,2} ≤ 6	MDC-2 7,5 BG-2 25 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BEE-1 15 SBG-1 30	MDC-2 7,5 BG-2 20 BEC 25	MDC-2 7,5 BG-2 20 SBG-1 25	MDC-2 7,5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 7,5 BG-2 15 BEC 20	
T5 6 < N _{0,2} ≤ 10	MDC-2 10 BG-2 25 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 25	MDC-2 7,5 BEE-1 15 SBG-1 20	MDC-2 7,5 BG-2 15 BEC 25	

• 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.

• 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

	Mr (Kg/cm ²) N _{6,3} > 1	S4 1000 ≤ Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
T6 10 < N _{6,3} ≤ 15		 MDC-2 12 BG-2 25 SBG-1 25	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	 MDC-2 12 BG-2 20 BEC 25	 MDC-2 10 BG-1 20 SBG-1 35	 MDC-2 7.5 BEE-1 15 SBG-1 30	 MDC-2 10 BG-2 25 BEC 20
T7 15 < N _{6,3} ≤ 20		 MDC-2 12 BG-1 30 SBG-1 20	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	 MDC-2 12 BG-2 25 BEC 20	 MDC-2 12 BG-2 15 SBG-1 25	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	 MDC-2 12 BG-2 15 BEC 20
T8 20 < N _{6,3} ≤ 30		 MDC-2 16 BG-1 20 SBG-1 30	 MDC-2 10 BEE-2 15 BEE-2 10 SBG-1 35	 MDC-2 15 BG-2 20 BEC 20	 MDC-2 15 BG-2 15 SBG-1 20	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 30	 MDC-2 15 BG-2 15 BEC 15
T10 30 < N _{6,3} ≤ 40		 MDC-2 15 BG-1 20 SBG-1 35	 MDC-2 10 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	 MDC-2 15 BG-2 20 BEC 25	 MDC-2 15 BG-2 25 SBG-1 20	 MDC-2 10 BEE-1 15 SBG-1 30	 MDC-2 15 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

8.3.5 CARTA DE DISEÑO No. 5

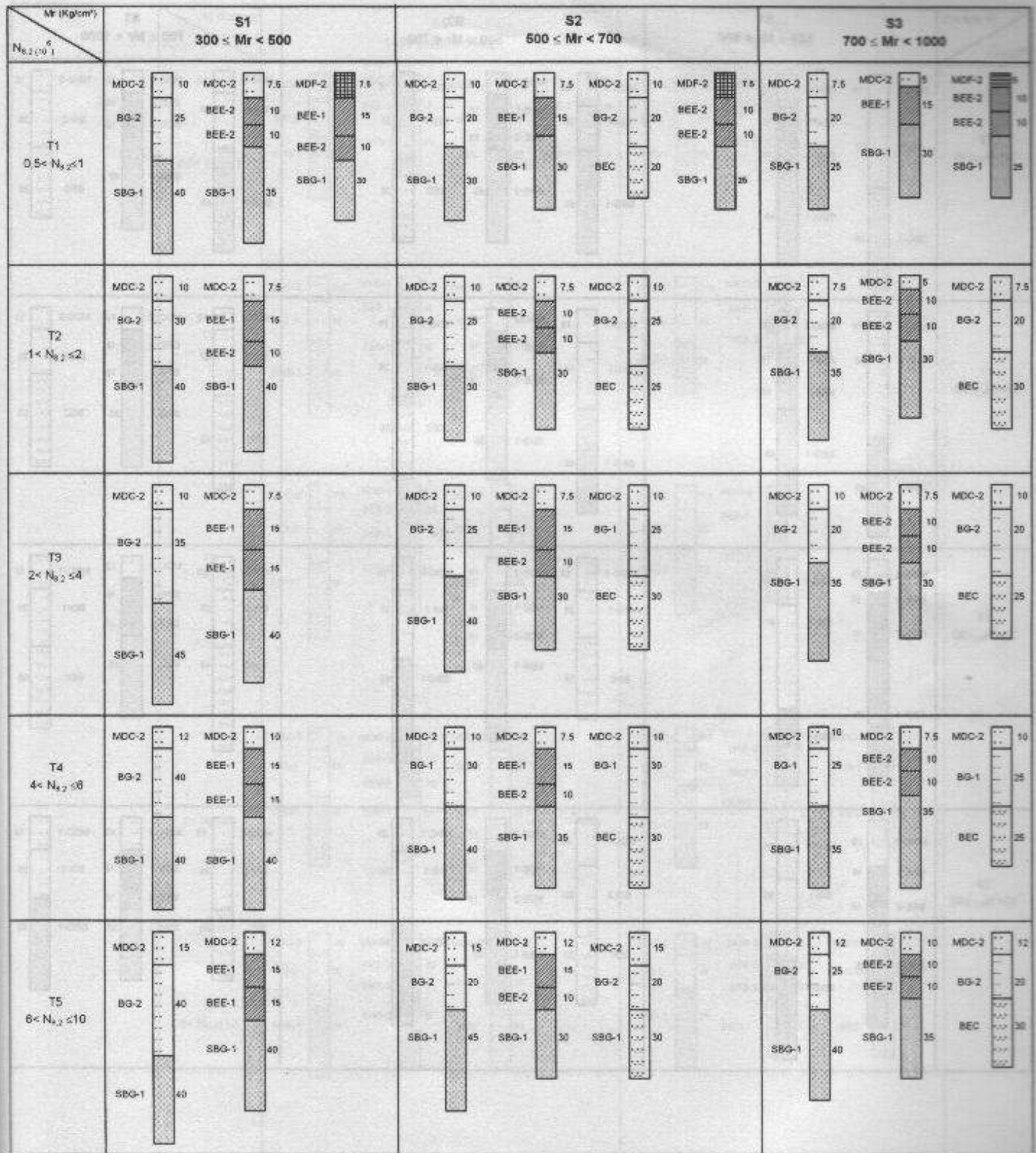
REGIÓN No. 5 : CÁLIDO HÚMEDO

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

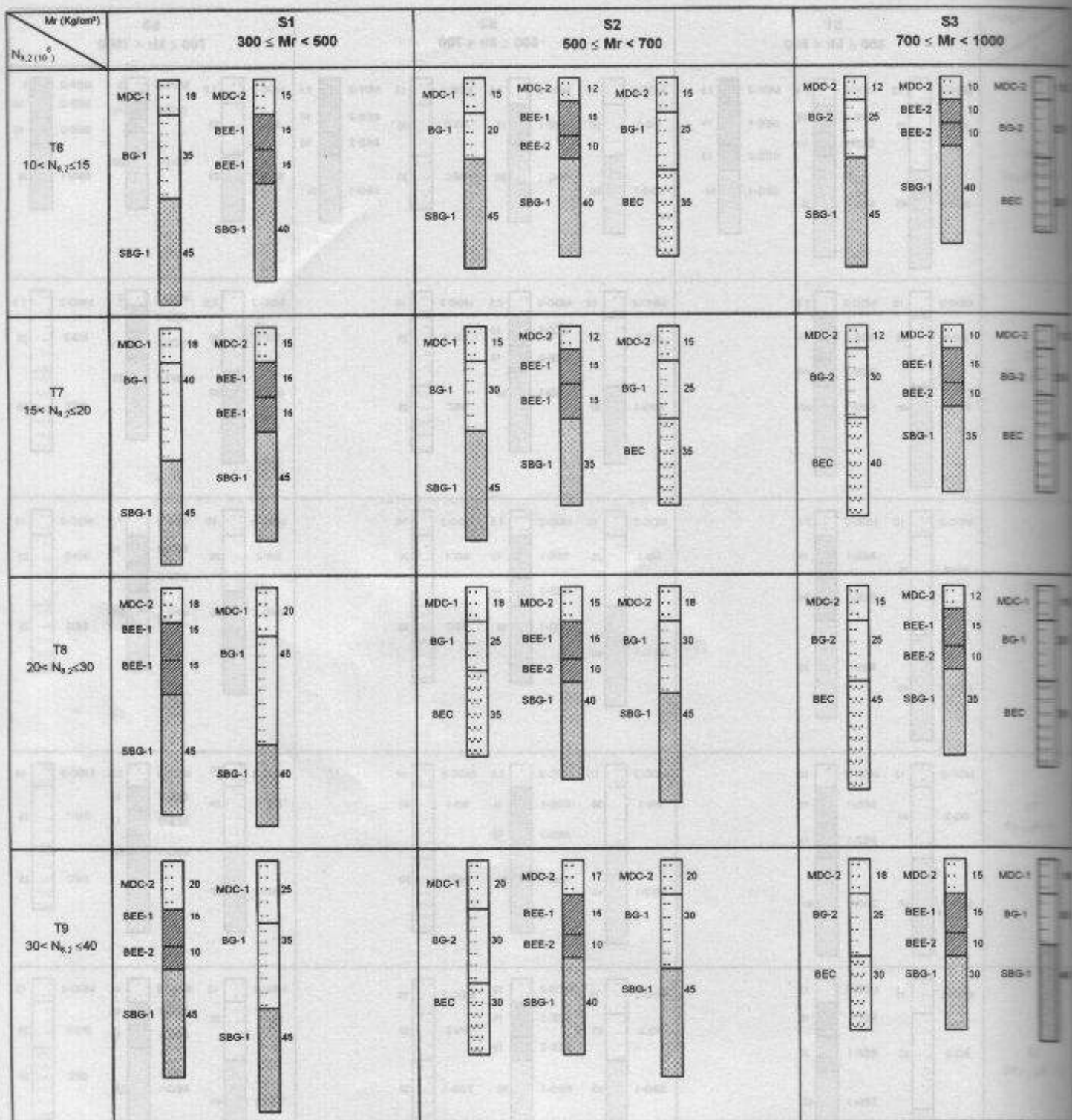


1. Cuando el espesor MDC sea > 12 cm se podrá dividir la capa de base y de concreto de rodadura poniendo 5 cm como mínimo de rodadura.

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



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

Mr (Kalent) $N_{k,2} \leq 1$	S4 1000 < Mr < 1500			S5 Mr > 1500		
T1 $0,5 < N_{k,2} \leq 1$	 MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 25	 MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 20	 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 SBG-1 15	
T2 $1 < N_{k,2} \leq 2$	 MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 35	 MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 30	 MDC-2 7.5 BG-2 15 BEC 25	 MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 20	 MDC-2 5 BEE-1 15 BEE-2 10	
T3 $2 < N_{k,2} \leq 4$	 MDC-2 7.5 BG-2 20 SBG-1 35	 MDC-2 5 BEE-2 10 BEE-1 10 SBG-1 25	 MDC-2 7.5 BG-2 20 BEC 25	 MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 20	 MDC-2 5 BEE-1 15 SBG-1 25	
T4 $4 < N_{k,2} \leq 6$	 MDC-2 10 BG-2 20 SBG-1 35	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-1 10 SBG-1 25	 MDC-2 10 BG-2 20 BEC 25	 MDC-2 7.5 BG-2 15 SBG-1 35	 MDC-2 5 BEE-2 10 BEE-1 10 SBG-1 20	 MDC-2 7.5 BG-2 15 BEC 25
T5 $6 < N_{k,2} \leq 10$	 MDC-2 10 BG-2 25 SBG-1 30	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-1 10 SBG-1 30	 MDC-2 7.5 BG-2 25 BEC 25	 MDC-2 10 BG-2 15 SBG-1 35	 MDC-2 7.5 BEE-2 10 BEE-1 10 SBG-1 20	 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

CARTA No. 5 REGIÓN 5 (R5) CÁLIDO HÚMEDO

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

Mr (Kg/cm²) N _{6,2} (%)	S4 1000 ≤ Mr < 1500	S5 Mr > 1500
T6 10 < N _{6,2} ≤ 15		
T7 15 < N _{6,2} ≤ 20		
T8 20 < N _{6,2} ≤ 30		
T9 30 < N _{6,2} ≤ 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.

8.3.6 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 ²) N _{6,2} (%)	S1 300 ≤ Mr < 500			S2 500 ≤ Mr < 700			S3 700 ≤ Mr < 1000		
T1 0,5 < N _{6,2} ≤ 1	MDC-2 12 BG-1 30 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BEE-1 18 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 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 18 SBG-1 25	MDF-2 10 BG-1 25 SBG-1 25
T2 1 < N _{6,2} ≤ 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 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 _{6,2} ≤ 4	MDC-2 15 BG-1 35 SBG-1 40	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 40		MDC-2 12 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 30	MDC-1 15 BG-2 20 BEE-2 25	MDC-1 15 BG-2 25 BEE-2 35	MDC-2 10 BG-2 30 SBG-1 30	MDC-2 7,5 BEE-2 10 BEE-2 10 SBG-1 35	MDC-2 7,5 BG-2 20 BEE-2 35
T4 4 < N _{6,2} ≤ 6	MDC-1 15 BG-1 40 SBG-1 40	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 40		MDC-2 15 BG-2 25 BEE-2 30	MDC-2 7,5 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 40	MDC-1 15 BG-1 30 BEE-2 35	MDC-2 12 BG-1 30 SBG-1 30	MDC-2 12 BG-1 25 BEE-2 25	MDC-2 7,5 BEE-1 15 BEE-2 10 SBG-1 30
T5 6 < N _{6,2} ≤ 10	MDC-2 12 BEE-1 15 BEE-1 15 SBG-1 45	MDC-1 15 BG-2 45 SBG-1 45		MDC-2 15 BG-2 30 BEE-2 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 BEE-2 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

M _r (Kole/m ²) N _{k,2} (m ²)	S4 1000 ≤ M _r < 1500			S5 M _r > 1500		
	T1 0,5 < N _{k,2} ≤ 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 20
T2 1 < N _{k,2} ≤ 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 20
T3 2 < N _{k,2} ≤ 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 _{k,2} ≤ 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 _{k,2} ≤ 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 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.

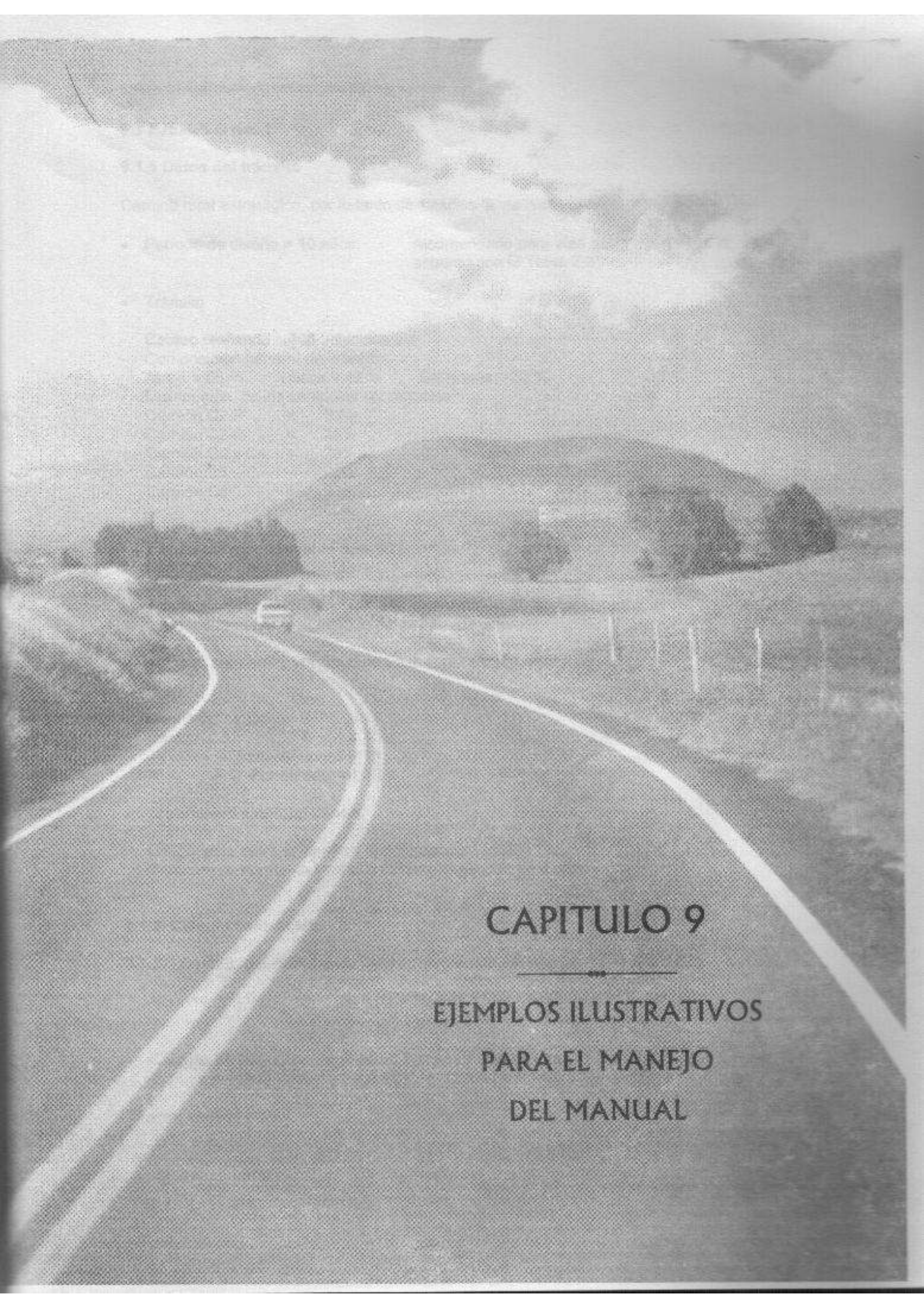
2. Cuando el espesor MDC sea importante el tamaño máximo del agregado podrá aumentarse utilizando MDC-1

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

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

Mr (Kg/cm²) $N_{k,2} \leq 10$	S4 $1000 \leq Mr < 1500$			S5 $Mr > 1500$		
T6 $10 < N_{k,2} \leq 15$						
T7 $15 < N_{k,2} \leq 20$						
T8 $20 < N_{k,2} \leq 30$						
T9 $30 < N_{k,2} \leq 40$						

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



CAPITULO 9

EJEMPLOS ILLUSTRATIVOS
PARA EL MANEJO
DEL MANUAL

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

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

Mr (Kg/cm ²) N _{8,1/10,1}	S1 300 ≤ Mr < 500	S2 500 ≤ Mr < 700	S3 700 ≤ Mr < 1000
T8 10 < N _{8,1} ≤ 15			
T7 15 < N _{8,1} ≤ 20			
T8 20 < N _{8,1} ≤ 30			
T9 30 < N _{8,1} ≤ 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

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 vehículos/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%
		<u>100%</u>
 - 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

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) * F_d * F_{ca} + N_c$$

- 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 :

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

$$N_i = 123034 * 0.45 * 2.0275 = 112253 \text{ ejes equiv. /año}$$

- Cálculo del número de ejes equivalentes atraídos :

$$N_a = 0.20 * N_i = 0.20 * 112253 = 22451 \text{ ejes/año}$$

- Cálculo del número de ejes equivalentes generados :

$$N_g = 0.30 * N_i = 0.30 * 112253 = 33676 \text{ ejes/año}$$

- Cálculo del número de ejes durante la construcción. (Por carril)

$$N_c = 15 \frac{\text{camiones}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 4 \frac{\text{ejes equiv.}}{\text{camión}} * 2 \text{ años} = 43800 \text{ ejes}$$

- Cálculo de Número de ejes equivalentes al año base

$$N_o = (112253 + 22454 + 33676) * 0.60 * 1 + 43800$$

$$N_o = 144828 \text{ ejes equivalentes/año base/en el carril de diseño.}$$

9.1.2.2 Proyección del tránsito durante el período de diseño

Tasa de crecimiento $r=5\%$ Período de diseño $n = 10$ años

$$N = (N_o - N_c) * \frac{(1+r)^n - 1}{r} + N_c$$

$$N = (144828 - 43800) * \frac{(1+0.05)^{10} - 1}{0.05} + 43800$$

$$N = 1314519 \quad N = 1.3 * 10^6 \text{ ejes equivalentes en el carril de diseño.}$$

9.1.2.3 Confiabilidad en la estimación del tránsito

$$\text{Log } N' = \text{Log } N + Z_r * S_o$$

NC = 90 % (Nivel de confianza)

$$Z_r = 1.282$$

$$S_o \text{ adicional} = 0.49 - 0.44 = 0.05$$

$$\text{Log } N' = \text{Log } 1.3 * 10^6 + 1.282 * 0.05$$

$$N' = 1.5 * 10^6 \text{ ejes equivalentes} \quad \text{Tránsito T2}$$

9.1.3. Factores ambientales

Temperatura media anual ponderada del aire TMAP = 20°C

Precipitación media anual = 3600 mm

9.1.4. Caracterización de la subrasante

Unidad	Valores de módulo resiliente (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	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 ²	S1
Tránsito equivalente de diseño	1.5×10^6	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

MDC-2 = 10 cm
BG-2 = 30 cm
SBG-1 = 40 cm

Alternativa 2

MDC-2 = 7.5 cm
BEE-1 = 15.0 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 ²)	Promedio (kg/cm ²)	Categoría de subrasante
1	800 - 750 - 920 - 900 - 870 860 - 910 - 900 - 770 - 820	850	S3

- Tránsito.

Para el análisis se utiliza la información de la serie histórica de los últimos once años correspondientes a la estación No 291 del Instituto Nacional de Vías, en el sector Crucero - Piendamó.

9.2.2. Cálculo del tránsito con nivel de confianza

- Información general de la serie histórica de tránsito.

Tabla 9.2 Información general de la serie histórica de tránsito

Año	TPDS	Autos	Buses	Camiones	Distribución porcentual de camiones				
		% A	%B	%C	C2P	C2G	C3-C4	C5	C6
1985	1686	63	10	27	23	53	13	9	2
1986	1864	72	9	19	23	53	13	9	2
1987	1830	63	9	28	23	53	13	9	2
1988	1656	61	11	28	23	53	13	9	2
1989	1716	63	11	26	23	53	13	9	2
1990	1905	65	10	25	24	50	13	10	3
1991	1864	64	11	25	26	45	14	10	5
1992	2100	65	9	26	20	53	14	8	6
1993	2268	63	11	26	20	53	14	8	6
1994	2390	66	9	25	29	43	14	7	7
1995	2554	67	6	27	20	52	14	7	7

- Cálculo del tránsito equivalente diario en cada año

El cálculo para cada año se realiza de la siguiente forma,

$$N_{\text{año}} = \text{TPDS} * \frac{[\%B * \text{FD}_{\text{buses}} + \%C (\%C2p * \text{FDC}2p + \dots + \%C6 * \text{FDC}6)]}{100}$$

$$N_{1985} = 1686 * \frac{[10 * 0.40 + 27 (23 * 1.14 + \dots + 2 * 4.72)]}{100} = 1461$$

En la siguiente tabla se resumen los valores calculados de tránsito equivalente a ejes simples de 8.2 toneladas para cada año de la serie histórica:

Tabla 9.3 Valores de tránsito equivalente diario

Año	Tránsito equivalente diario
1985	1461
1986	1152
1987	1635
1988	1493
1989	1442
1990	1534
1991	1501
1992	1802
1993	1965
1994	1862
1995	2253

- 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 ²
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
				Σ 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.

Tabla 9.5 Cálculo de diferencia al cuadrado de cada año y el valor promedio de los años

Año	(año - año medio) ²
1985	25
1986	16
1987	9
1988	4
1989	1
1990	0
1991	1
1992	4
1993	9
1994	16
1995	25
Σ	110

- Cálculo del error de pronóstico del número de ejes equivalentes, para cada año del período de proyección.

$$\sigma_{\text{pronostico}} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{(X_o - \text{año medio})^2}{\sum (X_i \text{ observado} - X_{\text{medio}})^2} + \frac{1}{n}}$$

$$\sigma_{\text{pronostico}} \text{ 1999} = 172.06 \cdot \sqrt{\frac{(1999 - 1990)^2}{110} + \frac{1}{11}}$$

$$\sigma_{\text{pronostico}} \text{ 1999} = 156.5$$

- Definición del nivel de confianza con el cual se quiere estimar el tránsito de diseño, para así seleccionar el coeficiente Z_r correspondiente a una distribución normal.
Nivel de confianza = 95 % $Z_r = 1.65$

- Definición del limite superior del tránsito equivalente para cada año de la proyección

Tabla 9.6 Resumen del cálculo del tránsito equivalente normal con nivel de confianza

Año	Tránsito equivalente diario proyectado	Error de pronóstico	Z_r	Error proyectado	Limite superior de T. eq. diario
1999	2338	156.5	1.65	258	2596
2000	2415	172.1	1.65	284	2699
2001	2492	187.8	1.65	310	2802
2002	2569	203.6	1.65	336	2905
2003	2646	219.5	1.65	362	3008
2004	2723	235.5	1.65	389	3112
2005	2800	251.5	1.65	415	3215
2006	2877	267.6	1.65	441	3319
2007	2954	283.7	1.65	468	3422
2008	3031	299.8	1.65	495	3526
2009	3108	316.0	1.65	521	3630
2010	3185	332.2	1.65	548	3733
2011	3262	348.4	1.65	575	3837
2012	3339	364.6	1.65	602	3941
2013	3416	380.9	1.65	628	4045

Σ 49790

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 ²	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

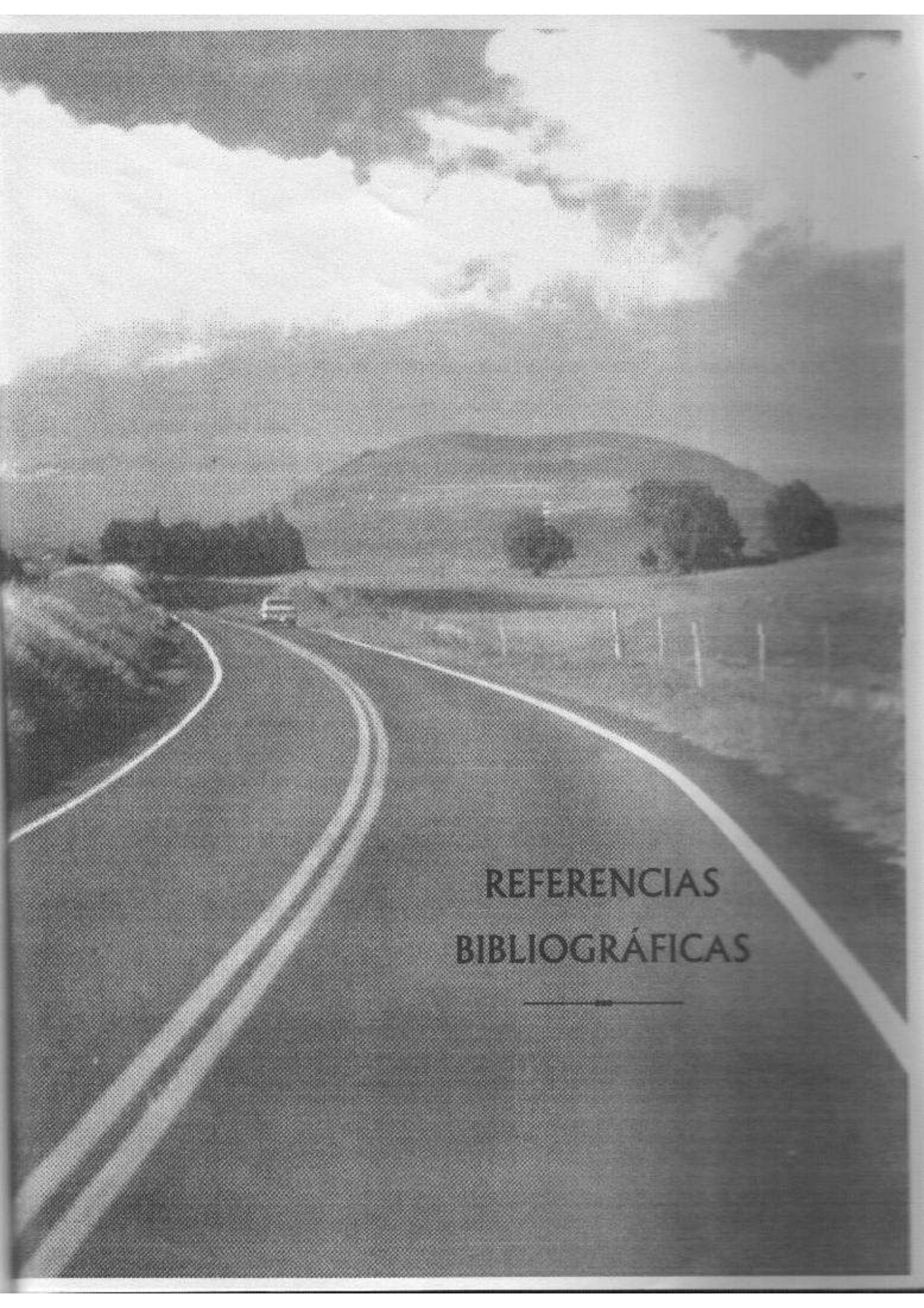
MDC-2 = 10 cm
BG-2 = 20 cm
SBG-1 = 30 cm

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, Composan, 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.

000142



**INSTITUTO
NACIONAL
DE VIAS**

Modernizamos la red vial

www.invias.gov.co