


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUHC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

GUÍA

“DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.”

Control de Versiones

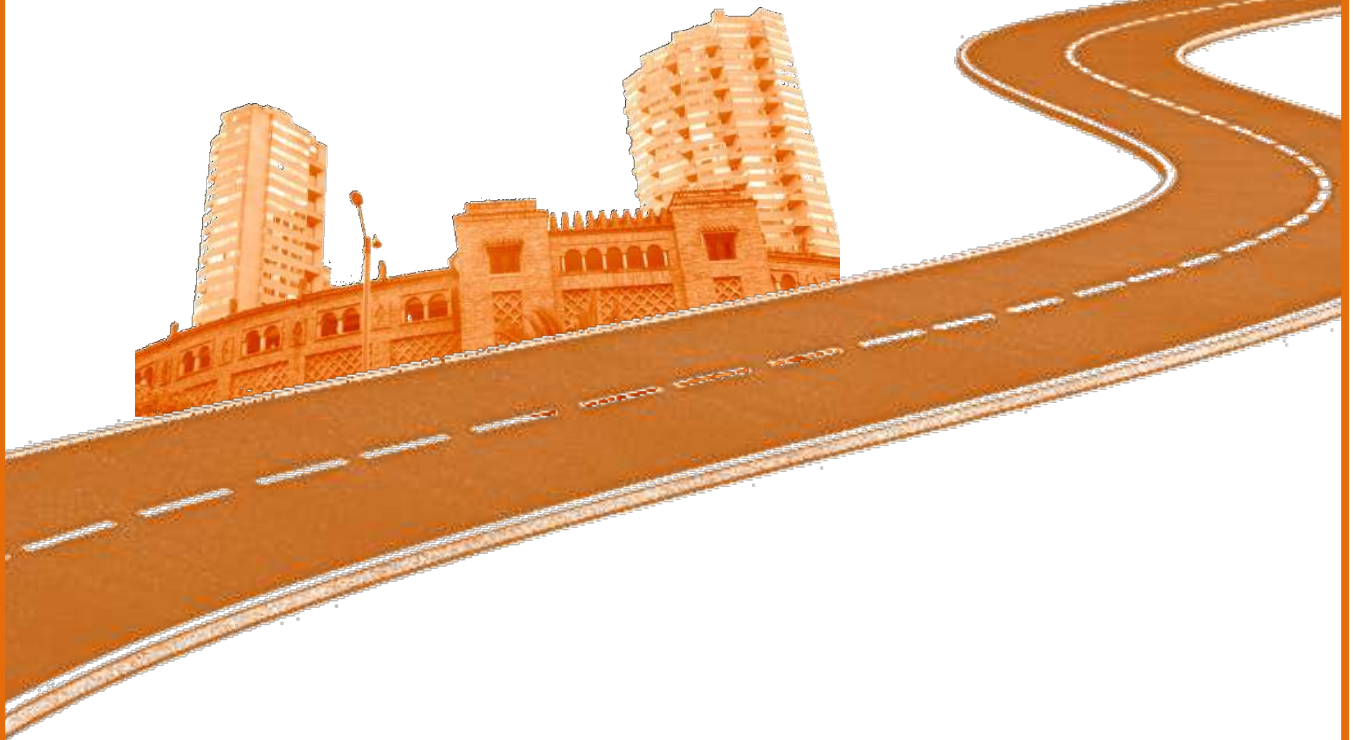
Versión	Fecha	Descripción Modificación	Folios
1.0	27-12-2013	Versión inicial del documento	108

Participaron en la elaboración:
Juan Pablo Nieto Mora, Contratista, DTE
Oscar Mauricio Velásquez Bobadilla, Contratista, DTE
(El alcance de participación en la elaboración de este documento
corresponde a las funciones del área que representan)

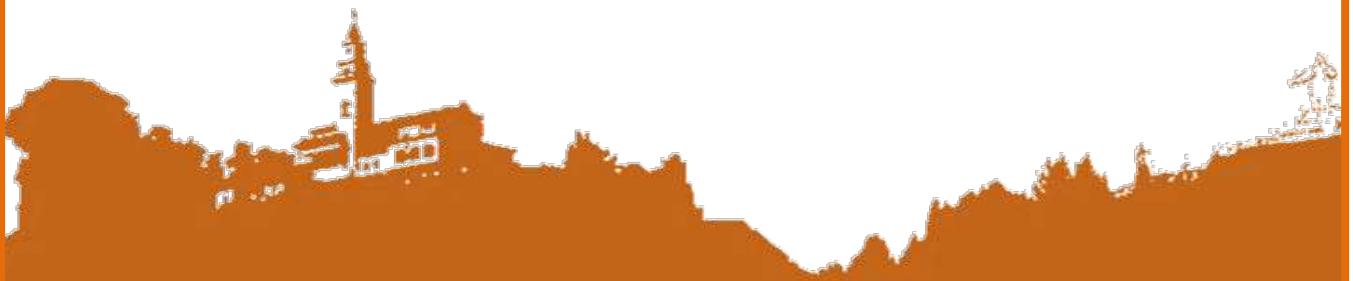
Validado por	Revisado por	Aprobado por
Adriana Bareno Rojas Jefe Oficina Asesora de Planeación	Sully Magalis Rojas Bayona Directora Técnica Estratégica	Liliana Ricardo Betancourt Subdirectora General de Desarrollo Urbano



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Cartilla guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito y vías locales para la ciudad de Bogotá D.C





UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

DIRECTOR DE PROYECTO
WILLIAM CASTRO GARCÍA

GRUPO TÉCNICO

CAROL ANDREA MURILLO FEO
JUAN RICARDO TRONCOSO RIVERA
ORLANDO ELÍAS GÓMEZ MALDONADO
PABLO SERGIO VELANDIA PULIDO



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
Instituto
Desarrollo Urbano

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

DIRECCIÓN GENERAL
WILLIAM FERNANDO CAMARGO TRIANA

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO
URBANO

LILIANA RICARDO BETANCOURT

DIRECCIÓN TÉCNICA ESTRATÉGICA
SULLY MAGALIS ROJAS BAYONA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

JUAN PABLO NIETO MORA
OSCAR MAURICIO VELÁSQUEZ B



BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA

VICEPRESIDENCIA DE INFRAESTRUCTURA
DIEGO SÁNCHEZ FONSECA

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2013

La presente Guía es el resultado de un extenso trabajo realizado en cooperación por las entidades anteriormente mencionadas. El Instituto de Desarrollo Urbano, El Banco de Desarrollo para América Latina y la Universidad Nacional de Colombia no se hacen responsables por la mala utilización de la información presentada en esta Guía. Por lo anterior, ninguna de las indicaciones y/o recomendaciones de este documento deberán utilizarse sin el previo estudio de un ingeniero civil con matrícula profesional vigente.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales

Impreso y hecho en la ciudad de Bogotá, Colombia


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIOS Y ABREVIATURAS

1. ANTECEDENTES


- 1.1 JUSTIFICACIÓN
- 1.2 RESPONSABILIDADES
- 1.3 CONSIDERACIONES

2. ASPECTOS GENERALES

- 2.1 ASPECTOS GEOMÉTRICOS
- 2.2 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
- 2.3 CAPAS DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS
 - 2.3.1 *CAPAS DE SOPORTE*
 - 2.3.2 *CAPAS DE CUERPO*
 - 2.3.3 *CAPAS SUPERFICIALES*
- 2.4 TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS
 - 2.4.1 *ESTRUCTURAS FLEXIBLES*
 - 2.4.2 *ESTRUCTURAS RÍGIDAS*
 - 2.4.3 *ESTRUCTURAS ARTICULADAS*

3. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 3.1 ASPECTOS GENERALES
- 3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
 - 3.2.1 *EXPLORACIÓN DE CAMPO*
 - 3.2.2 *PROPIEDADES DE LOS SUELOS*
 - 3.2.3 *COMPORTAMIENTO MECÁNICO*
 - 3.2.4 *MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE*
 - 3.2.5 *CAPACIDAD PORTANTE EQUIVALENTE*

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

4. TRÁNSITO EN VÍAS LOCALES


- 4.1 ASPECTOS GENERALES
- 4.2 CLASIFICACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE VEHÍCULOS
- 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO
 - 4.3.1 *AFOROS DE TRÁNSITO*
 - 4.3.2 *ESTUDIOS ORIGEN - DESTINO*
- 4.4 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO
- 4.5 VELOCIDAD DE DISEÑO
- 4.6 PERIODO DE DISEÑO

5. CLIMA Y DRENAJE

- 5.1 TEMPERATURA
- 5.2 PRECIPITACIÓN
 - 5.2.1 *SUCCIÓN*
 - 5.2.2 *VIENTO*
- 5.3 RECOMENDACIONES DE DRENAJE
 - 5.3.1 *DRENAJE SUPERFICIAL*
 - 5.3.2 *DRENAJE SUB-SUPERFICIAL*

6. MATERIALES EN CAPAS DE PAVIMENTOS

- 6.1 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL ORIGEN
 - 6.1.1 *MATERIALES NATURALES*
 - 6.1.2 *MATERIALES ESTABILIZADOS CON LIGANTES HIDRÁULICOS*
 - 6.1.3 *MATERIALES ESTABILIZADOS CON LIGANTES BITUMINOSOS*
 - 6.1.4 *MATERIALES SINTÉTICOS*
 - 6.1.5 *MATERIALES QUÍMICOS*
- 6.2 USO EN CAPAS ESTRUCTURALES
 - 6.2.1 *CAPA DE SOPORTE*
 - 6.2.2 *RAJÓN*
 - 6.2.3 *CAPAS DE CUERPO*
 - 6.2.4 *CAPAS SUPERFICIALES*

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

7. ESTRUCTURAS FLEXIBLES

7.1 CONSIDERACIONES PARTICULARES DE LAS CAPAS

7.1.1 SUBBASE GRANULAR

7.1.2 BASE GRANULAR

7.1.3 MATERIALES DE CONCRETO ASFÁLTICO

7.1.4 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

7.2 CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS

8. ESTRUCTURAS RÍGIDAS

8.1 CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

8.1.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA LOSA

8.1.2 JUNTAS

8.1.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

8.1.4 CRITERIOS ADICIONALES

8.2 CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS

9. ESTRUCTURAS ARTICULADAS

9.1 CONSIDERACIONES PARTICULARES DE LOS ADOQUINES

9.1.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

9.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

9.1.3 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

9.2 CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS BÁSICAS


9.2.1 CONFINAMIENTO

9.2.2 PATRÓN DE COLOCACIÓN

9.2.3 JUNTAS


9.3 CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS

BIBLIOGRAFÍA


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

ABREVIATURAS

A_N :	Coefficiente de Daño Nominal
A_0 :	Factor de Daño – Agresividad
BEE:	Base Granular Estabilizada con Emulsión
BG:	Base Granular
CA:	Concreto Asfáltico
CBR:	California Bearing Ratio – Relación de Soporte de California
CPE:	Capacidad Portante Equivalente
D:	Espesor de la losa del pavimento
e:	Espesor de la capa mejorada mediante material de rajón
EAAB:	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
ET:	Especificación Técnica
FC:	Factor Camión
GEEA:	Material Granular Estabilizado con Emulsión Asfáltica
h:	Horas
IDU:	Instituto de Desarrollo Urbano
K:	Módulo de reacción de la Subrasante
Km:	Kilometros (Equivalente a 1000 metros)
IP:	Índice de Plasticidad (INV E125/E12607)
m:	Metro, equivalente a 100 cm o 3.28 pies.
MAF:	Mezclas asfáltica Abierta en Frio
MAM:	Mezcla asfáltica de Alto Módulo
MBR:	Mezcla Bituminosa Reciclada
MD:	Mezcla asfáltica Densa
MDF:	Mezclas asfálticas Densas en Frio
MDr:	Mezcla asfáltica Drenante
MG:	Mezcla asfáltica Gruesa
m_i :	Coefficiente de drenaje
mm:	Milímetros, equivalente a 0.001 m
MPa:	MegaPascales, medida de presión equivalente a: N/m^2 o $Kg/m*s^2$
Mr:	Módulo de rotura.
MS:	Mezcla asfáltica Semidensa.
MR:	Módulo Resiliente.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	


NEE _{8.2} :	Número de Ejes Equivalentes (Eje estándar de 8.2 Ton)
P:	Precipitación
PCI:	Índice de Condición del Pavimento
pul:	Pulgadas (Equivalentes a 0.0254 metros)
R:	Confiabilidad
SBG:	SubBase Granular
Sc:	Módulo de Rotura del Concreto
SN:	Número Estructural
t:	Toneladas (Equivalente a 1000 Kg)
T°:	Temperatura
T#:	Nomenclatura para la clasificación del tipo de tránsito
TPD:	Tránsito Promedio Diario
TSS:	Tratamiento Superficial Simple
TSD:	Tratamiento Superficial Doble
TST:	Tratamiento Superficial Triple
V#:	Nomenclatura para la clasificación del tipo de sección vial
VPDo:	Vehículos Pesados por Día

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Proyecto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

GLOSARIO

Base:	Capa principal de la estructura de pavimento ubicada entre la subrasante o la subbase y la capa de rodadura. Puede ser mejorada mediante aditivos que mejoren sus propiedades mecánicas. Tiene como propósito distribuir las fuerzas generadas por las cargas a través de la subrasante.
BEE:	Base que ha sido tratada mediante procedimiento con material asfáltico con el fin de conseguir niveles de adhesión más altos de los agregados, evitando de esta manera fenómenos como la erosión y la infiltración causante del bombeo.
Bombeo:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pendiente transversal necesaria para la evacuación hacia las cunetas de aguas que caen sobre la capa de rodadura de una vía. 2. Fenómeno causado por la erosión de las capas inferiores de una estructura de pavimento y su posterior saturación mediante agua principalmente.
Corona:	Conjunto formado por la calzada y las bermas. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas.
Capacidad hidráulica:	Caudal máximo que puede transportar cualquier estructura de drenaje. Se expresa en unidades de $[L^3/T]$.
Capacidad portante equivalente:	Parámetro que indica la resistencia al esfuerzo cortante, para la evaluación de materiales del conjunto formado por la subrasante y la capa de mejoramiento, en caso de que esta última exista (en condiciones de humedad y densidad controlada).
Carril de diseño:	Carril por el que se espera circulen el mayor volumen de vehículos pesados.
Cuneta:	Estructura diseñada para transportar aguas mediante la acción de la gravedad.
Drenaje superficial:	Estructura construida para transportar y evacuar las aguas que caen directamente sobre la capa de rodadura de la estructura de pavimento.
Drenaje subsuperficial:	Estructura construida para transportar y evacuar las aguas que se han infiltrado dentro de las capas inferiores de una estructura de pavimento o un suelo.
Factor Camión:	Coefficiente que representa el daño producido por un camión respecto a un vehículo de referencia.
Fluido Newtoniano:	Fluidos en los que la viscosidad es inherente a la naturaleza fisicoquímica de los mismos y por tanto independiente del esfuerzo cortante aplicado. La viscosidad es un parámetro que variará en función de la presión y temperatura. ¹

¹ (<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3624/1/tema3RUA.pdf>)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Proyecto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	


Geotextil:	Material textil permeable y polimérico que se utiliza en contacto con suelos y otro materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil ² . En el caso de los pavimentos este material puede mejorar la capacidad portante del suelo y/o sirve como elemento de separación entre las capas de la estructura.
Hidroplaneo:	Es un fenómeno que se presenta cuando los neumáticos del vehículo son separados totalmente de la superficie del pavimento por una capa de agua, lo que produce una pérdida en el control del vehículo. ³
Índice de Plasticidad:	Valor que permite conocer la cantidad de arcilla presente en una muestra de suelos (INV E125/E126-07)
Módulo de Reacción de la subrasante:	Reacción de los suelos de subrasante y las capas de las estructuras de pavimentos ante cargas estáticas no repetidas.
Módulo Resiliente:	También llamado módulo elástico-dinámico de los materiales que conforman una estructura de pavimento. Define el comportamiento esfuerzo-deformación del material ante cargas cíclicas.
Pavimento:	Estructura constituida por una serie de capas (Subbase, Base y Capa de Rodadura) dispuesta sobre la subrasante, que tiene como propósito mejorar las condiciones naturales del terreno y brindar al usuario la condiciones de comodidad y seguridad necesarias para el tránsito vehicular.
Período de diseño:	Es el tiempo para el que se estima que la estructura de pavimento va a funcionar con un nivel de servicio adecuado, sin requerir actividades de rehabilitación.
Precipitación:	Medida de la lámina de agua producida por la lluvia ocurrida dentro de un periodo de tiempo determinado (mm).
Subrasante:	Suelo natural o antrópico que soporta las cargas transmitidas a través de las capas superiores de la estructura de pavimento.
Sólido elástico:	Son aquellos que cumplen con la ley de Hooke, es decir, la deformación es directamente proporcional al esfuerzo aplicado. ⁴
Stripping:	Es el proceso en el que debido a la presencia del agua los agregados se separan del ligante asfáltico. Se ha encontrado que depende de variables como el tipo de ligante y agregados utilizados.
Temperatura atmosférica:	Representa la energía cinética media del movimiento molecular en una pequeña región y se define en términos de un termómetro calibrado estándar o en equilibrio térmico con el aire. ⁵
Tránsito Promedio Diario:	Cantidad de vehículos que transitan a través de un corredor vial a lo largo de un día.

² (Muñoz, Fresno, & Oceja, 2000)

³ (Queensland government, 2010)

⁴ (<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3624/1/tema3RUA.pdf>)

⁵ (McGraw-Hill Science & Technology Dictionary)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GLJC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0

Tránsito atraído:	Es aquel tránsito existente en otras vías de transporte que, debido a la disminución de costos de operación en la nueva carretera, se transfiere a esta.
Tránsito existente:	Es el tránsito que circula normalmente por la vía.
Tránsito generado:	Es el tránsito que se origina por el proyecto mismo, debido a mejores condiciones de oferta. Generalmente se refiere al tránsito nuevo por efecto del desarrollo del área de influencia.
Tránsito proyectado:	Corresponde al total de vehículos que circularan durante la vida útil del proyecto, incluye el tránsito atraído y el tránsito generado.
Vehículos Pesados:	Vehículo que su peso supera las 35 Toneladas.
Velocidad Diseño Geométrico:	Corresponde a la máxima velocidad que un vehículo puede mantener en un determinado tramo de una vía, a la que pueden circular los vehículos en condiciones de seguridad cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables para garantizar que las características de diseño prevalezcan (INVIAS 1998). ⁶
Velocidad Reglamentaria:	Máxima velocidad permitida para la circulación vehicular según la normativa vigente. ⁷
Vía Local:	Corredor vial que permiten la accesibilidad a escala local en las diferentes zonas de la ciudad en articulación con las otras mallas viales.

⁶ (Universidad Nacional de Colombia, 2012)


⁷ (Universidad Nacional de Colombia, 2012)



TEATRO MUNICIPAL JORGE ELIECER GAITÁN
FINAL SHOCK FEST BY MILLER

TEATRO JORGE ELICER GAITAN

Capítulo 1: ANTECEDENTES

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

1. ANTECEDENTES

1.1 Justificación

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) ha venido trabajando en los últimos años en la elaboración de manuales y especificaciones de construcción para la Ciudad, entre los cuales se destacan: Manual de Diseño de pavimentos para Bogotá, realizado por la Universidad de los Andes en el año 2000; Reglamento Técnico para la ejecución de obras en el sector vial de Bogotá D.C., Reglamento IDU (2002); Especificaciones Técnicas de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C., realizado por la Sociedad Colombiana de Ingenieros (2006), y las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011). Si bien es cierto que estos trabajos constituyen un valioso aporte para el desarrollo de los proyectos viales, su enfoque está orientado a vías con niveles de tránsito moderado y pesado, por lo que es necesario establecer requerimientos técnicos acordes con proyectos de vías locales, cuya finalidad sea mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en el sector. En Bogotá cerca de 8290 km carril de la malla vial corresponden a vías locales¹ que son los corredores viales que permiten la accesibilidad a escala local en las diferentes zonas de la ciudad en articulación con las otras mallas viales.

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), junto con la Universidad Nacional de Colombia, desarrollaron la *Guía de diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.* Esto, con el propósito de proponer políticas y soluciones técnicas de mejoramiento y conservación vial, enmarcadas en los conceptos de servicio y atención a la demanda de los usuarios, fomentando la aplicación de tecnologías alternativas con el uso de materiales locales disponibles.

Este documento es una herramienta de trabajo aplicada a condiciones urbanas de estructuras de pavimentos para vías locales, que garanticen el tránsito permanente optimizando recursos técnicos y financieros. Guía tiene como fin presentar alternativas de estructuras de pavimentos sometidas a bajos niveles de tránsito para las condiciones climáticas, geotécnicas, hidráulicas y períodos de diseño para vías locales de la ciudad. Igualmente, los tipos de materiales y espesores se ajustan a los procesos constructivos comunes en las diferentes localidades de Bogotá, considerando que en algunas zonas de la ciudad los sistemas de redes de servicios públicos limitan la profundidad de las intervenciones.


1.2 Responsabilidades

La presente *Guía de diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.*, resume la metodología y propone alternativas de diseño de estructuras de pavimentos flexibles, rígidos y articulados para vías locales con bajos niveles de tránsito en Bogotá. Las recomendaciones dadas en la presente Guía se complementan con las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, Para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público 2011², para Bogotá D.C.

La información presentada en esta *Guía* ha sido estudiada de acuerdo con principios de ingeniería ampliamente reconocidos. Ninguna de las indicaciones y recomendaciones de este documento deben utilizarse sin el previo estudio por parte de un ingeniero con experiencia en proyectos viales y con matrícula profesional vigente, quien debe

¹ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2012)

² (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

ser competente para evaluar el significado y las limitaciones del material presentado y quien acepte la responsabilidad de aplicar el contenido de esta guía de diseño en un caso específico.

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) no se hace responsable por la mala utilización de la información contenida en esta Guía. Adicionalmente, ni El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), ni el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), ni La Universidad Nacional de Colombia, podrán ser demandados por cualquier queja, demanda, injuria, pérdida o gastos que, de cualquier manera, surjan o estén relacionados con la utilización de la información aquí presentada. En cualquier caso y para cualquier tipo de obra resulta obligatoria la realización de la descripción del proyecto, el estudio geotécnico, los estudios topográficos y los estudios de tránsito. En caso de antecedentes de proyectos cercanos y/o similares, el ingeniero y/o usuario de esta Guía será responsable de la validez y la veracidad de la información a adoptar.

1.3 Consideraciones

Para el desarrollo de esta Guía y teniendo en cuenta parámetros como los anchos de calzada y el tránsito atraído en vías locales debido a su rehabilitación, se utilizarán como rangos de tránsito de diseño los correspondientes a las categorías T1 y T2, definidas en las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011) – ET-2011 del IDU en la sección 107 (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Categorías de tránsito IDU³

Categoría de tránsito	Nivel de tránsito	
	Criterio 1 (VPDo)	Criterio 2 (NAEE 80, millones)
T0	VPDo < 20	NAEE 80 < 0.2
T1	20 ≤ VPDo < 50	0.2 ≤ NAEE 80 < 0.5
T2	50 ≤ VPDo < 150	0.5 ≤ NAEE 80 < 1.5
T3	150 ≤ VPDo < 300	1.5 ≤ NAEE 80 < 3.0
T4	300 ≤ VPDo < 750	3.0 ≤ NAEE 80 < 7.5
T5	VPDo ≥ 750	NAEE 80 ≥ 7.5

Donde:

VPDo: Número de vehículos pesados por día en el carril de diseño durante el primer año de servicio de las obras. Se consideran vehículos pesados los buses y camiones con peso igual o mayor a 3.5 toneladas.

NAEE 80: Número Acumulado de Ejes Equivalentes de 80kN en el período de diseño, en el carril de diseño.

No obstante, para efectos de diseño y de notación en esta Guía se agruparon en una sola categoría los tránsitos T0 y T1. Adicionalmente, el tránsito T2 fue dividido en dos rangos. Por lo anterior, las nuevas categorías que se emplearan en esta Guía se relacionan en la Tabla 1.2

³ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 1.2 Categorías de tránsito de diseño para la Guía.

Denominación	Número de vehículos comerciales día
T1-1	$T \leq 50$
T2-1	$51 < T \leq 100$
T2-2	$100 < T < 150$

La configuración de los vehículos pesados está enmarcada en la Resolución 4100 de 2004 modificada – Resolución 1782 de 2009 – Ministerio de Transporte⁴. Para vías locales, se estima que pasarán vehículos tipo 2 y tipo 3 (ver Capítulo 4), puesto que vehículos pesados de una mayor clasificación necesitarían de condiciones geométricas amplias difíciles de encontrar en este tipo de vías. No obstante, si este caso se presenta, se tendrá que evaluar el tránsito como un caso particular al igual que el diseño de pavimentos, ya que el alcance de esta Guía no incluye tal tipo de vehículos.

El Decreto 364 de 2013, por el cual se adopta la modificación excepcional de las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial para Bogotá, y por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los decretos distritales 619 de 2000, 469 de 2003 y 10 de 2004, establece la clasificación de las secciones viales relacionada en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Clasificación de las secciones viales de la malla vial Bogotá

(Fuente: POT 2013, Decreto 364 de 2013 de la Alcaldía de Bogotá) [2]

Clasificación de la malla vial	Secciones viales asociadas
Malla vial arterial principal y complementaria	V-0, V-1, V-2, V-3
Malla vial intermedia	V-4, V-5, V-6
Malla vial local	V-7, V-8, V-9

Las secciones viales en Bogotá están clasificadas no sólo por parámetros de tránsito, sino también por requerimientos urbanísticos y de armonía con las zonas existentes. Por lo tanto, los diferentes tipos de malla vial no están asociados directamente con un rango de tránsito. Sin embargo, para efectos de esta Guía, se pueden incluir proyectos cuyas secciones viales clasifiquen como V-6 debido a la similitud en sus características.


PARA TENER MEJOR INTERPRETACIÓN DEL DOCUMENTO RECOMENDAMOS TENER EN CUENTA LAS DEFINICIONES Y LAS SIGLAS UTILIZADAS EN LA GUÍA.

⁴ (Ministerio de Transporte, 2009)

PARQUE NACIONAL – CARRERA 7MA



Capítulo 2: ASPECTOS GENERALES

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto Desarrollo Urbano</small>
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

2. ASPECTOS GENERALES

La vía es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o dos sentidos de circulación, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma. Igualmente, está conformada por una estructura de pavimento capaz de soportar las cargas impuestas por el tránsito y los efectos ambientales.

En este capítulo se presentarán las generalidades de las vías locales y de cada una de las estructuras de pavimentos a tratar en esta Guía.

2.1 Aspectos geométricos

Las características geométricas de la vía dependen de su jerarquía y de los requerimientos urbanísticos y la armonía con las zonas existentes. A continuación se presentan las características geométricas de una vía urbana (Figura 2.1) y los conceptos más importantes:

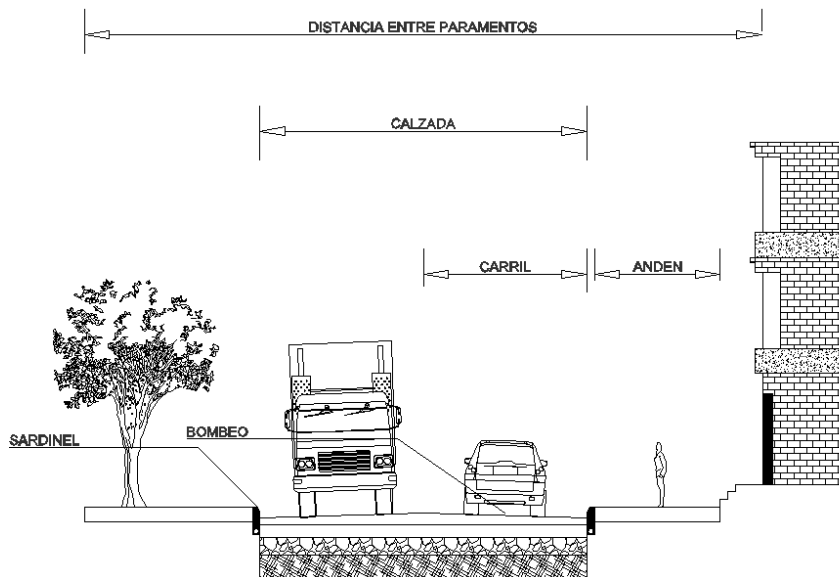



Figura 2.1 Características geométricas de una vía urbana¹

- Calzada:** Superficie acondicionada de la vía destinada a la circulación de los vehículos, constituida por uno, dos o más carriles.
- Carril:** Subdivisión o banda de la calzada que permite la circulación de una fila de vehículos.

¹ (cadbloques.com)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Cunetas: Canales que se ubican a los lados de la corona de la vía y paralelamente al eje longitudinal de la misma. El objetivo de esta estructura es recibir y evacuar el agua superficial proveniente del talud y de la superficie de rodamiento, evitando que esta se acumule sobre la estructura del pavimento. En vías locales urbanas se pueden remplazar por el bombeo y la colocación de sumideros o sistemas de drenaje, tales como: drenajes de ranura, cunetas-sardinell y sistemas combinados bordillo-drenaje.

Berma: Zona aledaña a la superficie de rodamiento y que tiene como función principal proporcionar un espacio adecuado para la detención de vehículos de emergencia. Como se mencionó anteriormente, en vías urbanas las bermas no son comunes.

Paramento: Plano vertical que delimita la fachada de un inmueble sobre un área pública o privada.

Sardinell: Se define como el elemento (generalmente de concreto) que delimita la superficie de la calzada, el andén o cualquier otra superficie de uso diferente en una vía.

2.2 Estructura de pavimento

Una estructura de pavimento está conformada por diferentes capas de materiales que garantizan la funcionalidad de la misma ante el paso de cargas de tránsito y efectos ambientales. Esto es, que debe resistir las sollicitaciones mecánicas generadas por el paso de las cargas impuestas por el tránsito y garantizar un nivel de servicio durante un periodo de diseño, de tal manera que no se ponga en riesgo la seguridad y comodidad de los usuarios.

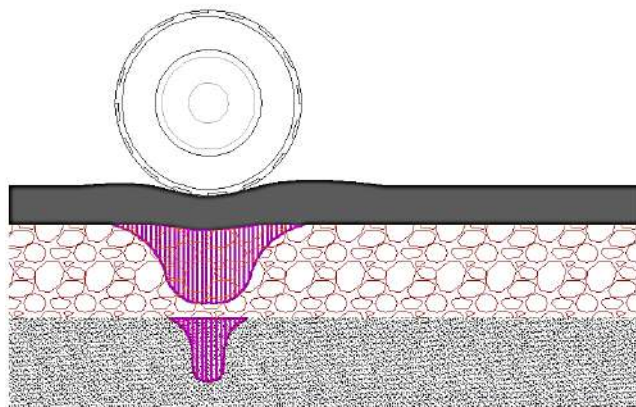



Figura 2.2 Deformaciones de una estructura de pavimento flexible.

El pavimento se degrada por factores ambientales y por la sollicitación de las cargas debidas al tránsito. Entonces, deberá disipar los esfuerzos inducidos por el tránsito garantizando niveles de esfuerzo y/o deformación en el suelo de soporte, que no superen los admisibles del mismo.

El dimensionamiento de una estructura de pavimento consiste en determinar los espesores de cada una de las capas asociados a los tipos de materiales (rigidez) que la componen, garantizando el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Brindar comodidad y seguridad a los usuarios.
- Ser resistentes ante los efectos ambientales.
- Ser durables.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

2.3 Capas de las estructuras de pavimentos

2.3.1 Capas de soporte

El suelo sobre el cual se construye la estructura de pavimento se denomina subrasante, la cual puede ser natural o conformada por materiales de corte y rellenos compactados. Esta deberá soportar las cargas inducidas por el tránsito y su resistencia al esfuerzo cortante, es uno de los parámetros para el diseño de una estructura de pavimento. La caracterización de la subrasante depende de sus propiedades intrínsecas.

2.3.2 Capas de cuerpo

Algunas de las funciones de las capas de cuerpo son:

- Proporcionar una superficie nivelada para la construcción de las capas superiores.
- Proteger la subrasante.
- Soportar el eventual tránsito durante la construcción.
- Contribución al drenaje de la calzada.

A continuación se presentan los diferentes tipos de capas de cuerpo.

2.3.2.1 Base (Granular, Estabilizada con cemento, Estabilizada con ligante asfáltico entre otros)

Esta capa está constituida por material seleccionado que puede ser o no estabilizado y que confiere parte de la resistencia mecánica necesaria para soportar las cargas inducidas por los vehículos. La base tiene como función principal distribuir las cargas del tránsito a la subbase y está a la subrasante. Debido a la alta concentración de esfuerzos a los que se ve sometida esta capa, los materiales que la componen deben ser de alta calidad para evitar la falla o deformaciones excesivas y, principalmente, deben cumplir con todo lo consignado en la sección 400, 420, 440 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).


2.3.2.2 Subbase

Esta capa reparte el esfuerzo sobre la subrasante de tal manera que las deformaciones a este nivel permanezcan dentro de límites admisibles. Para las vías de bajo tránsito, el papel que desempeña la capa de subbase puede remplazarse, en ciertos casos, por un tratamiento del suelo de la subrasante. Los materiales que la componen deben cumplir con todo lo consignado en la sección 400 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C (2011).

2.3.3 Capas superficiales

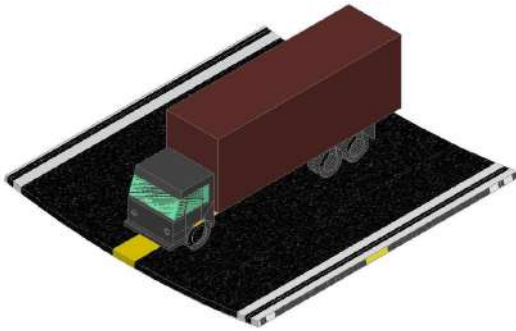
Este término hace referencia a las capas de rodadura y a la condición de liga entre las capas superficiales y la capa de base. Se debe incluir también cualquier capa destinada a evitar el calcado de fisuras de las capas de cuerpo y que puedan afectar las capas superficiales.

La capa de rodadura está en contacto directo con los efectos combinados del tránsito y la intemperie, teniendo como principal propósito proporcionar una superficie cómoda y segura para el tránsito de los vehículos. Esta capa puede ser de diferentes materiales como: concreto asfáltico, concreto hidráulico o adoquines, siempre considerando que el material escogido debe tener como característica principal una alta resistencia a la abrasión y a los agentes medioambientales.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

2.4 Tipos de estructuras de pavimentos

2.4.1 Estructuras flexibles



El pavimento flexible tiene como principal característica la mayor tolerancia a la deformación. Está compuesto por capas de cuerpo (base y subbase, estabilizadas o no) dispuestas sobre la subrasante. La capa superficial está constituida por materiales visco-elásticos (concretos asfálticos) cuyo objetivo es evitar la filtración de agua en la estructura. Las ventajas son su facilidad de adaptación a los cambios climáticos y su capacidad de deformabilidad asociada a su naturaleza dúctil.

Figura 2.3 Estructura flexible

2.4.2 Estructuras rígidas

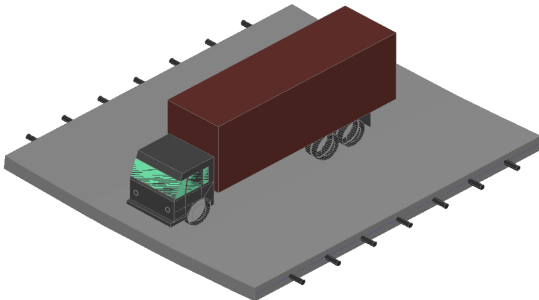



Figura 2.4 Estructura rígida

El pavimento rígido está compuesto igualmente por capas de cuerpo (base y subbase, estabilizadas o no) dispuestas sobre la subrasante. A diferencia de la anterior, la capa superficial está constituida por materiales hidráulicos, generalmente losas de concreto. Sin embargo, uno de los mayores problemas es la fuerte susceptibilidad a cambios climáticos que pueden llegar a producir rupturas debido a su fragilidad, especialmente por el fenómeno del alabeo. Debido a la rigidez del concreto hidráulico se requieren estructuras de menor espesor, lo que permite reducir el tiempo de construcción y puede mitigar los problemas asociados a las redes de servicios públicos presentes principalmente en vías urbanas. Además, por las propiedades reflectantes del concreto hidráulico, se solicita una menor cantidad de iluminación para garantizar condiciones de seguridad a los usuarios.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUHC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

2.4.3 Estructuras articuladas

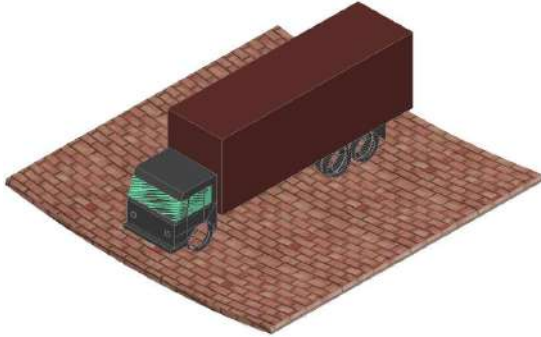


Figura 2.5 Estructura articulada


Los pavimentos articulados son aquellos en los que la capa superior o acabado del pavimento está constituida por elementos prefabricados llamados adoquines que, siguiendo algún patrón modular, empalman entre sí sin emplear materiales cementantes para fijarlos. Su origen se encuentra en los antiguos empedrados. Una estructura de pavimento articulada estará compuesta por las mismas capas de cuerpo (base y subbase, estabilizadas o no) y, adicionalmente, por la capa de rodadura que incluye los adoquines y la capa de arena utilizada para el sellado.

Los adoquines son elementos prefabricados macizos de concreto, arcilla cocida o piedras cortadas, de espesor homogéneo y uniforme, de tal forma que encajen unos con otros para formar una superficie continua que sirva de rodadura a un pavimento. Los adoquines prefabricados de concreto se fabrican en concreto simple y /o arcilla, en piezas cuyas dimensiones en planta no superan los 20 cm en los sentidos principales y con espesores variables entre 6 y 10 cm. Su forma y dimensiones están condicionadas con la posibilidad de ser manejados en obra.



TORRE COLPATRIA – CENTRO EMPRESARIAL

Capítulo 3:
ASPECTOS GEOTÉCNICOS

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GU4C-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

3. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

3.1 Aspectos generales

La caracterización del suelo natural donde se desarrollan los proyectos viales es la variable más importante en la geotecnia vial, puesto que la resistencia de este suelo de soporte condiciona el dimensionamiento de la estructura, cuyo fin es el de disipar los esfuerzos inducidos por las cargas del tránsito. En este Capítulo se describe la caracterización, los procesos de mejoramiento de la subrasante y las condiciones mínimas de resistencia que se denominará Capacidad Portante Equivalente (CPE) para la aplicación de las estructuras propuesta en esta Guía.

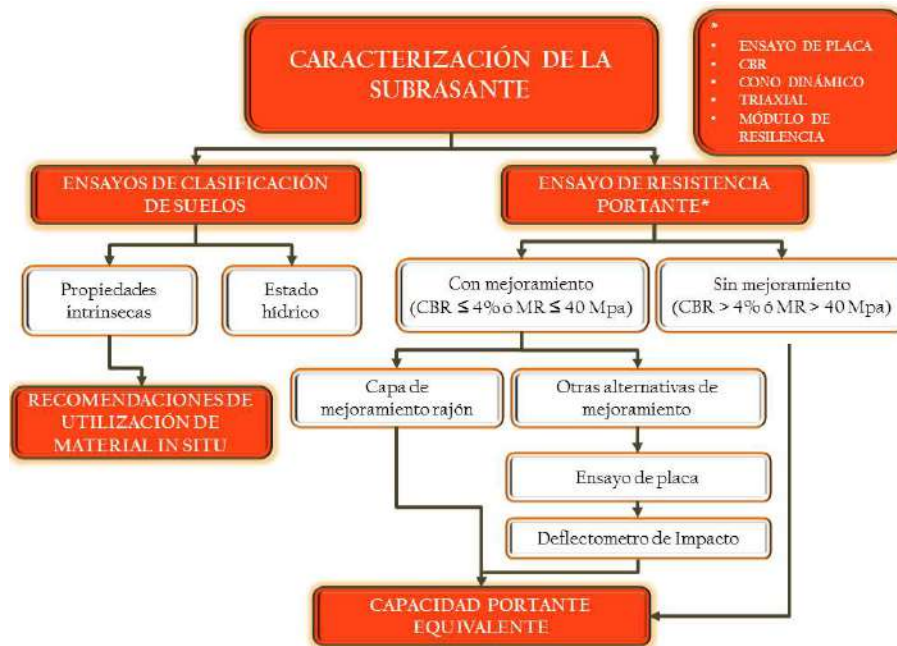



Figura 3.1 Metodología para caracterizar la subrasante y determinar la Capacidad Portante Equivalente

3.2 Caracterización de la subrasante

La subrasante se define como el estrato conformado por el suelo natural sin ningún tipo de tratamiento o proceso mecánico y se asume de espesor semi-infinito. La capacidad portante de la subrasante está asociada a las propiedades intrínsecas del suelo y a las condiciones hídricas más desfavorables durante la vida útil de servicio de una estructura de pavimento. Adicionalmente, debe ser evaluada utilizando cualquiera de las técnicas normalizadas de uso habitual en la ingeniería.

Para la utilización de esta Guía deberá caracterizarse la subrasante. La caracterización se realizará de acuerdo con la clasificación de suelos de la AASHTO, la determinación del estado hídrico (asociado a la humedad natural) y los límites de Atterberg. Asimismo, deberá estimarse el comportamiento mecánico con ensayos in situ y/o ensayos de laboratorio de la subrasante, para evaluar la necesidad de inclusión de una capa de

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

mejoramiento. En este capítulo se presentan recomendaciones para realizar el mejoramiento utilizando material de rajón entre otros. No obstante, se permite que el usuario pueda involucrar otras alternativas de mejoramiento para las que deberá garantizar unas condiciones mínimas de resistencia, que puedan ser evaluadas con ensayos de placa *in situ* y/o ensayos con el deflectógrafo de impacto. Con base en los valores de resistencia de la capa de mejoramiento se determina la Capacidad Portante Equivalente (CPE), que será variable de entrada para la selección de las diferentes alternativas de diseños de las estructuras de pavimento. En la Figura 3.1 se presenta de forma gráfica el procedimiento que permitirá determinar este parámetro.

3.2.1 Exploración en campo

La exploración en campo deberá realizarse basándose en las técnicas reconocidas en el campo de la ingeniería, con el fin de establecer las características del suelo de la subrasante e identificar problemas potenciales asociados a aspectos geotécnicos. El usuario de esta Guía será el encargado de precisar en cada caso particular las características del proyecto a explorar y las técnicas y/o métodos a utilizar.

3.2.1.1 Sondeos

La exploración podrá realizarse mediante apiques, sondeo u otros procedimientos exploratorios. El número de sondeos dependerá de la longitud y/o segmento del proyecto a diseñar. Para efectos de esta Guía, se definirá segmento vial como un tramo de vía con una longitud entre 100 y 150 m y un ancho promedio de 8 m de calzada.

Se recomienda que la profundidad de los sondeos esté entre 1.5 - 2.0 m. En todo caso, el ingeniero geotécnico y/o usuario de esta Guía será el responsable de validar esta información.

En la Tabla 3.1 se define el número mínimo de sondeos para el diseño de estructuras de pavimentos asociados a la longitud y/o segmento del proyecto.

Tabla 3.1 Número mínimo de sondeos para proyectos viales


Longitud y/o segmento vial	Número mínimo de sondeos
100m – 150m	1
> 150m	1 por cada 100 m adicionales

3.2.2 Propiedades de los suelos

La clasificación de los materiales de subrasante, se realizará con base en parámetros fácilmente evaluables mediante ensayos de laboratorio simples y que resultan significativos para el suelo en consideración. No se incluyen en dicha clasificación los suelos con contenidos orgánicos superiores al 3 %, los cuales en principio no deben utilizarse para los propósitos establecidos en esta Guía.

Para el uso de esta Guía, la clasificación de suelos de material de subrasante se basará en dos parámetros descritos en el Anexo 3.2.2:

- Parámetros asociados a las propiedades intrínsecas de los materiales.
- Parámetros asociados al estado hídrico.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

3.2.2.1 Características intrínsecas del material

Los parámetros asociados a la naturaleza del material que se consideran en la clasificación son:

- *Humedad natural w_n (INV E-122-07)*: este ensayo permite determinar en laboratorio el contenido de agua (humedad) de los materiales del suelo, roca y mezclas de suelo-agregado por peso.
- *Granulometría (INV E-123-07)*: este ensayo permite determinar la dimensión máxima de las partículas contenidas en el suelo y su porcentaje en relación con el peso total de la muestra. Además, este parámetro es determinante para definir la factibilidad de excavación y, especialmente, para evaluar el espesor de capas básicas de compactación y las condiciones de mezcla eventual con un ligante.
- *El límite líquido L_L (INV E-125-07)*: es un parámetro que determina el mayor contenido de agua que puede tener un suelo sin pasar de estado plástico a líquido.
- *El límite plástico L_P (INV E-126-07)*: es un parámetro que determina el contenido más bajo de agua en un suelo, para el cual puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen agrietamiento o desmoronamiento.
- *El Índice de Plasticidad IP (INV E-126-07)*: es el parámetro que indica el rango de humedades en el que un suelo tiene comportamiento plástico. Es la diferencia numérica entre los Límites de Atterberg: límite líquido y límite plástico.
- *El valor de Azul de Metileno AM (INV E-235-07)*: es uno de los parámetros que permiten determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) en una fracción de suelo. Este representa la cantidad de azul de metileno que puede ser absorbido por las superficies externas e internas de las partículas del suelo, valor que está relacionado con la superficie específica del suelo. Considerando que este valor es proporcional a la superficie de las partículas contenidas en la fracción arcillosa de un suelo ($\leq 2 \mu\text{m}$), se puede pensar que el valor de azul de metileno AM expresa globalmente la cantidad y la calidad (o actividad) de la arcilla contenida en el suelo.

En la Figura 3.2 se presenta la clasificación de los materiales asociados a sus propiedades intrínsecas, tales como tamaño de partículas, plasticidad y/o contenido de arcilla. Además, este esquema permite identificar de forma sencilla el tipo de suelo acorde con la clasificación de suelos de la AASHTO.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

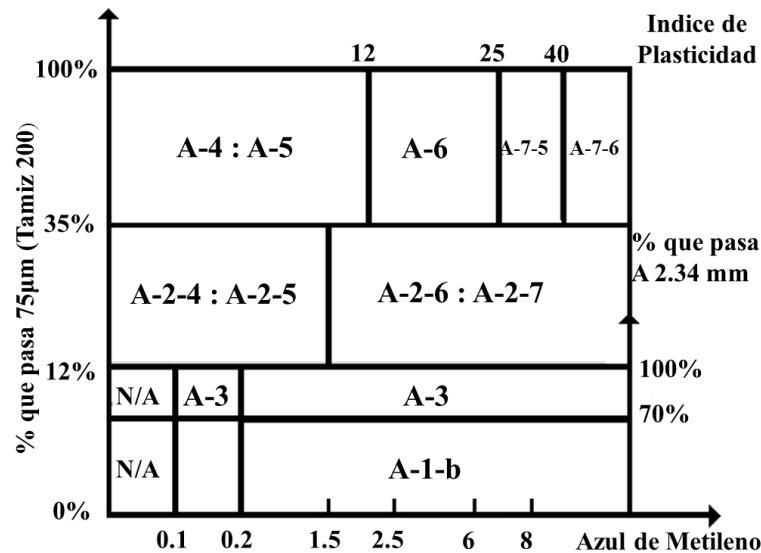


Figura 3.2 Clasificación de los suelos según los parámetros asociados a las propiedades intrínsecas.

3.2.2.2 Estado hídrico

Con el fin de evaluar la influencia del contenido de agua en la subrasante in situ asociados a condiciones meteorológicas, es necesario determinar parámetros que no son propios de los suelos sino que dependen del ambiente en el que se va a trabajar. Estos son asociados al estado hídrico y permiten prever los problemas que se pueden presentar en la capa de subrasante. Para determinar el estado hídrico de un suelo se utilizará el Índice de Consistencia I_c , que evalúa la humedad natural respecto a los límites de Atterberg y cuya expresión se presenta a continuación:

$$I_c = \frac{L_L - w_n}{IP}$$

Donde:
 L_L: Límite líquido
 w_n: Humedad natural
 IP: Índice de Plasticidad


El valor del Índice de Consistencia I_c depende de la humedad natural del suelo. Así, cuanto mayor sea el valor del I_c para una arcilla dada, más cerca estará del estado líquido y más peligrosa será para cimentar. Para suelos blandos $I_c \cong 0$ y para suelos rígidos $I_c > 1$. Además, este índice refleja las características reales del suelo en obra, mientras que los límites solo son indicadores de las características potenciales de los suelos para variaciones del contenido de agua. Igualmente, el I_c permite caracterizar correctamente los cinco estados hídricos únicamente en el caso de suelos medianamente y muy arcillosos. (Ministère de l'Équipement des Transports et du Tourisme, 1994)¹:

Basados en el texto "Conception et dimensionnement des structures de chaussées"² se definió la siguiente clasificación:

- Estado muy húmedo (*mh*): No permite en general la utilización del suelo.
- Estado húmedo (*h*): Permite la utilización del suelo bajo ciertas condiciones particulares, tales como aireación, tratamientos, terraplenes de poco espesor y otros.

¹ (Ministère de l'Équipement des Transports et de Tourisme, 1994)

² (Ministère de l'Équipement des Transports et de Tourisme, 1994)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	


- Estado de humedad medio (*m*): Estado de humedad óptimo.
- Estado seco (*s*): Permite la utilización tomando ciertas medidas en obra, tales como riego con agua, sobre-compactación y otros.
- Estado muy seco (*ms*): No permite la utilización del material.

Con base en las propiedades intrínsecas de los suelos y su comportamiento asociado con el estado hídrico, se propone una clasificación de los suelos de subrasante para uso de esta Guía, que se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Clasificación de los suelos de subrasante³

CLASE	PARAMETRO ASOCIADO A LA NATURALEZA DEL SUELO	EQUIVALENTE AASHTO	PARAMETRO HÍDRICO		
	VALORES ASOCIADOS	CLASE	VALORES ASOCIADOS	SUB-CLASE	
SUELOS FINOS	AM ≤ 2.5 o IP ≤ 12	A-4; A-5	$I_c \leq 0.9$	mh	
		A-4; A-5	$0.9 < I_c \leq 1.05$	h	
		A-4; A-5	$1.05 < I_c \leq 1.2$	mh	
		A-4; A-5	$1.2 < I_c \leq 1.4$	s	
		A-4; A-5	$I_c > 1.3$	ms	
	2.5 < AM ≤ 6 o 12 < IP ≤ 25	A-6	$I_c \leq 0.9$	mh	
		A-6	$0.9 < I_c \leq 1.05$	h	
		A-6	$1.05 < I_c \leq 1.2$	mh	
		A-6	$1.2 < I_c \leq 1.4$	s	
		A-6	$I_c > 1.3$	ms	
	6 < AM ≤ 8 o 25 < IP ≤ 40	A-7-5	$I_c \leq 0.8$	mh	
		A-7-5	$0.8 < I_c \leq 1$	h	
		A-7-5	$1 < I_c \leq 1.15$	mh	
		A-7-5	$1.15 < I_c \leq 1.3$	s	
		A-7-5	$I_c > 1.3$	ms	
	IP > 40 o AM > 8	A-7-6	Suelos no recomendables para ser empleados en capas de conformación y/o plataforma y/o mejoramiento.		
		A-7-6			
		A-7-6			
		A-7-6			
		A-7-6			

³ (Ministere de l'Equipement des Transports et de Tourisme, 1994)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Los estados hídricos son especialmente relevantes para los suelos A-6 y A-7-5 de la clasificación AASHTO que corresponden a arenas finas arcillosas, limos, arcillas y marga poco plástica, arenas y arcillas muy plásticas. Los suelos correspondientes a A-7-6 son muy cohesivos y casi impermeables. La variación de humedad para estos suelos es muy lenta y se presenta mediante contracciones o expansiones importantes. Su empleo en terraplenes o en estratos de conformación no se recomienda. Por su parte, para los suelos A-4 y A-5 la influencia del estado hídrico no es representativa.

3.2.3 Comportamiento Mecánico

El comportamiento mecánico de los materiales se define como la respuesta (fractura y deformación) ante sollicitaciones externas (cargas y el efecto de las variables climáticas). Para la utilización de esta Guía, se establece que las respuestas de los materiales se desarrollan en el rango elástico y se asocia el comportamiento mecánico al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

La determinación del esfuerzo cortante de un material podrá realizarse con ensayos directos y/o correlaciones. En la práctica tradicional usualmente se emplea el ensayo CBR (Californian Bearing Ratio) como parámetro de resistencia para la evaluación de materiales en estructuras de pavimento. Sin embargo, a continuación se relacionan otros ensayos ampliamente utilizados que permiten determinar este valor de resistencia.

ENSAYOS DIRECTOS

- **CBR (INV E-148-07):** este ensayo permite la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado Relación de Soporte de California, conocido debido a su origen como CBR (California Bearing Ratio).
- **Módulo Resiliente (MR) (INV E-156-07):** este ensayo presenta la determinación del módulo elástico-dinámico o de resiliencia de los suelos. Tiene en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales.
- **Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) (INV E-172-07):** este ensayo permite establecer la medida de la tasa de penetración en un suelo inalterado o alterado usando el penetrómetro dinámico de cono. Estos valores son correlacionados con valores de resistencia *in situ*.
- **Ensayo de placa con carga estática (K) (INV E-168-07):** este ensayo determina el Módulo de Reacción (K) sobre suelos de subrasante y capas de estructuras de pavimentos ante cargas estáticas, bien sea en condición compacta o en estado natural. Suministra los datos para emplear en la evaluación y diseño de los pavimentos, de los tipos rígido y flexible, para carreteras y aeropuertos.
- **Ensayo de deflectómetro de impacto (FWD) (INV E-797-07, INV E-798-07):** consiste en la aplicación de una carga vertical dinámica (pulso) sobre la estructura, permitiendo determinar la respuesta mecánica del conjunto de capas que conforman la estructura de pavimento (rigidez de los materiales).


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	



Figura 3.3 Deflectómetro de impacto Universidad Nacional de Colombia

CORRELACIONES

La práctica tradicional en ingeniería ha establecido correlaciones entre diferentes ensayos. Los más utilizados se relacionan a continuación:


- **CBR vs MR:** La correlación encontrada por Heukelom and Klomp (1962) es la más usada dentro del ámbito de la ingeniería, donde se establece que el Módulo Resiliente (MR) en MPa es 10 veces el valor de CBR (%), para suelo finos con CBR < al 9%. Sin embargo Van Til (1972) estableció que para casos en los que se trabaje en suelos finos, el rango de variación del módulo resiliente es más amplio. Teniendo en cuenta lo anterior, se propusieron las correlaciones presentadas en la Tabla 3.3
- **CBR vs K:** La correlación entre estos dos ensayos fue construida a partir de los valores presentados por el Manual Centro Americano para diseño de Pavimentos en el año 2002.

En el Anexo 3.2.3.a se presentan ábacos para ambas correlaciones.

Considerando las características especiales para la ciudad de Bogotá acordes con los proyectos ejecutados, los estudios realizados y para efectos de uso de esta Guía, en la Tabla 3.3 se relacionan los valores de correlación entre Módulo Resiliente y de CBR adoptados.

Tabla 3.3 Correlaciones entre CBR Vs MR

	Valor de CBR	Módulo Resiliente (MPa)
1	CBR ≤ 4%	7.5 * CBR
2	4% < CBR ≤ 9%	10 * CBR

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

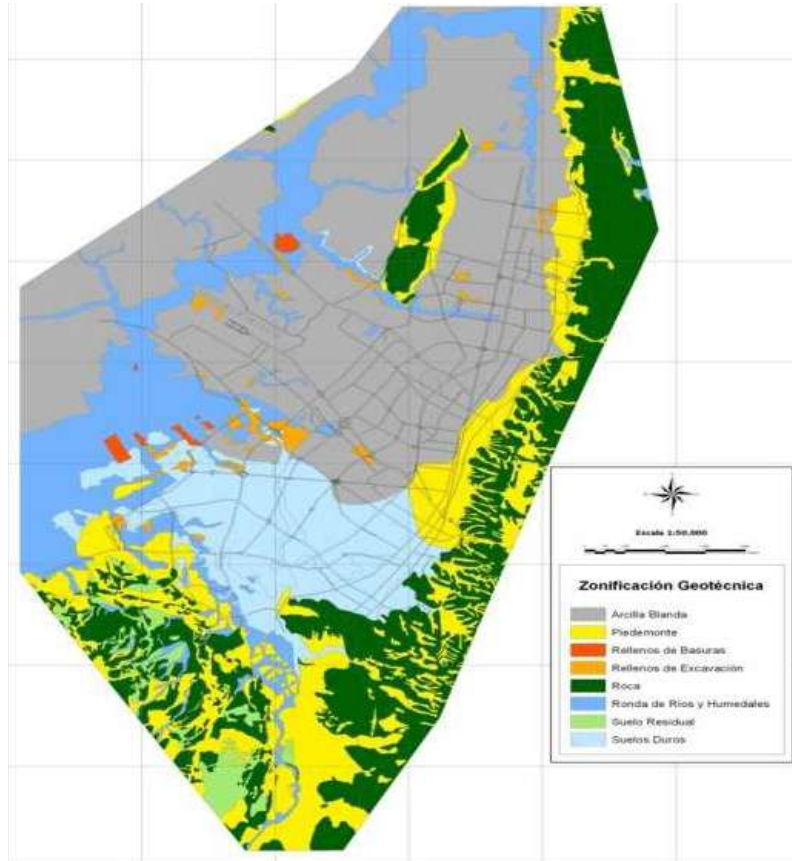



Figura 3.4 Mapa de zonificación geotécnica de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006)

Teniendo en cuenta el mapa de zonificación de geotecnia para Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006), estudios realizados por otros autores y la base de datos asociadas a diferentes proyectos ejecutados en la ciudad en los últimos años, se han determinado 5 tipos de subrasante (SR) para la ciudad los cuales están asociados a rangos de valores de resistencia de los suelos de subrasante los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Tipos de subrasante para Bogotá

Tipo de Subrasante	CBR (%)	Modulo Resiliente (MPa)
SR1	< 1,5	< 11.25
SR2	1,5 – 2,5	11 – 19
SR3	2,5 – 3,5	19 – 26
SR4	3,5 – 4,0	26 – 40
SR5	> 4,0	> 40

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

TENIENDO EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, HÍDRICAS Y CLIMÁTICAS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ, ESTA GUIA ESTABLECE QUE SE DEBEN REALIZAR ACTIVIDADES DE MEJORAMIENTO EN EL SUELO DE LA SUBRASANTE SI LOS VALORES DE RESISTENCIA DEL SUELO SON INFERIORES A UN EQUIVALENTE EN TÉRMINOS DE CBR DEL 4 % O UN VALOR DE MÓDULO RESILIENTE 40MPa.

3.2.4 Mejoramiento de la subrasante

El mejoramiento de la capacidad portante de la capa de subrasante se propone con materiales no tratados, materiales mejorados o tratados con estabilizantes y/o ligantes, o cualquier otro material y/o método que garantice la funcionalidad de la estructura a largo plazo. En esta Guía se presenta el dimensionamiento del mejoramiento para materiales tradicionalmente utilizados en Bogotá, como el remplazo con material de rajón. Sin embargo, teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la Guía es promover el uso y la implementación de materiales alternativos, el ingeniero y/o usuario de esta podrá diseñar estructuras basadas en criterios ingenieriles que se ajusten a las exigencias asociadas a los valores de capacidad portante mínimos exigidos en este documento. En cada caso, el ingeniero y/o usuario de esta Guía debe evaluar los riesgos que se tomen al considerar dichos criterios, especialmente en lo relacionado con los tiempos de ejecución en la obra.

3.2.4.1 Recomendaciones generales

Para construir la capa de subrasante mejorada de una manera satisfactoria, se requiere que la subrasante del terreno tenga un nivel mínimo de capacidad portante a corto plazo, que se puede definir como un parámetro que permite evaluar la aptitud de un suelo o un material capaz de soportar directamente la circulación de la maquinaria durante la construcción de la obra sin las capas de cuerpo. Para adelantar la construcción de las capas de la estructura pavimento se recomienda que:

- La plataforma soporte de calzada debe tener niveles de tolerancia de + o - 3 cm.

Asimismo, se recomienda que los materiales a utilizar en la capa de subrasante mejorada deben cumplir los siguientes criterios mínimos:

- **Insensibilidad al agua**

Los materiales para la subrasante mejorada deben tener características mecánicas independientes de su estado hídrico, bien sea en su estado natural o luego de someterse a tratamientos adecuados, tales como adición de cal y/o ligantes hidráulicos y/u otro tipo de productos y limitación de la fracción fina, garantizando las propiedades mecánicas del material durante el proceso de construcción y vida útil de la vía.

Teniendo en cuenta la clasificación de los suelos acorde a los parámetros asociados a la propiedades intrínsecas y el estado hídrico y la clasificación AASHTO, a continuación se presentan algunas recomendaciones básicas que deberán considerarse si se quiere emplear el suelo de subrasante como material en terraplenes y /o en capas de conformación, en caso de que no se tenga opción de remplazo de los mismos o que no se prevea realizar otro tipo de mejoramiento con distintas alternativas.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	


Tabla 3.5 Recomendaciones para la utilización de material de subrasante, adaptado de Conception et dimensionnement des structures de chaussées⁴

CLASE	EQUIVALENTE AASHTO	PARAMETRO HIDRICO	RECOMENDACIONES PARA UTILIZAR EL SUELO COMO CAPA DE SUBRASANTE MEJORADA
	CLASE	SUB-CLASE	
SUELOS FINOS	A-4; A-5	mh	La gran sensibilidad al agua de este tipo de suelos implica un tratamiento con ligante hidráulico asociado con cal o un producto químico adecuado. El control del estado hídrico para suelos tratados es complicado por la variación radical de su comportamiento (capacidad portante) para pequeñas variaciones en el contenido de agua. Estos suelos se tratan por lo general in situ.
	A-4; A-5	h	
	A-4; A-5	mh	
	A-4; A-5	s	Suelos no recomendables para ser empleados en capas de conformación y/o plataforma
	A-4; A-5	ms	
	A-6	mh	Debido a la sensibilidad al agua de este tipo de suelo es necesario realizar un tratamiento del tipo de ligante hidráulico + cal, que tiene en cuenta la fracción arcillosa en la muestra. La mezcla con cal puede llevarse a cabo para ajustar su estado hídrico en condiciones muy húmedas. Estos suelos se tratan casi siempre in situ para la fase de pretratamiento con cal y eventualmente tratamiento con cemento
	A-6	h	
	A-6	mh	
	A-6	s	Cuando estos suelos están en un estado seco, es necesario adicionarles agua para llevarlos hacia un estado medio y en ese caso la cal puede ventajosamente introducirse en forma de lechada de cal, cuya concentración será adaptada según el caso de obra considerado
	A-6	ms	
	A-7-5	mh	La sensibilidad al agua de estos tipos de suelos y su alta plasticidad implica la realización de un tratamiento del tipo ligante hidráulico + cal o un producto químico adecuado, para poder emplearlos en la subrasante mejorada. Para los suelos más plásticos puede considerarse un tratamiento con solo cal. Estos suelos se tratan exclusivamente in situ. Cuando se encuentran en este estado húmedo, la cal es un mecanismo muy eficaz para facilitar el mezclado y ajustar su estado hídrico.
	A-7-5	h	
	A-7-5	mh	
	A-7-5	s	Cuando se encuentran en un estado seco, su empleo en capas de subrasante mejorada no es aconsejable a causa de las dificultades que se presentan para humedecerlos homogéneamente. Suelos no recomendables como subrasante mejorada.
	A-7-5	ms	
	A-7-6	Suelos no recomendables para ser empleados en capas de conformación y/o plataforma	
	A-7-6		
	A-7-6		
A-7-6			
A-7-6			

- **Dimensión de las partículas más gruesas**

Este criterio debe permitir la obtención de una nivelación de la plataforma con las tolerancias requeridas (en general + o - 3 cm) y, llegado el caso, un mezclado con los productos de tratamiento.

⁴ (Ministere de l'Equipement des Transports et de Tourisme, 1994)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

- **Resistencia a la circulación de maquinaria de obra**

Un material de capa de subrasante mejorada utilizado sin tratamiento con ligante hidráulico debe ser suficientemente resistente a la fragmentación para no dar lugar, bajo el efecto de compactación y del tránsito, a la generación de partículas finas en superficie que resulten sensibles al agua. Esta resistencia puede establecerse a partir de resultados de ensayos mecánicos, por ejemplo el desgaste con el equipo de máquina de los Ángeles (INV E-218/219) o el de resistencia al desgaste con el equipo micro – Deval (INV E-238).

3.2.4.2 Mejoramiento con remplazo de material de rajón

El mejoramiento con remplazo de material de rajón se ha utilizado de manera tradicional para el mejoramiento de la subrasante en Bogotá de acuerdo con lo estipulado en la Sección 321-11 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C - ET2011. La resistencia producida por el material de rajón está dada por la fricción generada entre los materiales de la misma, debido a la trabazón entre las partículas. La inclusión de esta capa dentro de la estructura permite obtener resistencias mecánicas adecuadas para el buen desempeño de la estructura. Los valores de capacidad portante equivalente utilizando este material se determina con base en el método Ivanov⁵ el cual ha sido validado en diferentes contextos de la ingeniería nacional e internacional (Anexo 3.2.4.2).

Teniendo en cuenta las exigencias en términos de granulometría y de dimensionamiento para capas mejoradas con rajón (que establecen que el tamaño máximo de las partículas estará controlado por el valor menor que se obtenga al comparar los dos tercios (2/3) del espesor de la capa compactada o 30 cm) y las limitaciones constructivas asociadas a la presencia de redes se establecieron dos valores espesor para el uso de material de rajón: 25 y 30 cm. Espesores superiores deberán estudiarse acorde con las características particulares del proyecto.



Figura 3.5 Vías intervenidas en la localidad de Chapinero - Mejoramiento con rajón

En la Tabla 3.6 se presentan los valores de Capacidad Portante Equivalente (CPE) para las alternativas de mejoramiento con material de rajón de acuerdo al tipo de subrasante.

⁵ (Ivanov, 1973)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Tabla 3.6 Capacidad Portante Equivalente con material de rajón


Tipo de subrasante	CBR (%) _{SR}	CPE (CBR (%))	
		Material de rajón	
		e= 25cm	e= 30 cm
SR1	1	3.2	3.6
	1.25	3.6	4.1
	1.5	4.0	4.5
SR2	1.75	4.3	4.9
	2	4.6	5.2
	2.25	4.9	5.5
	2.5	5.2	5.8
SR3	2.75	5.5	6.0
	3	5.8	6.3
	3.25	6.0	6.5
	3.5	6.2	6.8
SR4	3.75	6.4	7.0

3.2.4.3 Mejoramiento con materiales alternativos

Los tratamientos recomendados para cada clase de suelo a utilizarse como material en la capa de subrasante mejorada se eligen en función del contenido de arcilla y del estado hídrico. El ingeniero y/o usuario de la Guía podrá escoger de manera autónoma cualquier tipo de material y/o técnica para realizar el mejoramiento de la capa de subrasante. Los tipos de tratamiento que se pueden considerar para realizar este procedimiento son:

- a) Tratamiento con cemento.
- b) Tratamiento con cemento + cal.
- c) Tratamiento con cemento + cemento hidráulico aditivado.
- d) Tratamiento con aceites sulfonados.
- e) Tratamiento con productos hidrofobantes.
- f) Tratamiento con materiales asfálticos naturales no convencionales.
- g) Tratamiento con material de demolición de losas de concreto hidráulico.
- h) Tratamiento con materiales de reciclaje de concretos asfálticos.
- i) Tratamiento con otros productos incluidos en la guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químico (2005).
- j) Utilización de geosintéticos.

Será responsabilidad del ingeniero y/o usuario de esta Guía evaluar las ventajas y/o riesgos que se toman al utilizar estos materiales. Igualmente, él será el encargado de precisar en cada caso particular las características de los materiales a utilizar. Se recomienda hacer tramos de prueba que permitan considerar dichos criterios, especialmente en lo relacionado con los tiempos de ejecución en la obra.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GU4C-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

SE DEBERÁ GARANTIZAR QUE LOS VALORES DE RESISTENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO SEAN SUPERIORES A DE 3 CBR O 18 MPa/m EQUIVALENTE DE UN ENSAYO DE PLACA ESTÁTICA.*

*Se podrán emplear las correlaciones presentadas en el Anexo 3.2.3.a.


3.2.5 Capacidad Portante Equivalente – CPE

La Capacidad Portante Equivalente se define para esta Guía como un parámetro que indica la resistencia al esfuerzo cortante, para la evaluación de materiales del conjunto formado por la subrasante y la capa de mejoramiento, en caso de que esta última exista (en condiciones de humedad y densidad controlada). Para determinarla se realizará el ensayo de placa estática y/o podrán utilizarse las correlaciones que se presentan a continuación.

Tabla 3.7 Capacidad Portante Equivalente para el diseño de las estructuras de pavimento

ENSAYO	CPE			
	CPE1	CPE2	CPE3	CPE4
CBR	3 – 3.9	4 – 4.9	5 – 5.9	>6
E (MPa)	22.5 – 38.4	40 – 49	50 – 5.9	>60
K sub MPa/m	28 – 34.3	35 – 39.5	40 – 42.7	>43

LOS VALORES ASOCIADOS A LA RESISTENCIA DE LA CAPA DE SUBRASANTE MEJORADA O NO, DETERMINARÁ LA CAPACIDAD PORTANTE EQUIVALENTE (CPE) QUE SERÁ EL VALOR DE ENTRADA INICIAL PARA DEFINIR LOS DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS UTILIZANDO LAS DE LAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

ANEXOS CAPÍTULO 3

Anexo 3.2.2 Clasificación de suelos según la metodología AASHTO.


Anexo 3.2.3.a Ábacos de correlación: CBR vs K para suelos A-5 A-6 y A-7 de la clasificación AASHTO.

Anexo 3.2.4.2 Variación de la Capacidad Portante Equivalente utilizando material de rajón para espesores de 25 y 30 cm.

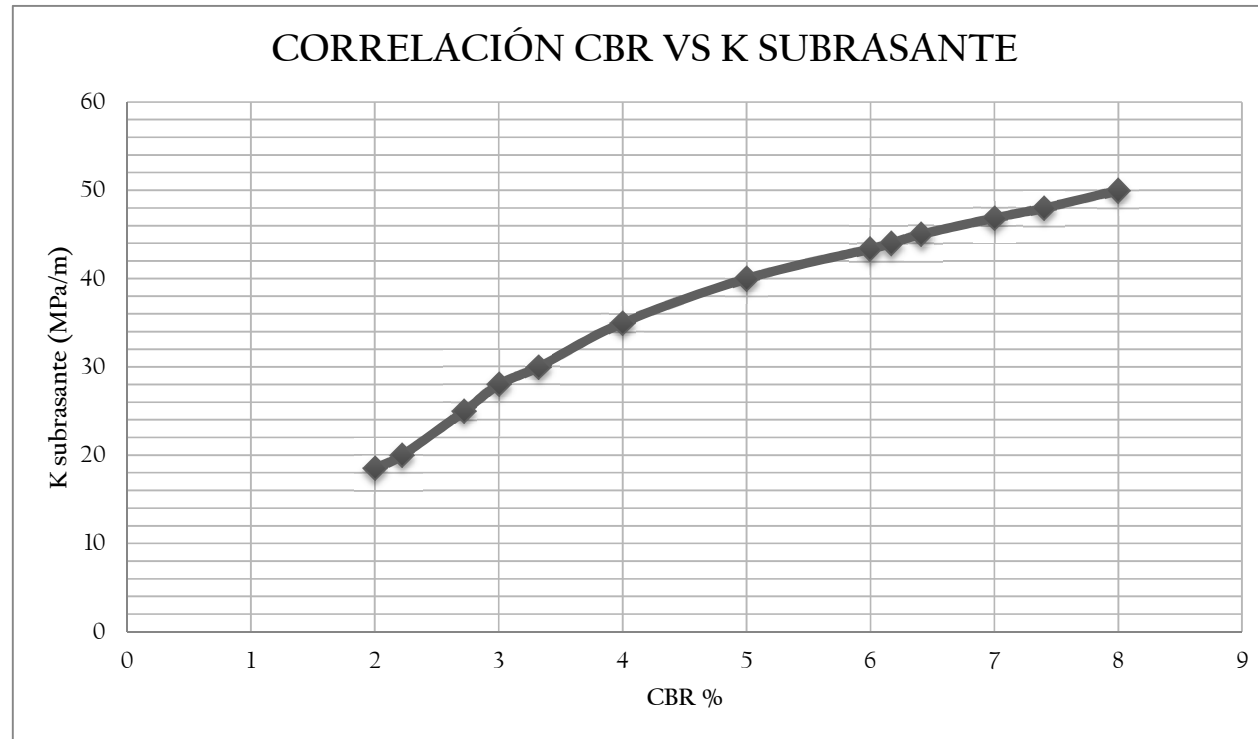
GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	


Anexo 3.2.2 Clasificación de suelos según la metodología AASHTO.

Clasificación General	Materiales Granulares (30% o menos pasa tamiz #200)							Materiales limo – arcillosos (Más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No 10 (2.00 mm)	50 Máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No 40 (425 µm)	30 Máx	-	51 Min	-	-	-	-	-	-	-	-
No 200 (75 µm)	15 Máx	25 Máx	10 Máx	35 Máx	35 Máx	35 Máx	35 Máx	35 Máx	36 Min	36 Min	36 Min
Consistencia											
Limite líquido								40 Máx	41 Min	40 Máx	41 Min
Índice de plasticidad	6 Máx	N.P						10 Máx	10 Máx	11 Min	11 Min
Tipos de materiales característicos	Cantos, Grava y Arena		Arena Fina	Grava y Arena limoarcillosa				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación	Excelente a Bueno							Regular a Malo			

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Anexo 3.2.3.a CBR vs K para suelos A-5 A-6 y A-7 de la clasificación AASHTO.



GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

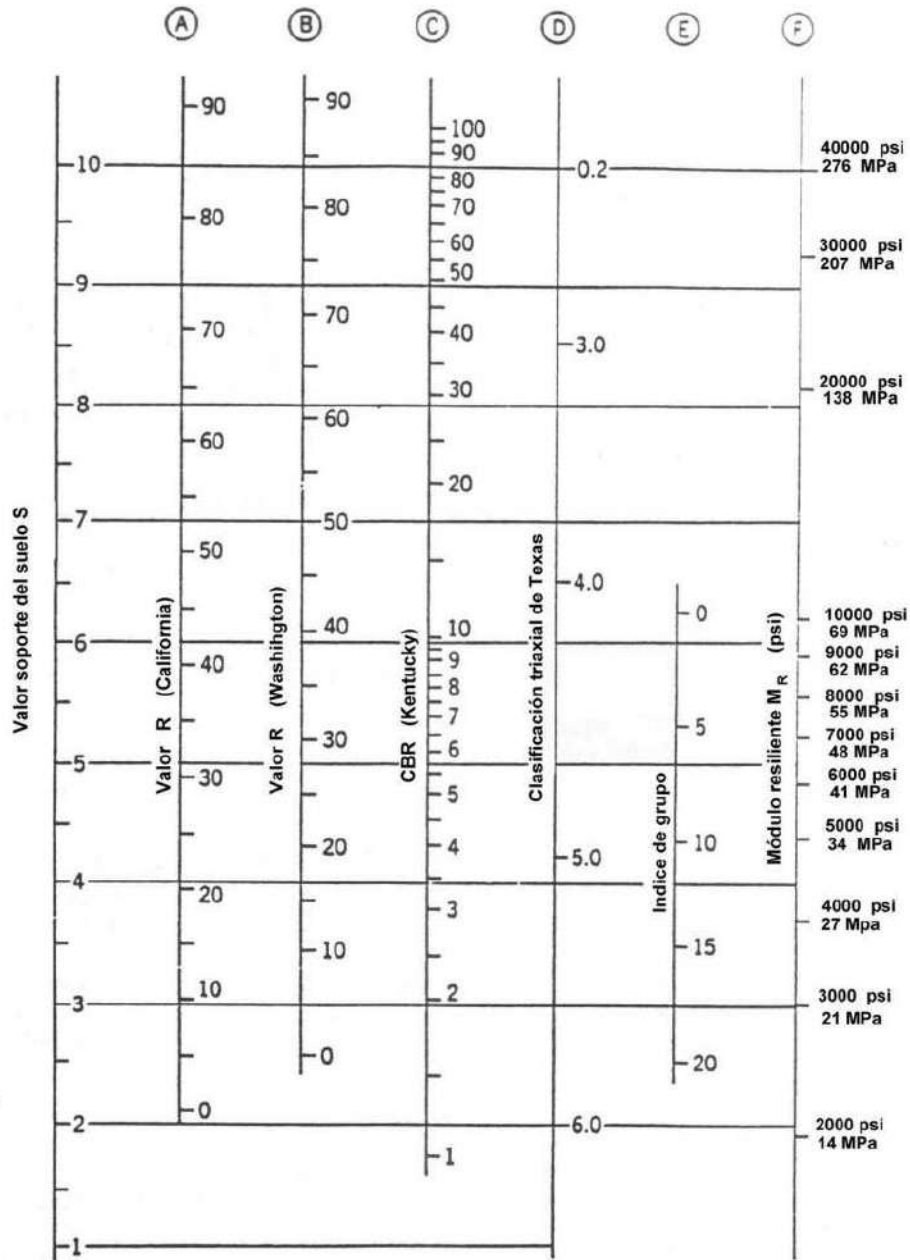

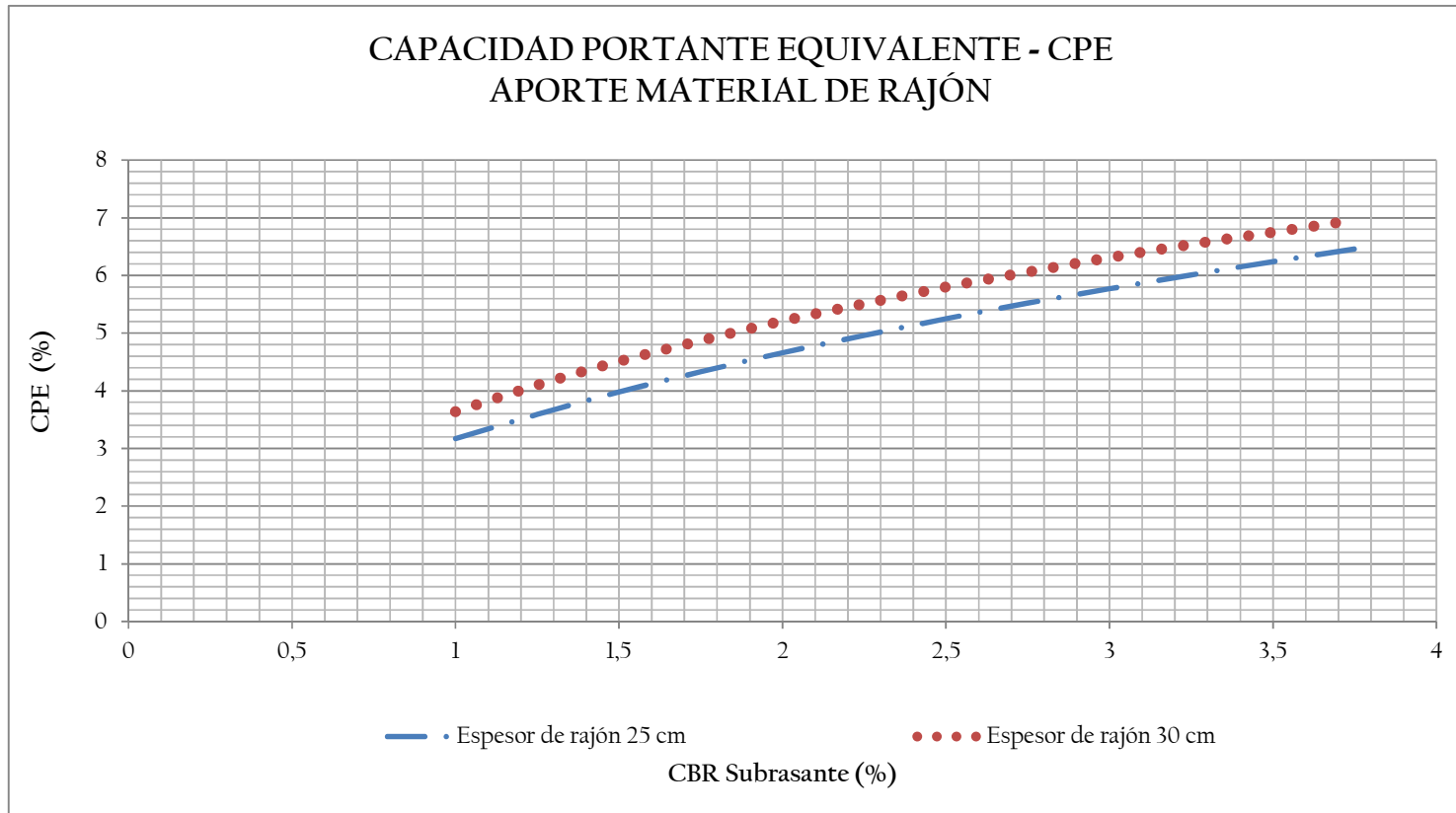


Figura 3.6 Tomado de manual Centro Americano para el diseño de pavimentos ⁶

⁶ (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional; Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUJC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Anexo 3.2.4.2 Variación de la Capacidad Portante Equivalente utilizando material de rajón para espesores de 25 y 30 cm.





Capítulo 4:
TRÁNSITO EN VÍAS LOCALES

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

4. TRÁNSITO EN VÍAS LOCALES

4.1 Aspectos generales

En general, el tránsito influye de manera directa en el diseño de las estructuras de pavimento. El número y el peso de los ejes que pasan en el período de diseño imponen una agresividad o daño a la estructura. En una vía local este parámetro de diseño influye en mayor magnitud, puesto que el tiempo de aplicación de la carga es mayor debido a que la velocidad de diseño es inferior si se compara con vías principales.

La evaluación del tránsito tiene en cuenta la clasificación y configuración de los vehículos, que permite diferenciar el flujo vehicular que puede circular en este tipo de vías. La clasificación de los vehículos se realiza acorde con su uso, comercial o no, y a su peso, vehículos livianos y pesados. Para uso de esta Guía se consideran vehículos pesados aquellos con una carga mayor neta a 3.5 toneladas.

La clasificación asociada al uso de los vehículos define la distribución de tránsito en una vía local. Por su parte, la clasificación según la carga permite evaluar el daño que los vehículos pesados imponen a la estructura de pavimento.

En cuanto a su configuración, los vehículos pesados se clasifican por el número y tipo de eje que poseen (Resolución 4100 de 2004 modificada – Resolución 1782 de 2009 – Ministerio de Transporte)¹. Para vías locales, se estima que pasarán vehículos tipo 2 y tipo 3 ver Tabla 4.1, puesto que vehículos pesados de una mayor clasificación necesitarían de condiciones geométricas amplias difíciles de encontrar en este tipo de vías. No obstante, si este caso se presenta, se tendrá que evaluar el tránsito como un caso particular al igual que el diseño de pavimentos, ya que el alcance de esta Guía no incluye tal tipo de vehículos.


En el presente capítulo se tratarán todos los aspectos de tránsito (estudios de tránsito, vehículos, velocidad y vida útil de diseño) relacionados con el diseño de las estructuras de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito y vías locales en Bogotá D.C.

4.2 Clasificación y configuración de los vehículos

Los vehículos de diseño son los automotores más representativos en el tránsito existente o proyectado. Estos deberán satisfacer los requerimientos exigidos en el diseño geométrico, asociados principalmente a sus dimensiones y sus trayectorias en maniobras y recorridos. La selección de este parámetro de diseño pretende tipificar algunas dimensiones y características relacionadas con los radios de giro y sobreanchos.

Desde el punto de vista de la ingeniería de pavimentos, el vehículo de diseño se caracteriza según su capacidad de carga y su uso. De acuerdo al uso, se clasifican en vehículos livianos y vehículos pesados, dentro de los que se encuentran los vehículos de emergencia, vehículos proveedores y de servicios y vehículos de transporte. En cuanto la capacidad de carga, se tendrá en cuenta la configuración de los ejes y la capacidad de carga legal permitida, acorde con lo establecido por la Resolución 4100 de 2004 modificada – Resolución 1782 de 2009 – Ministerio de

¹ (Ministerio de Transporte, 2009)

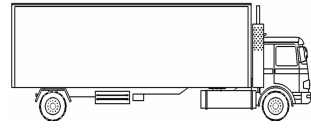
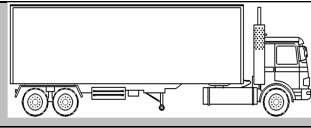
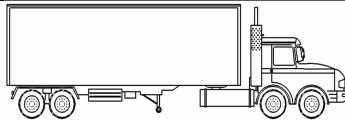
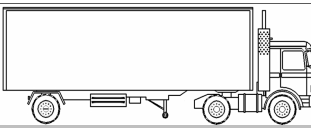
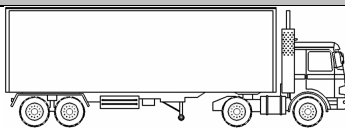
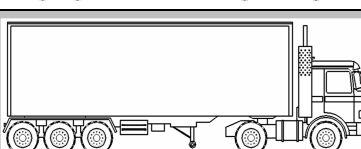
GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C				
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0		

Transporte. Para el diseño de las estructuras de pavimento, se consideran vehículos livianos aquellos cuyo peso es inferior a 3.5 t y vehículos pesados aquellos de peso mayor a 3.5 t.


A continuación se presenta la tipología y la descripción de cada una de las clases de vehículos de diseño. Las características de los mismos se presentan más ampliamente en la Guía de Diseño Geométrico:

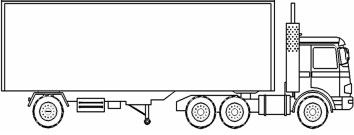
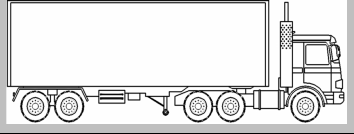
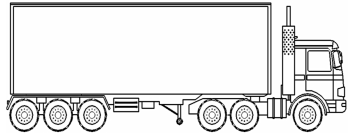
- a. **Vehículos Livianos (V.L):** Este grupo de vehículos hace referencia principalmente a automóviles convencionales de dos ejes simples con sistema de rueda simple, cuyas trayectorias no inciden drásticamente en la configuración geométrica de la infraestructura vial.
- b. **Vehículos Pesados (V.P):** Para efectos de la presente Guía, se incluye dentro de los vehículos pesados a los automotores de carga, específicamente a los tracto-camiones. Asimismo, se consideran pesados los vehículos de emergencia, los proveedores y de servicios y los de transporte de pasajeros.

Tabla 4.1 Distribución de pesos máximos por eje en las diferentes configuraciones de vehículos de carga, según la Resolución 4100 de 2004 modificada Resolución 1782 de 2009 – Ministerio de Transporte².

Tipo	Descripción general	Configuración esquemática del vehículo	Peso máximo (t)			
			Total	Por eje		
2	Camión, dos ejes simples, seis llantas.		17.00	6.00	11.00	0.00
3	Camión, un eje simple, un eje tandem, diez llantas.		28.00	6.00	22.00	0.00
4*	Camión, dos ejes simples, un eje tandem, doce llantas.		34.00	12.00	22.00	0.00
2S1*	Tracto-camión con semirremolque, tres ejes simples, diez llantas.		27.00	5.00	11.00	11.00
2S2*	Tracto-camión con semirremolque, dos ejes simples, un eje tandem, catorce llantas.		32.00	5.00	10.00	17.00
2S3*	Tracto-camión con semirremolque, dos ejes simples, un eje tridem, dieciocho llantas.		40.50	6.00	11.00	23.50

² (Ministerio de Transporte, 2009)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.				
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0		

Tipo	Descripción general	Configuración esquemática del vehículo	Peso máximo (t)			
			Total	Por eje		
3S1*	Tracto-camión con semirremolque, dos ejes simples, un eje tándem, catorce llantas.		29.00	5.00	14.00	10.00
3S2*	Tracto-camión con semirremolque, un eje simple, dos ejes tándem, dieciocho llantas.		48.00	5.00	21.50	21.50
3S3*	Tracto-camión con semirremolque, un eje simple, un eje tándem, un eje tridem, veintidós llantas.		52.00	6.00	22.00	24.00

*El alcance de esta Guía NO incluye este tipo de vehículos.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4.1 muestra los tipos de vehículos que transitan generalmente por las vías locales y que se tienen en cuenta en el análisis de las estructuras de pavimento. Si el tránsito que circula por la vía local presenta una configuración tipo 4, 2S1, 2S2, 2S3, 3S1, 3S2 o 3S3 (Resolución 4100 de 2004 modificada Resolución 1782 de 2009 – Ministerio de Transporte), se debe realizar un estudio de tránsito específico y diseñar una estructura de pavimento para estas condiciones, puesto que, en tal caso, el uso de la presente Guía no será adecuado.



Figura 4.1 Vehículos típicos que circulan en las vías locales

Para realizar los aforos de tránsito, se tendrán en cuenta también los vehículos cuyo peso sea mayor a 3.5 t. En la Tabla 4.2 se muestran los ejemplos que deben considerarse en la determinación de los vehículos pesados.




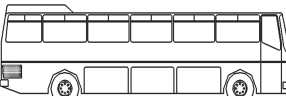
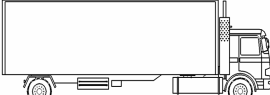
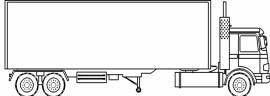
GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 4.2 Vehículos Pesados en vías locales

Configuración tipo	Esquema del vehículo	Peso Bruto (t)
Camioneta		3.0–3.6
Van		3.2–3.9
Bus		17.0
2		17.0
3		28.0

4.3 Caracterización del tránsito

El propósito de este procedimiento es cuantificar el tránsito existente para estimar el número acumulado de ejes simples equivalentes que circularán por el carril de diseño durante un determinado período de diseño, para así establecer los espesores de las capas que constituyen el pavimento. Con este objetivo y dentro del marco de este documento, se exige como mínimo un conteo de vehículos de al menos una semana, cuyos detalles se explican en el siguiente inciso.

En la figura siguiente, se puede apreciar esquemáticamente la metodología para determinar el Tránsito Promedio Diario (TPD), objetivo final de la caracterización del tránsito.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto Desarrollo Urbano</small>
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	



Figura 4.2 Esquema para la elección del tránsito de diseño

4.3.1 Aforos de tránsito

Estos estudios consisten en cuantificar la cantidad de vehículos que transitan por un punto determinado de una vía e, igualmente, realizar una estimación de la composición vehicular. Esta última se divide en tres categorías: automóviles, autobuses y camiones, y permite estimar los porcentajes respecto al tránsito en general. Es usual hacer unas subdivisiones en la categoría de camiones, de acuerdo al número de ejes y configuración tractor-remolque o remolques de los vehículos, según lo establecido en la configuración de vehículos.

A partir de los datos tomados se realiza una estimación del tránsito existente y proyectado mediante modelos matemáticos de crecimiento. Sin embargo, para el empleo de esta Guía no serán necesarios dichos modelos.

Los resultados de los aforos son utilizados principalmente para conocer el Tránsito Promedio Diario Anual que pasa por un punto dado de una vía, y que será utilizado para calcular los espesores de las capas de las estructuras de pavimento diseñadas.

Para la realización de estos conteos, se emplean formatos como el que se presenta a continuación y cuya ampliación puede ser encontrada en el Anexo 4.3.1





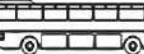
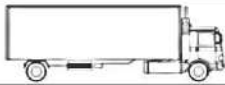
GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Tabla 4.3 Tipo de tabla pertinente para la toma de información de aforos

FECHA CONTEO :						
HORA	VEHICULOS PARTICULARES				2	3
	AUTOMOVIL	CAMPERO O CAMIONETA	VAN PASAJEROS	BUS BUSETA		
						
6-7						
7-8						
8-9						

4.3.2 Estudios Origen – Destino

Estos estudios consisten en obtener información sobre los viajes que realizan los vehículos que pasan por un punto de una vía, principalmente sobre su origen y su destino. Los estudios generalmente se hacen cuatro días de la semana, entre días hábiles y fines de semana.

La importancia de ellos radica en:

- Son un soporte de los aforos de tránsito, puesto que la información recaudada en las encuestas origen – destino complementa aquella obtenida en los conteos de vehículos.
- Cuando la vía local a construir se encuentra cerca de una vía de carácter arterial, la primera se convierte en una ruta de escape al momento de congestiones vehiculares en esta última. De esta manera, es necesario establecer la cantidad de vehículos que podrían tomar esta vía como ruta alterna, teniendo en cuenta la funcionalidad de dicha vía local como posible camino hacia su destino.

En los estudios origen – destino también se recauda información sobre los tipos de vehículos, tipo y cantidad de carga o número de pasajeros.

4.4 Determinación del tránsito de diseño

Con base en los estudios de tránsito se identificará la categoría de tránsito asociada a utilizar en esta Guía. En la Tabla 4.4 se presentan las tres categorías determinadas y que son sub – clasificación de la establecida por el IDU, mencionada en el Capítulo de Antecedentes del presente documento.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 4.4 Categoría de tránsito de diseño

Denominación	Número de vehículos comerciales día	NEE (Número de ejes equivalente de 8.2 T) para 20 años – Pavimento rígido	NEE (Número de ejes equivalente de 8.2 T) para 10 años – Pavimento flexible y articulado
T1-1	$VDP_0 \leq 50$	$NEE \leq 2.345.000$	$NEE \leq 615.000$
T2-1	$50 < VDP_0 \leq 100$	$2.345.000 < NEE \leq 4.690.000$	$615.000 < NEE \leq 1.235.000$
T2-2	$100 < VDP_0 \leq 150$	$4.690.000 < NEE \leq 7.000.000$	$1.235.000 < NEE \leq 1.855.000$

4.5 Velocidad de diseño

En Bogotá las velocidades varían según el tipo de vía en el cual se transita y según las condiciones que presentan las estructuras. Así, vías con altos índices de comodidad crean en el usuario la percepción seguridad lo que conlleva a un aumento de la velocidad, mientras las vías en mal estado, o con estados de congestión altos, reducen los promedios de paso. Generalmente los valores fluctúan entre 30 y 60 km/h dentro del área urbana, sin embargo, estos no pueden representarse de manera veraz en un diseño ya que en la mayor parte de las vías locales esos límites no se cumplen. Por otro lado, el estado crítico del pavimento se potencia cuando los vehículos se encuentren como cargas estáticas durante prolongados periodos de tiempo. Con estas condiciones se podrán proponer estructuras durables con buenos niveles de servicio, comodidad y eficiencia.

Con el fin de analizar las velocidades reales de circulación en Bogotá y, tomando como base el estudio de movilidad realizado por el Programa de Investigación en Tránsito y Transporte de la Universidad Nacional (PIT)³, así como datos de la Secretaría de Movilidad, se llevó a cabo un estudio en cuatro zonas de la ciudad para los siguientes tipos de modos de transporte, y de esta forma tener un espectro amplio de vehículos. (Ver Anexo 4.5).

- *Transporte Particular (TP)*
- *Transporte Público Colectivo (TPC)*
- *Transporte Público Individual (TPI)*

La Figura 4.3 presenta los datos obtenidos para los corredores principales que pueden reflejar las velocidades en las vías locales. De esta manera, se observa que el rango de velocidades oscila entre 20 y 35 km/h.

³ (Programa de Investigación de Tránsito y Transporte (PIT), 2011-2012)

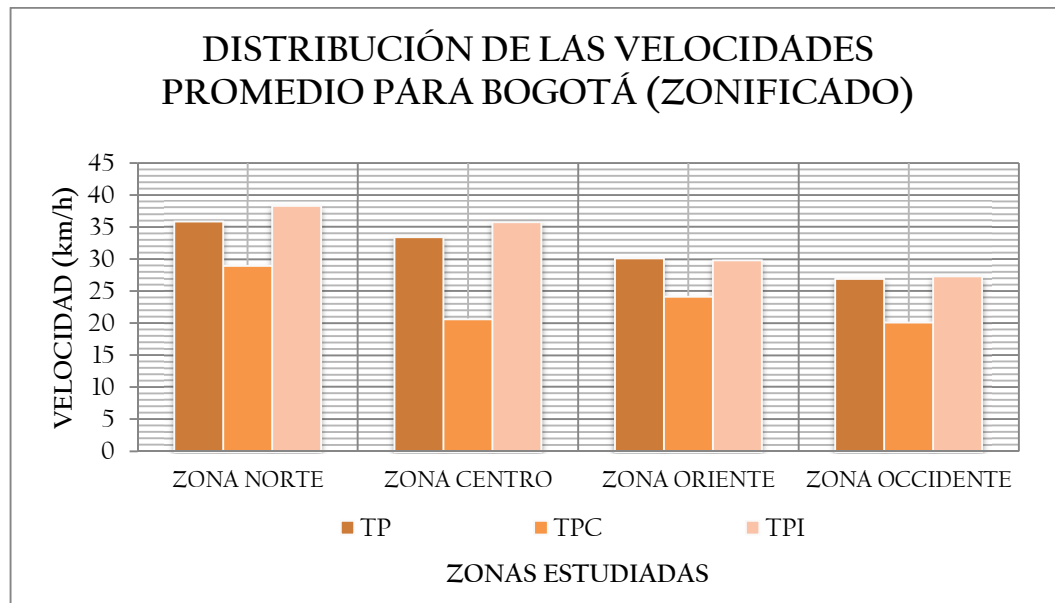


Figura 4.3 Análisis de velocidades en Bogotá por zonas

(Fuente: Programa de Investigación en Tránsito y Transporte PIT – Universidad Nacional de Colombia, 2011 – 2012)


Con base en la información anterior y para realizar los diseños de las estructuras de pavimentos a emplear en esta Guía, se estableció que la velocidad de diseño está comprendida en un rango entre 20 y 40 km/h. Igualmente, se consideró que:

- La velocidad reglamentaria para vías locales es de 30 km/h de acuerdo con lo establecido en el Decreto 015 del 6 de enero de 2011 del Ministerio de Transporte.
- Las velocidades asociadas con el diseño geométrico para los diferentes tipos de terreno que se presentan en la ciudad varían entre 10 y 40 km/h (
- Tabla 4.5).

Tabla 4.5 Velocidad de Diseño de Referencia Vs Jerarquía de la vía y tipo de terreno

Jerarquía de la Vía	TIPO DE TERRENO		
	Plano	Ondulado	Montañoso
Vías Locales	30–40	20–30	10–20

- Las velocidades más bajas son críticas para el comportamiento de las estructuras de pavimento.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

4.6 Periodo de diseño


Es el tiempo para el que se estima que la estructura de pavimento va a funcionar con un nivel de servicio adecuado, sin requerir actividades de rehabilitación.

El análisis de esta Guía tendrá en cuenta los periodos de diseño presentados en la Tabla 4.6, considerando las estrategias de administración vial y lo establecido en el Anexo Técnico de Dirección Técnica Estratégica del IDU (2012). Dicho documento dispone que para reconstrucción, el periodo de diseño para estructuras de pavimento flexible no podrá ser inferior a 10 años, y para estructuras de pavimento rígido no será menor a 20 años.

Tabla 4.6 Periodo de diseño

Tipo de pavimento	Periodo de diseño (años)
Flexible	10
Rígido	20
Articulado	10


EL NÚMERO DE VEHÍCULOS COMERCIALES DETERMINADOS A PARTIR DEL CONTEO REALIZADO PERMITE DEFINIR EL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES, SEGUNDO PARÁMETRO NECESARIO PARA EL USO DE LOS CATÁLOGOS DE ESTRUCTURAS PRESENTADOS EN ESTA GUÍA.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	











ANEXOS CAP.4: TRÁNSITO EN VÍAS LOCALES

Anexo 4.3.1 Tabla para la realización de aforos de tránsito.


Anexo 4.5 Velocidades estimadas para vías arteriales en Bogotá.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GU-IC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Anexo 4.3.1 Tabla para la realización de aforos de tránsito.


CONTEO DE TRÁNSITO																	
FECHA CONTEO :	VEHICULOS PARTICULARES				VEHICULOS COMERCIALES												
HORA	AUTOMÓVIL	CAMPERO O CAMIONETA	VAN PASAJEROS	BUS BUSETA	CAMIONES						OTROS	OBSERVACIONES	RESPONSABLE				
	2	3	4	2-S1	2-S2	2-S3	3-S1	3-S2	3-S3								
6-7																	
7-8																	
8-9																	
9-10																	
10-11																	
11-12																	
12-13																	
13-14																	
14-15																	
15-16																	
16-17																	
17-18																	
18-19																	
19-20																	

El conteo de los diferentes tipos de vehículos se registrará con una línea así : (/). Se recomienda tener orden en los datos ya que esta información es importante, GRACIAS!!

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C					
CÓDIGO GLHC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0			

Anexo 4.5 Velocidades estimadas para vías arteriales en Bogotá.

ANÁLISIS DE VELOCIDADES						
	Calzada	Hora	Distancia total (km)	Velocidad promedio (km/h)		
				TP	TPC	TPI
ZONA NORTE						
Autopista Norte	NORTE – SUR	a.m.	7.29	46.0	36.4	46.3
	NORTE – SUR	m	7.29	45.5	35.1	53.9
	NORTE – SUR	p.m.	7.29	45.9	33.5	52.5
Autopista Norte	SUR – NORTE	a.m.	7.29	53.1	36.0	61.0
	SUR – NORTE	m	7.29	39.9	33.6	35.1
	SUR – NORTE	p.m.	7.29	34.3	33.9	34.2
Promedio del corredor				44.1	34.7	47.2
Calle 127	OESTE – ESTE	a.m.	5.89	30.3	22.8	32.9
	OESTE – ESTE	m	5.89	28.4	23.7	28.9
	OESTE – ESTE	p.m.	5.89	20.4	18.7	21.8
Calle 127	ESTE – OESTE	a.m.	5.89	29.4	25.7	32.4
	ESTE – OESTE	m	5.89	28.5	21.7	29.4
	ESTE – OESTE	p.m.	5.89	22.1	17.1	21.1
Promedio del corredor				26.5	21.6	27.8
Promedio de la zona				36.0	28.7	38.2
ZONA CENTRO						
Calle 26	OESTE – ESTE	a.m.	10.945	50.5	26.5	53.0
	OESTE – ESTE	m	10.945	48.6	25.1	54.0
	OESTE – ESTE	p.m.	10.945	43.4	24.4	47.7
Calle 26	ESTE – OESTE	a.m.	10.945	49.9	30.0	55.0
	ESTE – OESTE	m	10.945	50.7	27.3	52.5
	ESTE – OESTE	p.m.	10.945	38.8	24.0	40.1
Promedio del corredor				47.0	26.2	50.4
Calle 19	OESTE – ESTE	a.m.	3.82	17.9	17.1	18.8
	OESTE – ESTE	m	3.82	14.5	13.4	15.9
	OESTE – ESTE	p.m.	3.82	16.3	14.7	17.8
Calle 19	ESTE – OESTE	a.m.	3.82	20.9	17.2	21.2
	ESTE – OESTE	m	3.82	14.5	12.2	14.9
	ESTE – OESTE	p.m.	3.82	16.6	12.2	15.0
Promedio del corredor				16.8	14.5	17.3

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C					
CÓDIGO GLHC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0			

ANÁLISIS DE VELOCIDADES

	Calzada	Hora	Distancia total (km)	Velocidad promedio (km/h)		
				TP	TPC	TPI

Promedio de la zona				33.0	20.8	35.1
----------------------------	--	--	--	------	------	------

ZONA ORIENTAL

Carrera 7ma	NORTE – SUR	a.m.	15.35	35.1	25.6	32.5
	NORTE – SUR	m	15.35	26.0	20.6	24.7
	NORTE – SUR	p.m.	15.35	29.0	23.0	28.3
Carrera 7ma	SUR – NORTE	a.m.	15.35	35.2	27.9	34.8
	SUR – NORTE	m	15.35	26.6	23.0	26.7
	SUR – NORTE	p.m.	15.35	29.2	24.7	32.4

Promedio del corredor				30.2	24.1	29.9
------------------------------	--	--	--	------	------	------

Promedio de la zona				30.2	24.1	29.9
----------------------------	--	--	--	------	------	------

ZONA OCCIDENTAL


Carrera 7ma	NORTE – SUR	a.m.	23.81	26.8	20.9	29.9
	NORTE – SUR	m	23.81	31.4	21.6	32.2
	NORTE – SUR	p.m.	23.81	25.1	16.6	24.7
Carrera 7ma	SUR – NORTE	a.m.	23.81	25.8	19.4	25.2
	SUR – NORTE	m	23.81	29.1	23.7	28.4
	SUR – NORTE	p.m.	23.81	24.1	18.8	24.1

Promedio del corredor				27.0	20.2	27.4
------------------------------	--	--	--	------	------	------

Promedio de la zona				27.0	20.2	27.4
----------------------------	--	--	--	------	------	------



Capítulo 5:
CLIMA Y DRENAJE

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

5. CLIMA Y DRENAJE

Las variables climáticas generan cambios en los gradientes de temperatura al interior de las estructuras de pavimento. Dependiendo del tipo de material, estas variaciones pueden generar deformaciones permanentes (ahuellamientos) en materiales visco-elásticos y problemas de alabeo y/o fisuración en materiales tratados con ligantes hidráulicos. Por su parte, el agua de escorrentía e infiltración puede afectar las propiedades mecánicas de los materiales no tratados, disminuyendo su resistencia.

En este Capítulo se describen las variables climáticas y los tipos de drenaje que permitirán la evacuación de la precipitación y/o el agua de escorrentía en la vía, con el fin de garantizar la seguridad de los usuarios y la integridad de las estructuras.

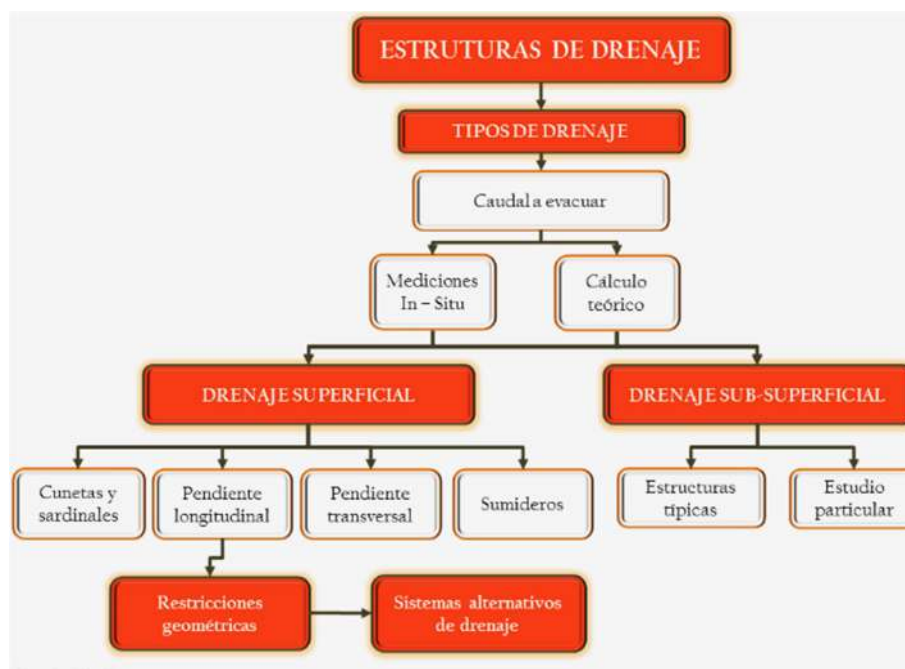



Figura 5.1 Esquema de elección de las estructuras de drenaje

El clima es un parámetro fundamental en la vida útil de los pavimentos. Se puede reconocer que los dos factores climáticos más importantes son la temperatura y la presencia de agua. La variación y los efectos que generan en el pavimento se describen en los siguientes incisos.

Teniendo en cuenta la importancia de las condiciones climáticas, se hace necesario detectar la variación espacial y temporal del clima en la ciudad de Bogotá. Así, de acuerdo al atlas ambiental publicado por la Secretaría de Ambiente en el año 2006¹, Bogotá tiene una distribución espacial en sus variables climáticas, particularmente en la precipitación. A continuación se muestra la tendencia general del comportamiento de la temperatura y precipitación en la ciudad.

¹ (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C; Secretaría Distrital de Ambiente, 2006)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

5.1 Temperatura

La temperatura atmosférica es una característica ambiental que afecta de manera directa el comportamiento de los materiales asfálticos, debido a que estos tienden a comportarse como un fluido viscoso a altas temperaturas y a bajas como un sólido elástico. En las condiciones de trabajo normales, el asfalto se comporta como un material intermedio.

No obstante, para los materiales tratados con ligantes hidráulicos el gradiente de temperatura no es lineal y varía constantemente, lo anterior puede generar el fenómeno del alabeo para pavimentos con losas de concreto hidráulico.

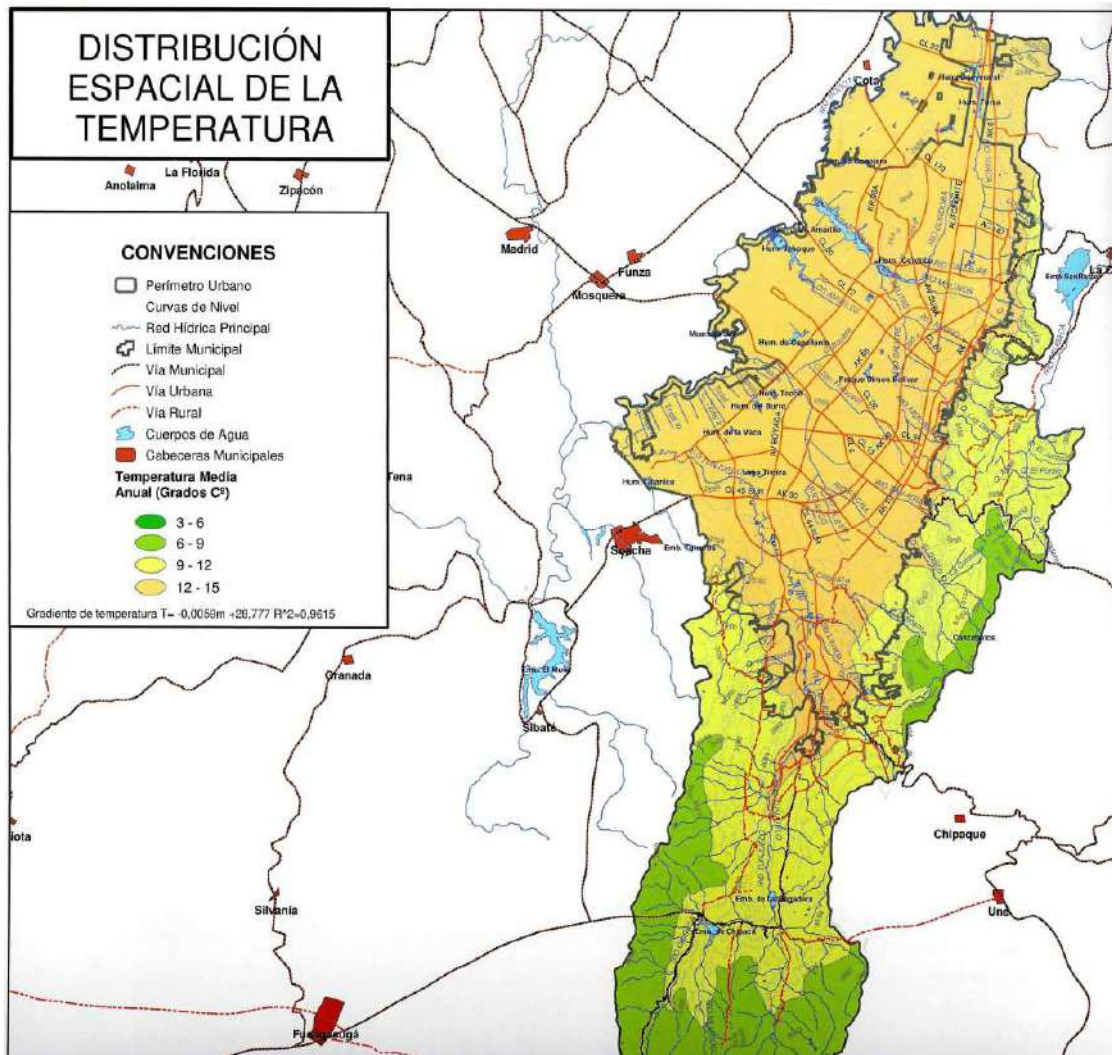



Figura 5.2 Distribución espacial de la temperatura en zonas urbanas para Bogotá D.C²

² (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C; Secretaría Distrital de Ambiente, 2006)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Teniendo en cuenta los registros comprendidos entre los años 1998 y 2009, en Bogotá, se observa que existen variaciones de la temperatura media para las diferentes localidades. La localidad de Engativa en el sector de las Ferias registra temperaturas medias de 15.2 °C mientras que la localidad de San Cristobal en el sector de Vitelma registra temperatura de 11.8 °C. Estas variaciones aunque no son significativas se deberán tener en cuenta en el momento de ejecución del proyecto³.

5.2 Precipitación

La precipitación es cualquiera de las formas en que las partículas de agua, sean líquidas o sólidas, caen de la atmósfera y alcanzan el suelo.⁴ El valor de la precipitación determina el tipo y magnitud de las obras de drenaje necesarias para evitar los fenómenos asociados con daños en el pavimento, como son: la reducción de las capacidades mecánicas propias de los materiales y el transporte de contaminantes. En Bogotá se tienen dos picos en el comportamiento pluviométrico. Estos picos se presentan en los meses de alta pluviosidad y se deben al régimen bimodal al que se ve sometida la ciudad, siendo acrecentados por fenómenos como la niña y el chorro del Chocó.

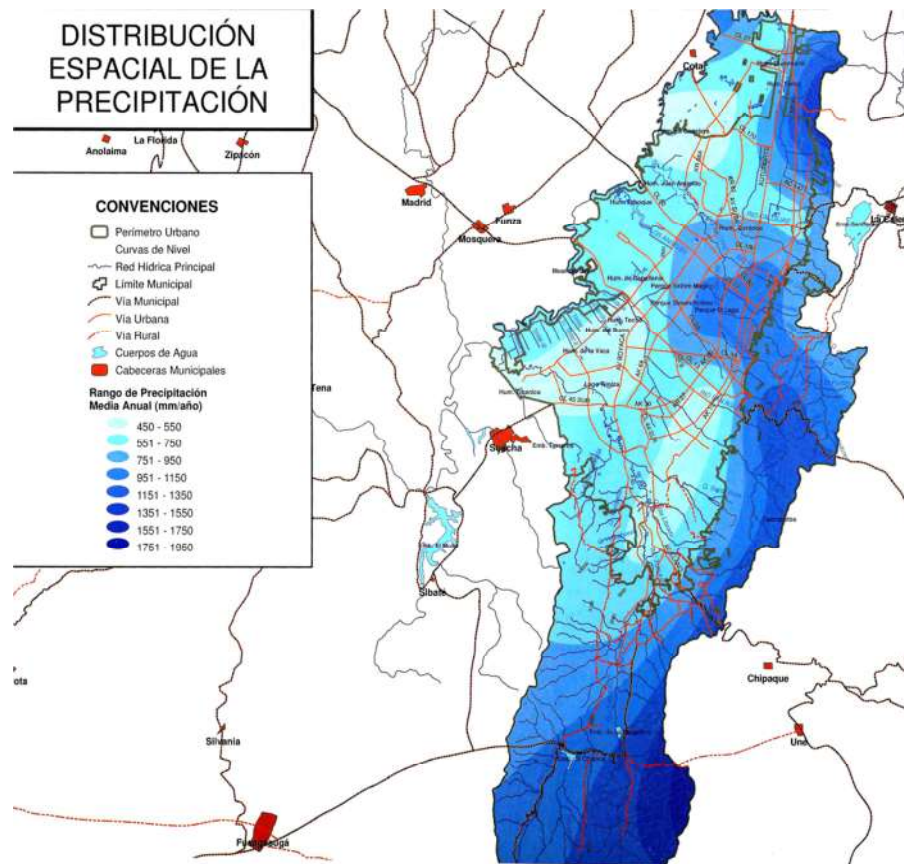



Figura 5.3 Valores de precipitación en zonas urbanas en Bogotá D.C.⁵.

³ (Secretaría distrital de Ambiente, 2011)

⁴ (National Snow and Ice Data Center, 2012)

⁵ (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Secretaría Distrital de Ambiente, 2006)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

La presencia de agua en las capas granulares se debe a fenómenos como la existencia de grietas en la capa superficial del pavimento, obras de drenaje permeables y ascensión capilar. Se ha reportado que la presencia de agua puede reducir de manera importante la capacidad estructural del pavimento y se constituye en la variable climática más agresiva.⁶ Esto debido a los efectos de la succión.

5.2.1 Succión

La succión es una variable que puede incrementar los esfuerzos existentes entre las partículas sólidas (capilaridad). Sin embargo, el efecto de la succión en un suelo no puede simplemente representarse con un incremento tensional entre las partículas, ya que fenómenos como el colapso o la expansividad no pueden explicarse de esta manera. De otra parte, el comportamiento mecánico de los suelos no saturados (bases y subbases granulares con materiales no tratados) depende de la succión matricial, y esta a su vez de la capilaridad y la adsorción. La tensión superficial del agua es un mecanismo que explica la capilaridad en este tipo de suelos (Murillo, 2006).

5.2.2 Viento

La vida útil de la losa de concreto hidráulico puede verse afectada por efecto del viento. La pérdida de humedad asociada a condiciones de temperatura y humedad relativa pueden acelerar proceso de agrietamiento prematuro en el material. Por lo anterior es importante tener en cuenta las recomendaciones establecidas por la Portland Cement Association, 1990.

5.3 Recomendaciones de drenaje

Las estructuras de drenaje tienen como función evacuar el exceso de agua en la estructura de un pavimento, evitando la presencia de la misma, la cual, puede causar daños tempranos y llevar a fallas funcionales o estructurales.

Adicionalmente, puede presentarse el efecto de hidropulso que se genera para velocidades superiores a 50 km/h en terreno plano⁷. Sin embargo sí se presentan condiciones de pendientes altas y dependiendo de la dirección del flujo vehicular este fenómeno se puede presentar a velocidades diferentes y será responsabilidad del usuario de esta Guía, evaluar los riesgos inducidos por este fenómeno para cada caso particular. Teniendo en cuenta las restricciones geométricas asociadas a las secciones viales consideradas en esta Guía, este fenómeno no aplica para estas condiciones. Es importante resaltar que las recomendaciones de drenaje mínimas, incluidas en este documento, permiten minimizar los espesores de las láminas de agua sobre la vía.

Los tipos de daño que puede producir el agua son⁸ :


- Reducción de la resistencia de los materiales que conforman la subrasante y las capas de base y subbase.
- Cambios de volumen en suelos expansivos que producen deformaciones diferenciales en el pavimento.
- Stripping del asfalto en los pavimentos flexibles.
- Flujo de los materiales finos hacia los materiales de base y subbase, generando una reducción de la conductividad hidráulica.

Las obras de drenaje se pueden clasificar en:

⁶ (Quintana & Ansemil, 2010)

⁷ (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2009)

⁸ (Siddhartha, Agarwal, & Shrivastava, 2012)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

- Drenaje superficial.
- Drenaje sub-superficial.

5.3.1 Drenaje superficial.

En esta Guía el drenaje superficial se tomará para la sección de la calzada de la vía garantizando que no se presenten inundaciones o encharcamientos. Además, deberá cumplir las siguientes condiciones geométricas mínimas:

- Pendiente transversal de mínimo 2,0 %⁹.
- Pendiente longitudinal mínima de 0,3 %¹⁰.

Cuando la geometría de las intersecciones o cualquier otra condición dificulten el cumplimiento de la pendiente longitudinal mínima, se podrán implementar soluciones de tipo sardinel cuneta.

LOS SISTEMAS DE SARDINEL-CUNETA DEBERÁN CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CONSIGNADOS EN LA NORMA TÉCNICA DE SERVICIO NS-057 DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (EAAB, 2002).

El espaciamiento y diseño de los sumideros deberá ser determinado por el especialista hidráulico del proyecto de acuerdo a la Norma Técnica de Servicio NS-047 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

A continuación se presentan los esquemas de estos sistemas de drenaje:

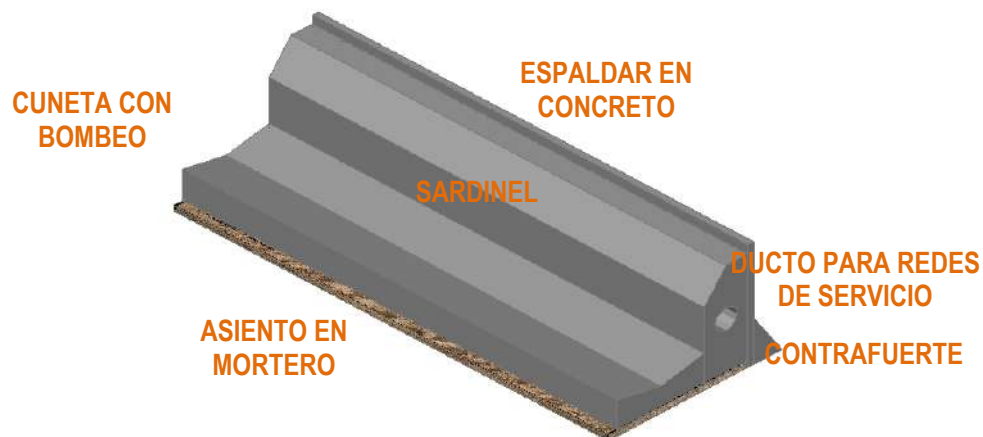


Figura 5.4 Esquema del sistema sardinel cuneta. Adaptado de (EAAB, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2002)

⁹ (Universidad Nacional de Colombia, 2012)

¹⁰ (Universidad Nacional de Colombia, 2012)

5.3.2 Drenaje sub-superficial

El drenaje sub-superficial tiene como propósito principal controlar los niveles freáticos adyacentes a la estructura de pavimento. También busca eliminar cualquier volumen de agua que se infiltre a través de las capas de la misma. Este tipo de drenaje deberá garantizar la evacuación del agua en la vía, para lo que se deberá estimar la capacidad hidráulica que dependerá de la precipitación, la escorrentía de zonas aledañas y/o cualquier aspecto particular del proyecto. La capacidad hidráulica de drenaje está asociada al diámetro de la tubería a emplear y al tamaño y material del filtro. A continuación se presentan valores de capacidades hidráulicas y el diámetro de diseño de la tubería.

Tabla 5.1 Capacidad hidráulica del alcantarillado

Diámetro de la tubería D (in)	Capacidad hidráulica (caudal máximo) l/s
4	2.13
6	6.28
8	13.54

Considerando las condiciones de Bogotá y de los proyectos en los que tiene aplicación esta Guía, se recomienda la construcción de drenajes longitudinales con una pendiente mínima del 0,3 % en tubería PVC perforada. Esta deberá estar envuelta en geotextil que cumpla con los requisitos contenidos en la Norma Técnica de Servicio NS-088 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y rodeada por un filtro compuesto de arena y gravas.

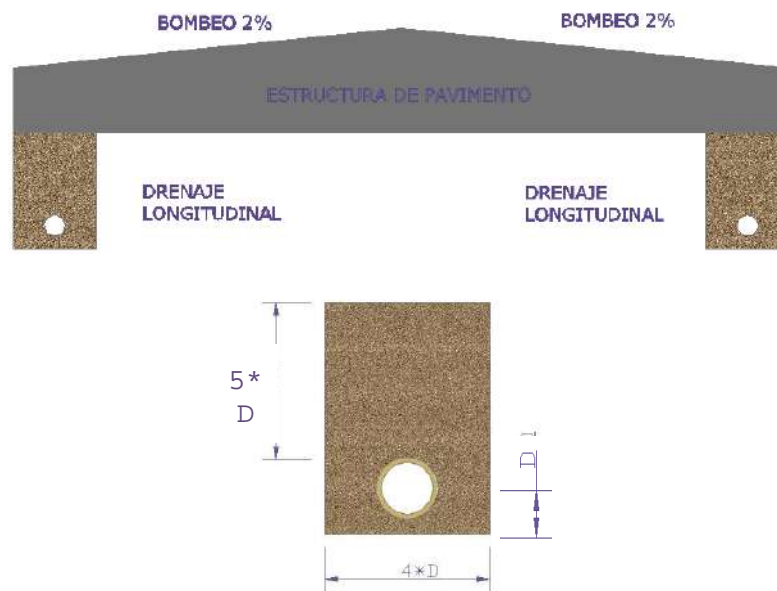



Figura 5.5 Esquema del drenaje propuesto

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Las arenas y gravas que componen el filtro anteriormente descrito deberán cumplir con cualquiera de las siguientes franjas granulométricas, de acuerdo con lo establecido en el sección 610 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras INVIAS 2007.

Tabla 5.2 Especificaciones de filtro¹¹

TAMIZ		PORCENTJE QUE PASA		
NORMAL	ALTERNO	RE-1	RE-2	RE-3
150 mm	6"	100	-	-
100 mm	4"	90-100	-	-
75 mm	3"	80-100	100	-
50 mm	2"	70-95	-	100
25 mm	1"	60-80	91-97	70-90
12.5 mm	1/2"	40-70	-	55-80
9.5 mm	3/8"	-	79-90	-
4.75 mm	No 4	10-20	66-80	35-65
2.00 mm	No 10	0	-	25-50
600 µm	No 30	-	0-40	15-30
150 µm	No 100	-	0-8	0-3
75 µm	No 200	-	-	0-2

EL INGENIERO Y/ USUARIO DE ESTA GUÍA DEBERÁ GARANTIZAR QUE LA ESTRUCTURA SELECCIONADA TENGA LA CAPACIDAD HIDRÁULICA SUFICIENTE PARA EVACUAR EL CAUDAL NECESARIO. PARA DETERMINAR ESTE CAUDAL SE DEBERÁN REALIZAR MEDICIONES IN SITU EN VÍAS ALEDAÑAS O UTILIZAR MÉTODOS TEÓRICOS RECONOCIDOS AMPLIAMENTE. SI NINGUNA DE LAS SIGUIENTES ESTRUCTURAS SE ADAPTA A LAS NECESIDADES DEL PROYECTO SE DEBERÁ REALIZAR UN DISEÑO PARTICULAR SIGUIENDO LOS LINEAMIENTOS CONTENIDOS EN LA NORMA TÉCNICA DE SERVICIO NS-122 DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (EAAB 2002).


¹¹ (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2007)

CERROS ORIENTALES
BASÍLICA DEL SEÑOR DE MONSERRATE



FOTOGRAFÍA: PABLO S VELANDIA P

Capítulo 6:
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

6. MATERIALES EN CAPAS DE PAVIMENTOS

La calidad y durabilidad de las estructuras de pavimento exigen el uso de materiales con características físicas, químicas y mecánicas capaces de resistir los esfuerzos inducidos por el tránsito y el medio ambiente asociados a las condiciones locales de Bogotá. Tradicionalmente se han venido construyendo vías con materiales naturales y/o estabilizados con cemento, cal, emulsiones, asfaltos espumados y asfaltos en caliente, sin embargo los avances en el estudio del comportamiento de los mismos permiten la inclusión de nuevas técnicas, componentes y/o dosificaciones de mezclas diferentes a los empleados en proyectos viales.


En este capítulo se presenta una descripción de los diferentes materiales y su aplicación en las diferentes capas que conforman las estructuras de pavimento. Los materiales aquí descritos deberán satisfacer los requerimientos técnicos establecidos en las Especificaciones Técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público, para Bogotá D.C. (2011) y en la Guía para el Diseño y la Construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos (2005) del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU.



Figura 6.1 Materiales usados en la construcción de estructuras de pavimentos

6.1 Clasificación acorde al origen

Los materiales de construcción utilizados en las capas estructurales de un pavimento pueden ser clasificados de acuerdo a su origen en clases: naturales, estabilizados con ligantes hidráulicos, estabilizados con ligantes bituminosos, sintéticos y químicos.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

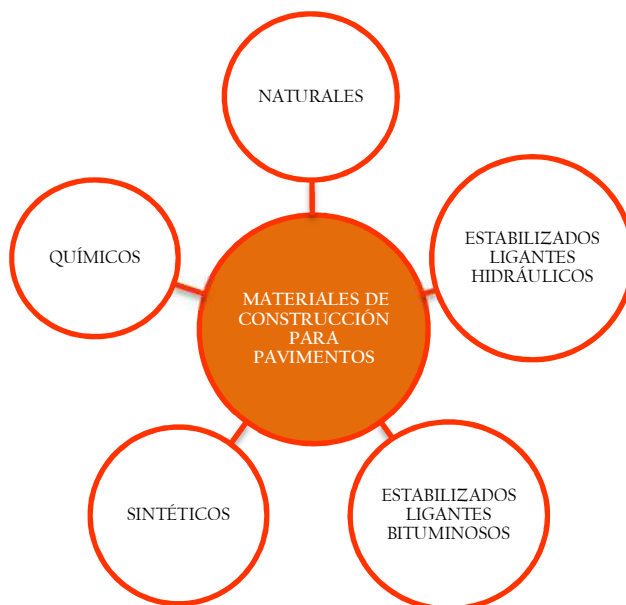


Figura 6.2 Clasificación de los materiales de acuerdo a su origen

6.1.1 *Materiales naturales*

Los materiales naturales son aquellos que no han sufrido procesos de transformación mecánica ni física antes de su colocación en obra. Conforman este grupo los suelos naturales de subrasante, las bases y subbases de material granular no tratados, material de rajón, asfaltos naturales tales como asfaltitas, crudo de castilla, rocas asfálticas, entre otros.

6.1.2 *Materiales estabilizados con ligantes hidráulicos*


Los materiales estabilizados con ligantes hidráulicos están compuestos por materiales naturales y ligantes que tienen la capacidad de aglutinar las partículas de los materiales en presencia de agua y requieren un periodo de reacción llamado tiempo de fraguado. Los más comunes en proyectos viales son: el cemento, la cal, las cenizas volcánicas y material de escoria.

6.1.3 *Materiales estabilizados con ligantes bituminosos*

Los materiales estabilizados con ligantes bituminosos están conformados por materiales naturales y ligantes que contienen betún, que corresponde a una mezcla de hidrocarburos solubles en disulfuro de carbono (CS₂). Los materiales naturales al ser mezclados con estos ligantes adquieren cohesión entre partículas y se hacen hidrofobos. Hacen parte de este grupo las mezclas asfálticas en caliente, mezclas asfálticas en frío, las bases estabilizadas con emulsión asfáltica, sellos de arena, tratamientos superficiales, riegos de liga y el material bituminoso reciclado, entre otros.

6.1.4 *Materiales sintéticos*

Los materiales sintéticos son producto de la síntesis química y son elaborados por el hombre en procesos industriales. Estos se diseñan para que aporten propiedades físicas y mecánicas a la estructura de pavimento. Hacen parte de estos materiales los geosintéticos que están compuestos de polímeros y que cumplen diversas funciones como: filtración, separación, drenaje, refuerzo y protección. El uso de los materiales geosintéticos estará

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

determinado por lo establecido en las Especificaciones IDU, Geomallas en Capas Asfálticas ET-GE-001 y Guía Uso de Geosintéticos GU-GE-007¹.

Para estabilizar el conjunto integrado por la subrasante y los materiales seleccionados que conforman las capas granulares del pavimento, se pueden emplear geotextiles tejidos o no tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo del 95% en peso de poliolefinas o poliéster. El geotextil a utilizar deberá cumplir con las propiedades mecánicas e hidráulicas definidas en la Especificación mencionada.

Para que la estabilización mediante el uso de geotextiles o geomallas sea efectiva, el suelo de subrasante deberá presentar un valor de CBR entre uno y tres por ciento ($1 \leq \text{CBR} \leq 3\%$), determinado con el ensayo descrito en la norma INV E-169-07²: "Relación de soporte del suelo en el terreno", o tener un valor de resistencia al corte entre treinta y noventa KiloPascales (30-90 KPa). Esta última se podrá determinar con cualquiera de los siguientes ensayos: norma INV E-152-07³: "Compresión inconfiada en muestras de suelos" o INV E-170-07⁴: "Ensayo de corte sobre suelos cohesivos usando la veleta". El traslapo mínimo del geotextil para los suelos de subrasante es de 0.60 m o costura definida en la Especificación, y al final del rollo será de 1.00 m. No se debe permitir que el geotextil quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a (3) días.

6.1.5 Materiales químicos

Estos materiales son productos químicos que, al entrar en contacto con los materiales naturales, generan reacciones que alteran las características físicas y mecánicas de los mismos. Dentro de ellos se incluyen: coloides, enzimas, materiales conglomerantes, entre otros. El mecanismo de funcionamiento de los estabilizantes electroquímicos es fundamentalmente el intercambio catiónico aunque también pueden tener un efecto hidrofobante. El intercambio catiónico hace que las propiedades índice del material cambien así como también su compresibilidad. De esta forma la densidad puede incrementarse y en consecuencia las propiedades mecánicas mejoran. Además, se genera un efecto hidrófobo en los materiales que combinado con el intercambio catiónico produce una disminución de la migración de agua por capilaridad (Universidad de los Andes, 2003). La utilización de estos material deberá cumplir con lo establecido en la "Guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos", (2005).

6.2 Uso en capas estructurales

A continuación se presenta la utilización de los diferentes tipos de materiales en las capas estructurales del pavimento.

6.2.1 Capa de soporte

En algunas zonas de Bogotá, los suelos de subrasante de Bogotá se caracterizan por ser suelos expansivos que cambian volumétricamente en presencia de agua circundante y no aportan una adecuada plataforma de soporte. Asimismo, algunos materiales explotados en canteras aledañas a la ciudad no presentan las características físicas y/o mecánicas descritas en las especificaciones vigentes para Bogotá.

Con el objetivo de mejorar la calidad de la Capacidad Portante Equivalente - CPE y de incrementar el aporte estructural de las capas de cuerpo para la adecuada construcción de estructuras de pavimento, se utilizan técnicas de mejoramiento y estabilización. La Tabla 6.1 presenta las técnicas de estabilización más utilizadas:

¹ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

² (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007)

³ (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007)

⁴ (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 6.1 Técnicas de mejoramiento de la subrasante.

Mejoramiento de Subrasante	Documento IDU
Cal	ET IDU Sección 230-II
Rajón	ET IDU Sección 321-II
Geotextil	ET IDU Sección 332-II
Material Bituminoso Reciclado	GU-GE-010 ⁵ GU-GE-011 ⁶
Demolición de concreto como uso de rajón	ET-GE-005 ⁷
Transporte coloidal Polvo de roca Enzimas Electroquímica Bases orgánicas	Guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos. Versión 01, 2005.

Como se mencionó anteriormente, las características físicas y mecánicas de los materiales se definen en las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C.⁸. (2011). Estas definen los rangos que tienen que cumplir los materiales de acuerdo al nivel de tránsito de la vía. En cada uno de los documentos referenciados se presentan los parámetros de control en cuanto al mejoramiento mecánico o mezcla específica resultante. Para el caso de la fórmula de trabajo de mezclas, esta será establecida por el Consultor a cargo y el proveedor del producto, que será evaluada a través de las respectivas pruebas y ensayos de laboratorio, para establecer posteriormente un valor de CPE de acuerdo al procedimiento definido en la presente Guía.

6.2.2 Rajón

La colocación del rajón debe definirla el diseñador cuando se requiera mejorar las características mecánicas de las subrasantes blandas, dotándolas de un esqueleto mineral grueso que proporcione un terreno de fundación apto para soportar el tránsito del equipo de construcción, constituyendo así una plataforma resistente de trabajo. De esta manera, se aporta capacidad de distribución de esfuerzos, reduciendo la posibilidad de asentamientos diferenciales y mitigando la presencia de problemas geotécnicos asociados con las características del subsuelo. En este último se generan fallas con notorios hundimientos y deformaciones plásticas, causadas por bajas capacidades portantes y/o la existencia de estratos localizados a profundidad, con presencia de arcillas, limos, suelos orgánicos o turbas altamente compresibles.


El rajón debe cumplir con los siguientes requisitos de granulometría:

⁵ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

⁶ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

⁷ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

⁸ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

- El tamaño máximo estará controlado por el valor menor que se obtenga al comparar los dos tercios (2/3) del espesor de la capa compactada o treinta centímetros (30 cm).
- El porcentaje en peso de partículas menores al tamiz de 25,0 mm (1"), será inferior al treinta por ciento (30%).
- El porcentaje en peso de partículas que pasen el tamiz de 75 µm (No.200), será inferior al quince por ciento (15%).

Una vez realizada la acomodación del material dentro de la estructura, este deberá someterse a un sello mediante material granular con el fin de rellenar los vacíos que se encuentren debido al gran tamaño de las partículas, permitiendo así una compactación uniforme de la capa.

6.2.3 Capas de cuerpo

Con base a las características definidas en las Especificaciones de acuerdo al tipo de tránsito, algunos materiales no cumplen con la exigencia mínima para ser clasificados como capas de Cuerpo en la estructura de pavimento. De tal manera se requiere que algunos materiales se estabilicen para cumplir con estas exigencias y asegurar la durabilidad y estabilidad a un proyecto vial.

6.2.3.1 Subbase granular

La subbase es una capa de la estructura del pavimento que tiene como objetivo soportar y transmitir las cargas aplicadas en la superficie de rodadura, controlar cambios de volumen de la subrasante y mitigar el ascenso capilar. En pavimentos flexibles, esta capa se usa como transición entre la base y la subrasante. De acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011)⁹, para un tránsito T1-1 corresponde una subbase granular tipo IDU SBG-C con un valor mínimo de CBR de 30%. Para los demás tránsitos corresponde una subbase granular tipo IDU SBG-B con un valor mínimo de CBR de 40%.


LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIAL GRANULAR QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO RESILIENTE MÍNIMO DE 1070 kg/cm² PARA TRÁNSITOS T1-1 Y DE 1160 kg/cm² PARA TRÁNSITOS >T1-1

6.2.3.2 Base granular

Esta capa de pavimento cumple con la función de distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito en superficie a la subbase. Sobre la base se apoya la capa de rodadura. Las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011) definen para un tránsito T1-1 una base granular tipo IDU BG-C con un valor mínimo de CBR de 80%. Para los demás tránsitos se define una base granular tipo IDU BG-B con un valor mínimo de CBR de 100%.

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIAL GRANULAR QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO MÍNIMO DE 2040 kg/cm² PARA TRÁNSITOS T1-1 Y DE 2200 kg/cm² PARA TRÁNSITOS >T1-1

⁹ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

6.2.3.3 Base y Subbase estabilizada con emulsión

Consiste en la construcción de una capa estructural constituida básicamente por material pétreo, agua, emulsión, llenante activo y en algunos casos, aditivos. El material pétreo empleado debe venir de la extracción natural o la trituración de material de cantera. Igualmente, se debe encontrar libre de material orgánico, basura o arcillas que lleguen a ser nocivas con el comportamiento de la capa. Las Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011)¹⁰ definen 3 clases de capas de material granular estabilizado con emulsión: GEE_A, GEE_B, GEE_C, que se determinan mediante el tipo de proyecto, la importancia de la vía, los niveles de tránsito, el tipo de pavimento y la ubicación de la capa.

6.2.3.4 Material estabilizado con cemento

Son aquellos materiales granulares tratados con cemento portland para incrementar el valor de resistencia a la compresión inconfiada, que dependerá del porcentaje de cemento en la mezcla y del tipo de material a tratar. Dosificaciones excesivas pueden causar un comportamiento frágil en el material generando la proliferación de fisuras. Esta técnica se enmarca en la Sección 420 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

6.2.3.5 Material estabilizado con cemento asfáltico

Son los materiales granulares tratados con cemento asfáltico con el propósito de incrementar el valor de resistencia a la deformación plástica debido a su capacidad de liga y al efecto impermeable en la mezcla. Existen tres clases de materiales: MGEA_A, MGEA_B, MGEA_C. Los requisitos a cumplir por este material son descritos en la Sección 422 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

6.2.3.6 Material estabilizado con cal

Como su nombre lo indica, corresponde a materiales tratados con cal. El tipo de cal recomendada para procesos de estabilización es la Hidratada (Hidróxido de calcio- $\text{Ca}[\text{OH}]_2$) que se puede adicionar como lechada de cal o en forma granulada. La cal hidratada reacciona con las partículas de arcilla del suelo o material a estabilizar y desarrolla una condición cementante en esta mezcla. En los suelos finos, la cal disminuye la susceptibilidad al agua. La elaboración de la mezcla, el curado y la evaluación de la resistencia se realizará de acuerdo con la norma de ensayo INV E-801-07¹¹ de las Normas de ensayo para Carreteras. En la Tabla 6.2 se presenta la condición de calidad de la capa de subrasante estabilizada con cal y de las capas de cuerpo, como está consignado en la Sección 230 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

¹¹ (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 6.2 Condición de calidad de las capas estabilizadas con cal

Capa	Ensayo	Valor recomendado	Norma
Suelos de subrasante	Resistencia a la compresión inconfina	345 kPa (0,345 MPa) (50 psi)	INV E-801-07
Bases y subbases granulares		690 kPa (0,690 MPa) (100 psi)	
Curado de mezcla con cal para granulares y suelos de subrasante		Por 7 días	

Adaptado de la sección 230-11 de las Especificaciones Técnicas IDU, 2011¹²

6.2.3.7 Material de reciclaje

Teniendo en cuenta consideraciones ambientales y económicas, es recomendable evaluar el uso y mejoramiento de materiales producto del reciclaje de pavimentos y estructuras. Esta actividad puede realizarse con emulsiones asfálticas, asfaltos espumados y cemento tipo portland acorde con las secciones 450, 451 y 454 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011). Se contemplan el uso de materiales bituminosos e hidráulicos, los cuales se describen a continuación:

6.2.3.7.1 Material Bituminoso Reciclado (MBR)

“El reciclaje de pavimentos en frío in situ a profundidad plena o total es una técnica de rehabilitación de pavimentos que consiste en la reutilización del material obtenido de la disgregación de la carpeta asfáltica deteriorada mezclada con parte del material granular subyacente a esta, mediante procesos mecánicos, con la finalidad de producir una nueva capa de base estabilizada o mejorada, que elimine la capa asfáltica deteriorada y sustituya a la base granular de soporte de la estructura de pavimento existente”¹³.

6.2.3.7.2 Material pétreo a partir de concreto hidráulico reciclado

Considerando factores ambientales y económicos, es recomendable evaluar el procedimiento de reciclaje con materiales provenientes de la demolición de losas y edificaciones construidas en concreto hidráulico, siempre y cuando durante su vida útil no hayan estado en contacto con aceites, aguas negras y/o residuos peligrosos. Este material se podrá utilizar de acuerdo con lo establecido la Sección 452 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011)¹⁴.

6.2.3.8 Estabilización con transporte coloidal

Los materiales granulares pueden ser estabilizados utilizando químicos que alteran la carga de las partículas del mismo ionizándolas, lo que genera una disminución en los vacíos y podría aumentar la resistencia. El uso de estos materiales deberá seguir las recomendaciones y parámetros de control señalados en la Guía para el Diseño y la Construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos (2005) del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU¹⁵.

A continuación se relacionan los diferentes materiales y técnicas que se utilizan en la estabilización de las capas de cuerpo.

¹² (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

¹³ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

¹⁴ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

¹⁵ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 6.3 Materiales a utilizar en capas de cuerpo de las estructuras de pavimento

Tipo de Material	Documento IDU
Material granular no tratado	ET IDU Sección 400-11
Material granular estabilizado con cemento	ET IDU Sección 420-11
Material granular estabilizado con Cal	ET IDU Sección 230-11
Refuerzo con geotextil	ET IDU Sección 332-11
Material granular estabilizado en caliente con cemento asfáltico	ET IDU Sección 422-11
Material granular estabilizado con emulsión asfáltica	ET IDU Sección 440-11
Material Bituminoso Reciclado	GU-GE-010 ¹⁶ GU-GE-011 ¹⁷
Reciclaje de pavimento asfáltico en el sitio con emulsión asfáltica	ET IDU Sección 450-11
Reciclaje de pavimento asfáltico en el sitio con asfalto espumado	ET IDU Sección 451-11
Empleo de agregados pétreos a partir de concreto hidráulico reciclado	ET IDU Sección 452-11
Reciclaje de concreto asfáltico en el sitio con cemento portland	ET IDU Sección 454-11
Transporte coloidal Polvo de roca Enzimas Electroquímica Bases orgánicas	Guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos. Versión 01, 2005.

6.2.4 Capas superficiales

Para las capas superficiales o de rodadura, se utilizan materiales de concreto asfáltico, hidráulico o adoquines, así como la inclusión de tratamientos superficiales. Las anteriores opciones están asociadas a condiciones de tránsito, tipología de la vía, pendiente, entre otras, y sus principales características se presentan seguidamente.

6.2.4.1 Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas se pueden definir como un producto de la mezcla de un ligante asfáltico, agregados granulares y aditivos (fibras, grano caucho), que es fabricado en planta y colocado en obras a temperaturas superiores a la ambiental. Las más utilizadas en Bogotá son las mezclas asfálticas en caliente densas (MD), semi-densas (MS), gruesas (MG), drenantes (MDr), discontinuas (MM/MF) y de alto módulo (MAM). También pueden utilizarse mezclas asfálticas densas en frío (MDF) y mezclas asfálticas abiertas en frío (MAF).

En la Tabla 6.4 se relacionan los diferentes tipos de mezclas que son utilizados como capa de rodadura.

¹⁶ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

¹⁷ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Tabla 6.4 Tipos de mezcla utilizados como Capa de Rodadura

RODADURA							
Tipo de Mezcla	Mezclas asfáltica en caliente densas, semidensas, gruesas y de alto módulo	Mezclas asfálticas abiertas en caliente	Tratamiento superficial simple, doble y triple	Lechada Asfáltica	Mezclas asfálticas densas en frío	Mezclas asfálticas abiertas en frío	Micro-aglomerado
Especificación IDU	ET IDU SECCION 510-II	ET IDU SECCION 514-II	ET IDU SECCION 531-II	ET IDU SECCION 530-II	ET IDU SECCION 550-II	ET IDU SECCION 552-II	ET IDU SECCION 520-II
Tipo de mezcla apto para la capa de rodadura	MD10	NINGUNA	TSS	LA	MDF 12	MAF 12	MM8
	MD12-MS12		TSD	LA2	MDF 20	MAF 20	MM10
	MD20-MS20		TST	LA4	MDF 25	MAF 25	MF8
				LA5			MF10
				LA10			

6.2.4.2 Concreto Hidráulico

Constituido por agregado pétreo fino y grueso, agente cementante, agua, refuerzo y aditivos, el concreto hidráulico se usa principalmente en losas que funcionarán como capa de rodadura, amarradas mediante barras de transferencia o por simple trabazón de agregados. Las losas deben cumplir los requerimientos establecidos en la Sección 600 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011). Es importante anotar que el proceso constructivo para la fabricación de las losas de concreto hidráulico es importante para el buen funcionamiento de la estructura, el cual incluye la selección del tipo de agregado, los aditivos, el tiempo de curado y las técnicas de vibrado.

6.2.4.3 Adoquines

La técnica del pavimento articulado permite el uso de adoquines en concreto hidráulico o adoquines de arcilla. Estos elementos funcionan apoyados sobre una capa de arena previamente compactada (sin considerar que el adoquín sea en concreto hidráulico o en arcilla). Dicha capa de arena permitirá la correcta instalación, compactación y nivelación de las piezas de adoquín. Sin embargo, esta no estará considerada de ninguna manera como capa que aporte soporte estructural. El funcionamiento de la estructura adoquinada estará influenciado fuertemente por la calidad de la arena utilizada como base de asentamiento, por lo que se debe utilizar arena de procedencia natural o triturada, que no contenga residuos orgánicos, vegetales o sólidos.

Las especificaciones que deben cumplir tanto los adoquines como la arena, están dadas en los numerales 700-11 y 701-11 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

La Tabla 6.5 resume las especificaciones para los materiales empleados en capas superficiales.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 6.5 Especificaciones de materiales a utilizar como capa superficial

Tipo de Material	Documento IDU
Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensas, gruesas, y de alto módulo	ET IDU Sección 510-11
Mezclas asfálticas abiertas en caliente	ET IDU Sección 514-11
Lechada Asfáltica	ET IDU Sección 530-11
Tratamiento superficial simple, doble y triple	ET IDU Sección 531-11
Mezclas asfálticas densas en frío	ET IDU Sección 550-11
Mezclas asfálticas abiertas en frío	ET IDU Sección 552-11
Losas de concreto hidráulico	ET IDU Sección 600-11
Pisos articulados en adoquín de concreto	ET IDU Sección 701-11

6.2.4.4 Lechada Asfáltica

Consiste en la elaboración y colocación de una mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica de rotura lenta (convencional o modificada con polímeros), llenante mineral y, eventualmente, aditivos, la cual se emplea como rodadura sobre un pavimento existente, acorde a lo establecido en las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C (2011).


6.2.4.5 Tratamientos superficiales

Son riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y agregado pétreo sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del agregado de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del agregado de la primera aplicación. Los diseños de esta Guía contemplan la aplicación de tratamiento superficiales dobles acorde con lo establecido en la Sección 531 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

PARQUE DE LOS PERIODISTAS - LA CANDELARIA



Capítulo 7: ESTRUCTURAS FLEXIBLES

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

7. ESTRUCTURAS FLEXIBLES

En este capítulo se presentan las estructuras flexibles propuestas. Los aspectos constructivos y las consideraciones particulares no están contemplados en el alcance de esta Guía. Sin embargo, se presentan algunas recomendaciones generales que deberán tenerse en cuenta para el buen uso de este documento. En todo caso, es necesario seguir las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011)¹. Es importante anotar que el comportamiento de los materiales visco elásticos depende entre otro de la temperatura y la frecuencia de aplicación de las cargas, para la estructuras propuestas en este documento se emplearon temperaturas que consideran los máximos históricos registrados en Bogotá que representa la condición más crítica de las estructuras.




Figura 7.1 Pavimento flexible en vías locales

7.1 Consideraciones particulares de las capas

Las capas de cuerpo (bases y subbases) que hacen parte de los diseños propuestos deberán cumplir con las recomendaciones que se presentan en los siguientes incisos.

¹ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

7.1.1 Subbase granular

Las subbases granulares deberán cumplir con todos los requisitos de la Sección 400 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C (2011).

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES GRANULARES QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO RESILIENTE IGUAL A 1070 kg/cm² PARA TRÁNSITO T1-1 Y 1160 kg/cm² PARA TRÁNSITO MAYOR A T1-1

7.1.2 Base Granular

Las bases granulares deberán cumplir con todos los requisitos de la Sección 400 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C (2011).

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES GRANULARES QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO RESILIENTE IGUAL A 2040 kg/cm² PARA TRÁNSITO T1-1 Y 2200 kg/cm² PARA TRÁNSITO MAYOR A T1-1


7.1.2.1 Base granular estabilizada con emulsión

Consiste en la construcción de una capa de estructural constituida básicamente por material pétreo, agua, mezcla asfáltica, llenante activo y aditivos. El material pétreo empleado debe de venir de la extracción natural o la trituración de material de cantera y se debe encontrar libre de material orgánico, basura o arcillas que lleguen a ser nocivas para el comportamiento de la capa. Las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C (2011) definen 3 clases de capas de material granular estabilizado con emulsión asfáltica: GEEA_A, GEEA_B, GEEA_C. Estas se determinan acorde con el tipo de proyecto, la importancia de la vía, los niveles de tránsito, el tipo de pavimento y la ubicación de la capa.

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES ESTABILIZADOS CON EMULSIONES, QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO MÍNIMO DE 13000 kg/cm²

7.1.2.2 Material Bituminoso Reciclado (MBR)

“El reciclaje de pavimentos en frío in situ a profundidad plena o total es una técnica de rehabilitación de pavimentos que consiste en la reutilización del material obtenido de la disgregación de la carpeta asfáltica deteriorada mezclada

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

con parte del material granular subyacente a esta, mediante procesos mecánicos, con la finalidad de producir una nueva capa de base estabilizada o mejorada, que elimine la capa asfáltica deteriorada y sustituya a la base granular de soporte de la estructura de pavimento existente”².

La mezcla de MBR y material nuevo debe cumplir los requerimientos dados para los materiales de la capa para la que se quiera adoptar este tipo de material. Los porcentajes de mezcla del material deben modificarse de manera que se alcancen los niveles de servicio. Los diseños presentados en este capítulo corresponden a Materiales Bituminosos Reciclados estabilizados con emulsión al 6.3 % y 1 % de material de cemento en una mezcla de MBR al 70% y material de aporte del 30%, según las pruebas realizadas y documentadas en la Guía para reciclaje de pavimento asfáltico in situ estabilizados con aditivos bituminosos y/o hidráulicos GU-GE 010 y GU-GE 011³ del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES BITUMINOSOS RECICLADOS QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO MÍNIMO DE 20000 kg/cm², PARA UNA FRECUENCIA DE 10 HZ Y UNA TEMPERATURA DE 17 °C

7.1.3 Material de concreto asfáltico

Las mezclas asfálticas se pueden definir como un producto de la mezcla de un ligante asfáltico, agregados granulares y aditivos (fibras, grano caucho), fabricado en planta y colocado en obras a temperaturas superiores a la ambiental. Los diseños propuestos en esta Guía corresponden a mezclas asfálticas densas en caliente MD 12 y MD 20.

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPITULO CORRESPONDEN A MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MD 12 Y MD 20, CON UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO MÍNIMO DE 28000 kg/cm², PARA UNA FRECUENCIA DE 10 HZ Y UNA TEMPERATURA DE 17 °C


7.1.4 Tratamientos superficiales

Se definen como riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y agregado pétreo sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del agregado de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del agregado de la primera aplicación. Los diseños de esta Guía contemplan la aplicación de tratamiento superficiales dobles acorde con lo establecido en la Sección 531 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C (2011)⁴.

² (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

³ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

⁴ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

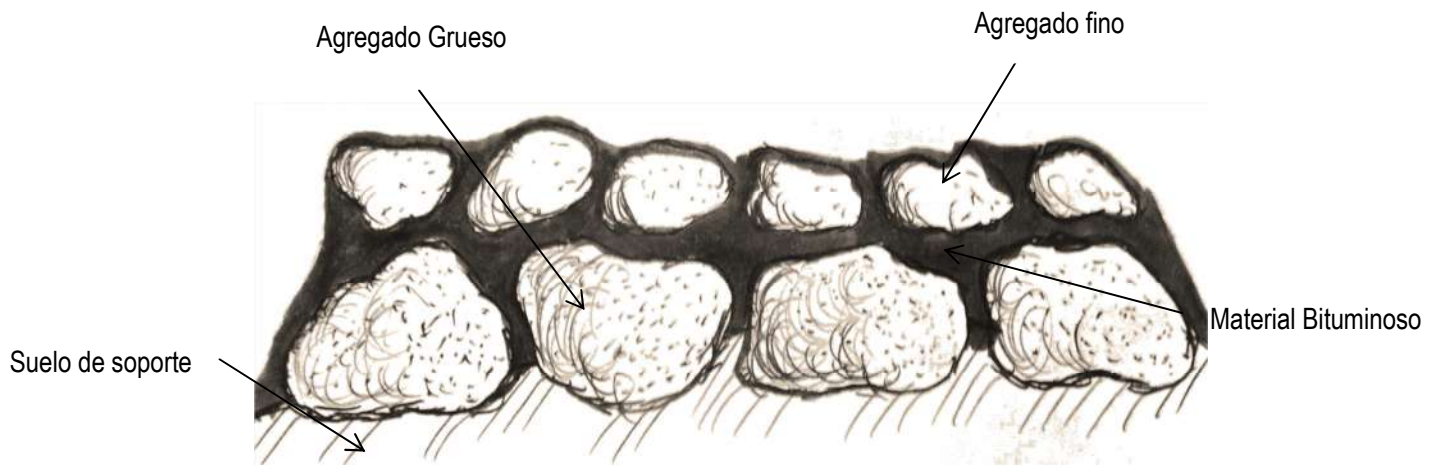


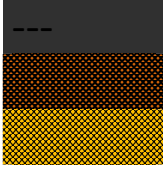
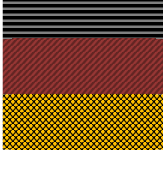
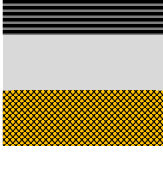
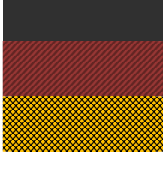
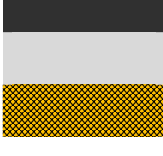
Figura 7.2 Esquema tratamiento superficial

7.2 Catálogo de estructuras

El pavimento flexible está compuesto por capas de cuerpo (base y subbase, estabilizadas o no) dispuestas sobre la subrasante. La capa superficial está constituida por materiales visco elásticos (concretos asfálticos) cuyo objetivo es evitar la filtración de agua en la estructura. Las ventajas de este tipo de estructuras son su facilidad a la adaptación a los cambios climáticos y su capacidad de deformación asociados a su naturaleza dúctil.

Se evaluaron cinco posibles alternativas de diseño de pavimentos flexibles las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7.1 Tipos de estructuras flexibles consideradas para el diseño

Tipología de estructuras pavimentos flexibles		
EFT1		<ul style="list-style-type: none"> • Concreto asfáltico • Base Granular • Subbase Granular • Subrasante
EFT2		<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial doble • Base estabilizada con emulsión • Subbase Granular • Subrasante
EFT3		<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial doble • MBR (Cemento + Emulsión) • Subbase Granular • Subrasante
EFT4		<ul style="list-style-type: none"> • Concreto asfáltico • Base estabilizada con emulsión • Subbase Granular • Subrasante
EFT5		<ul style="list-style-type: none"> • Concreto asfáltico • MBR (Cemento + Emulsión) • Subbase Granular • Subrasante

A continuación se presentan las estructuras de pavimento flexible escogidas para la ciudad de Bogotá D.C. Los espesores mostrados en cada una de las capas están dados en centímetros.

Convenciones:

- Capa Asfáltica
- Tratamiento superficial
- Base estabilizada con emulsión
- MBR (Cemento + Emulsión)
- Base granular
- Subbase granular

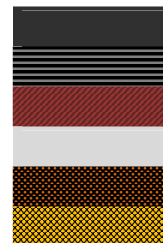
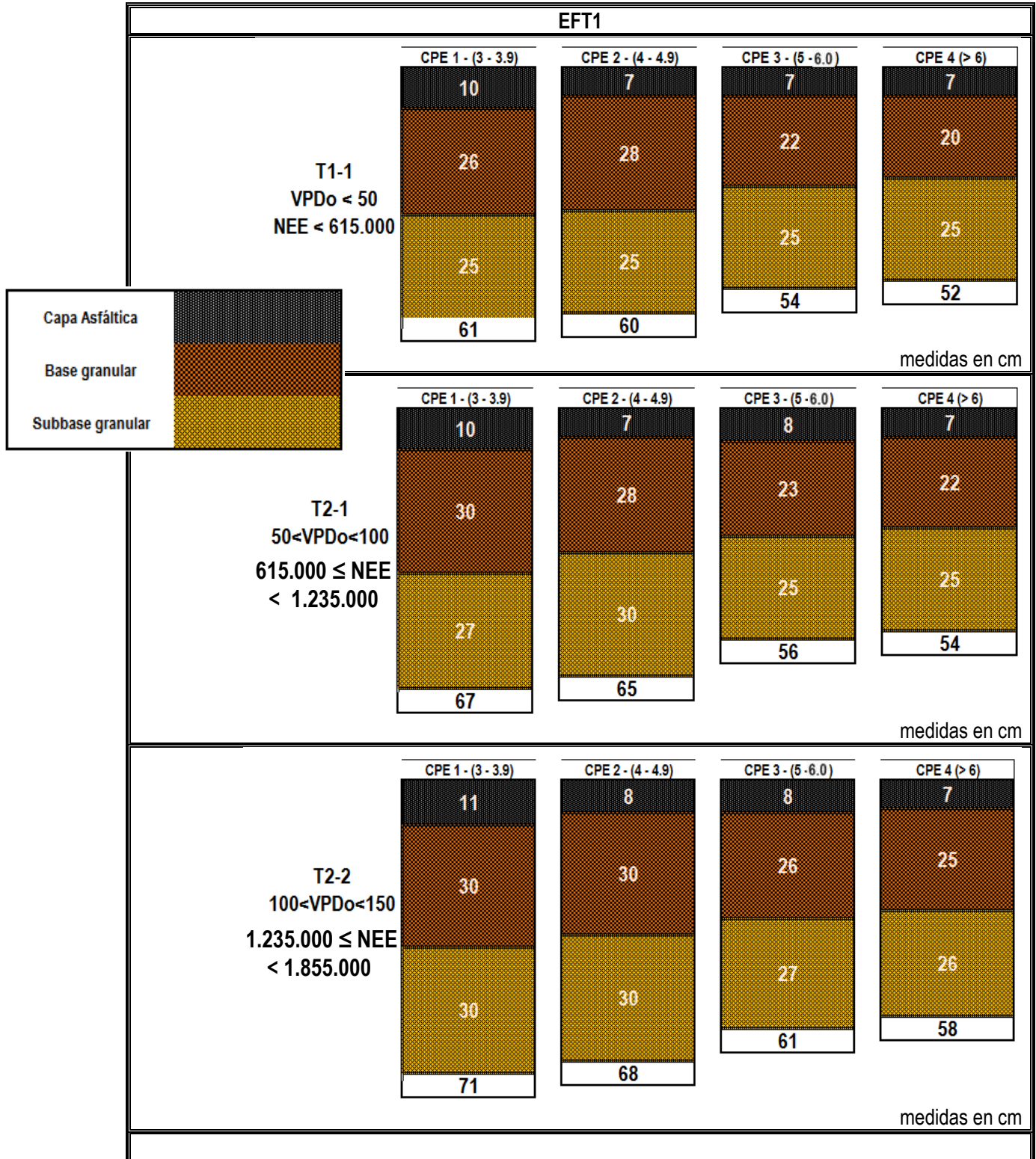
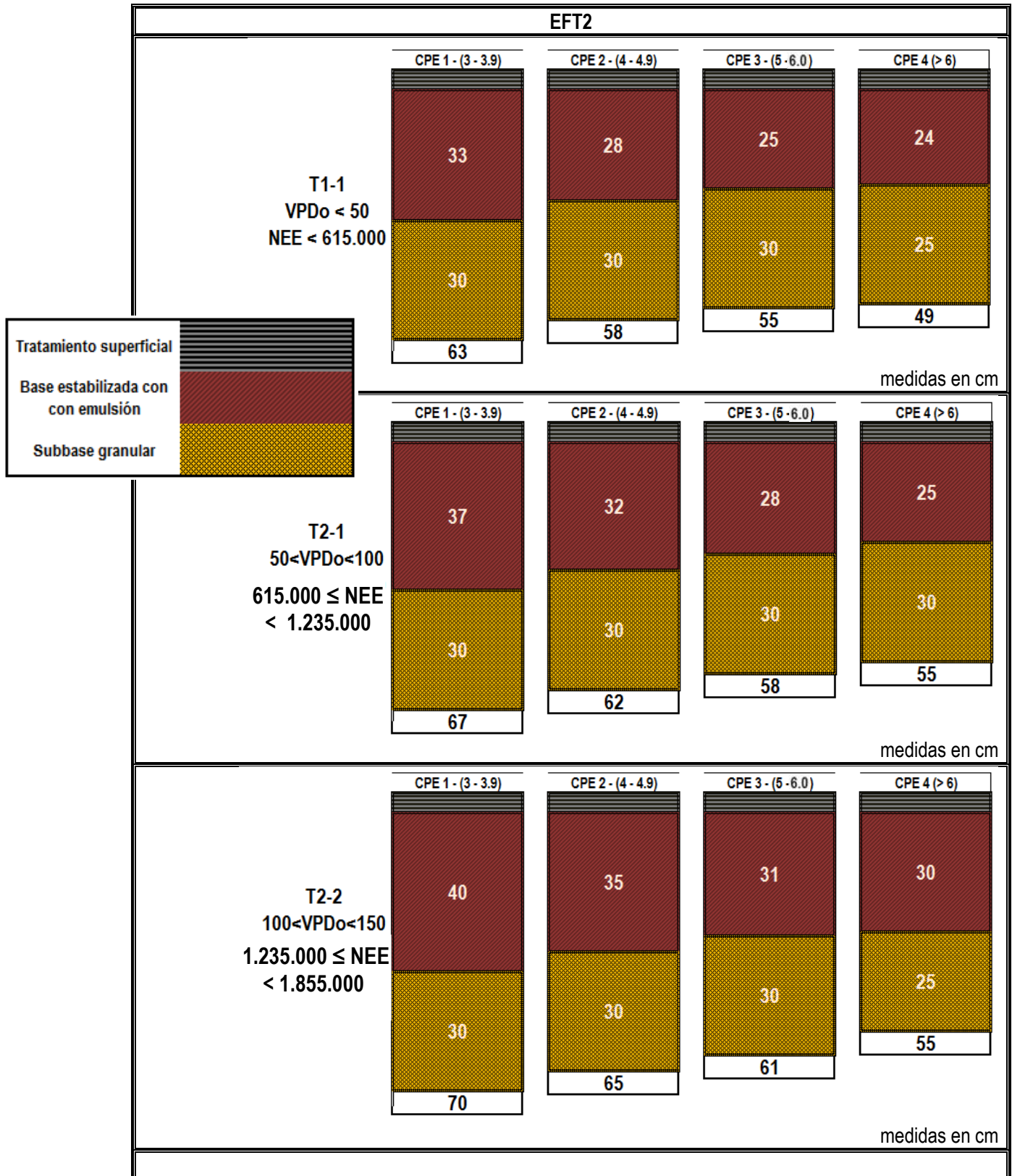
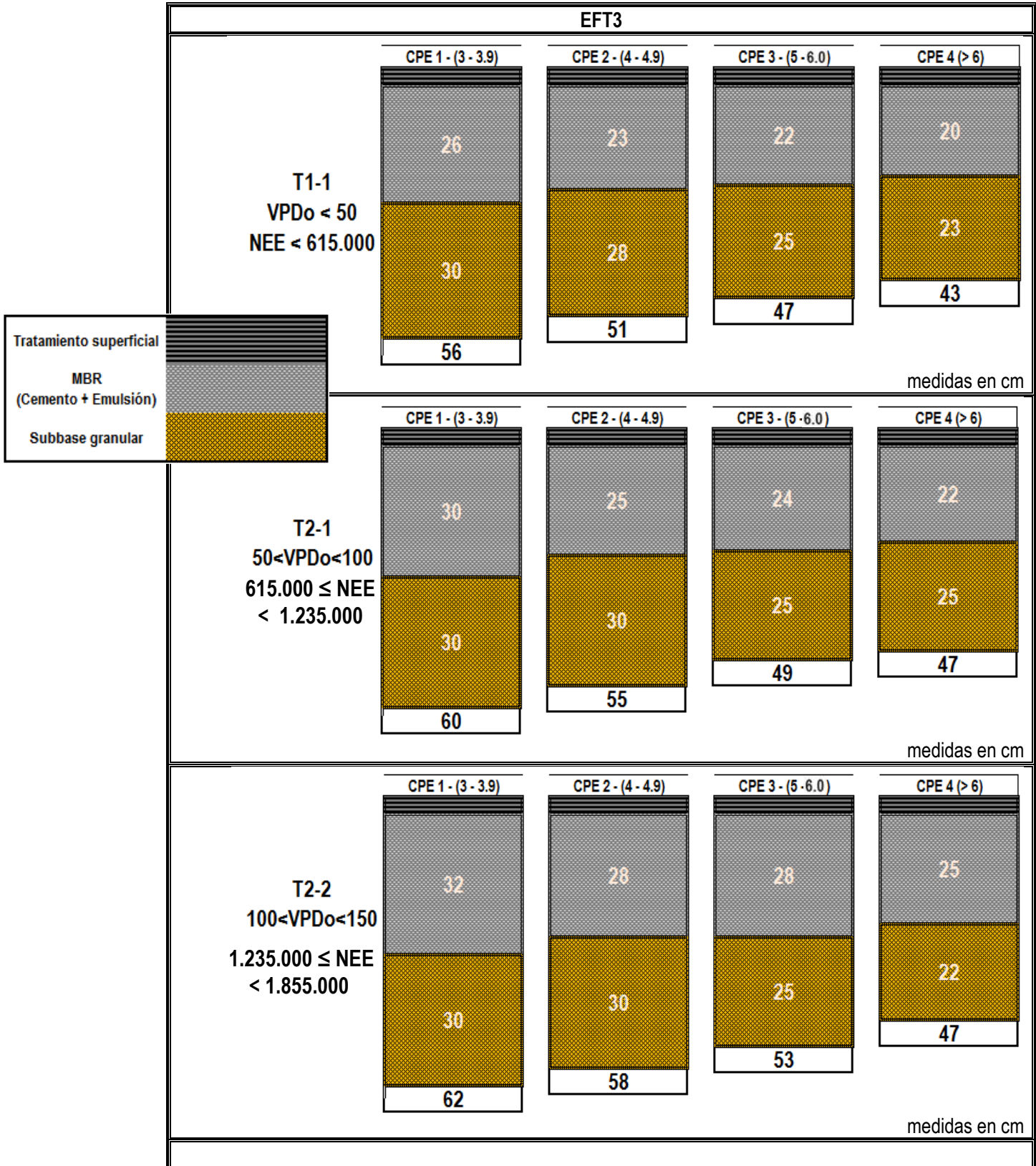
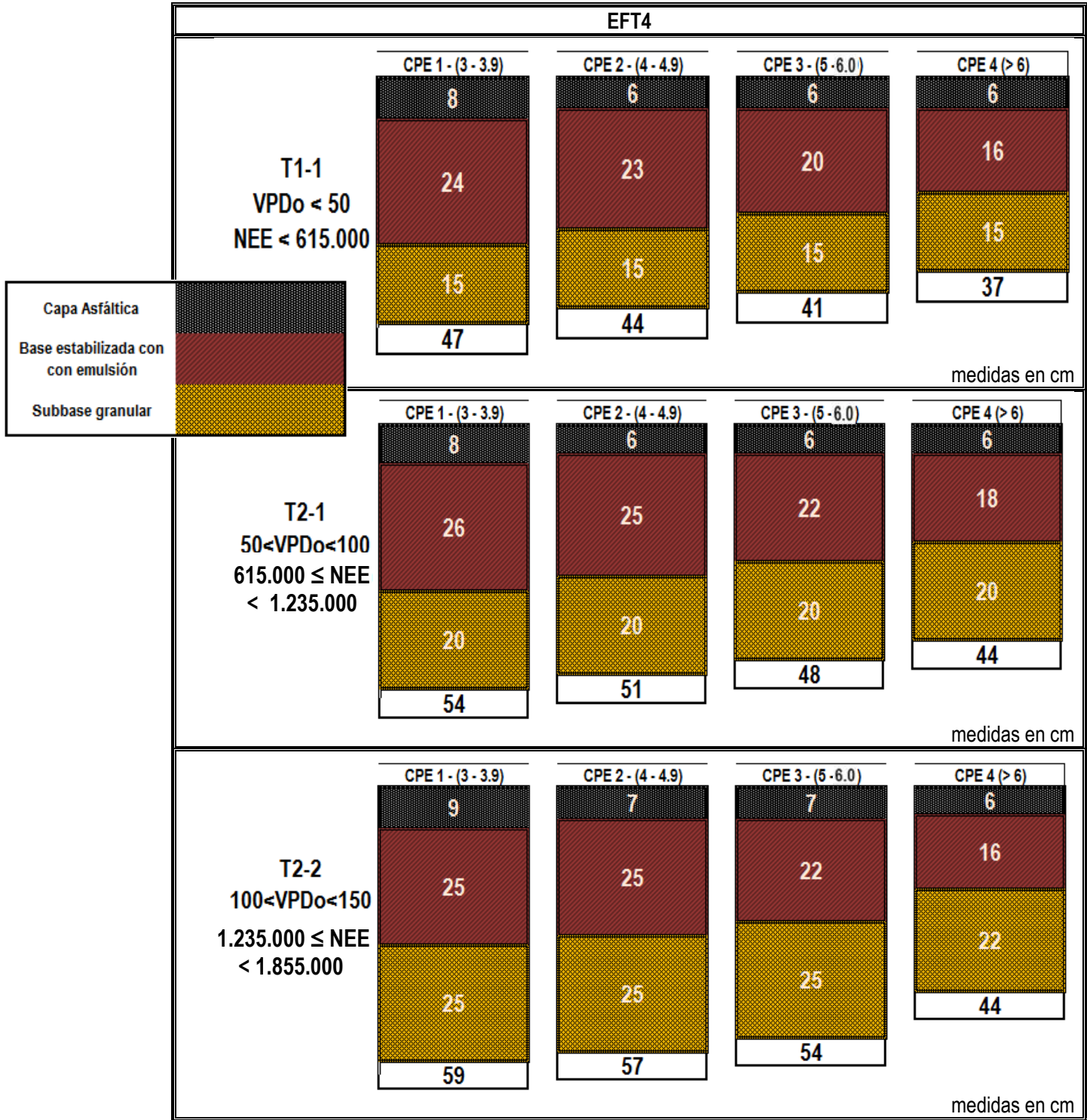


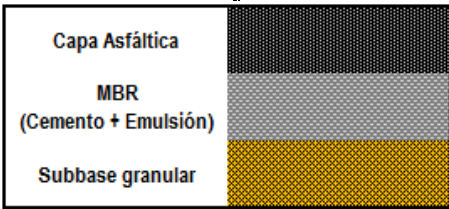
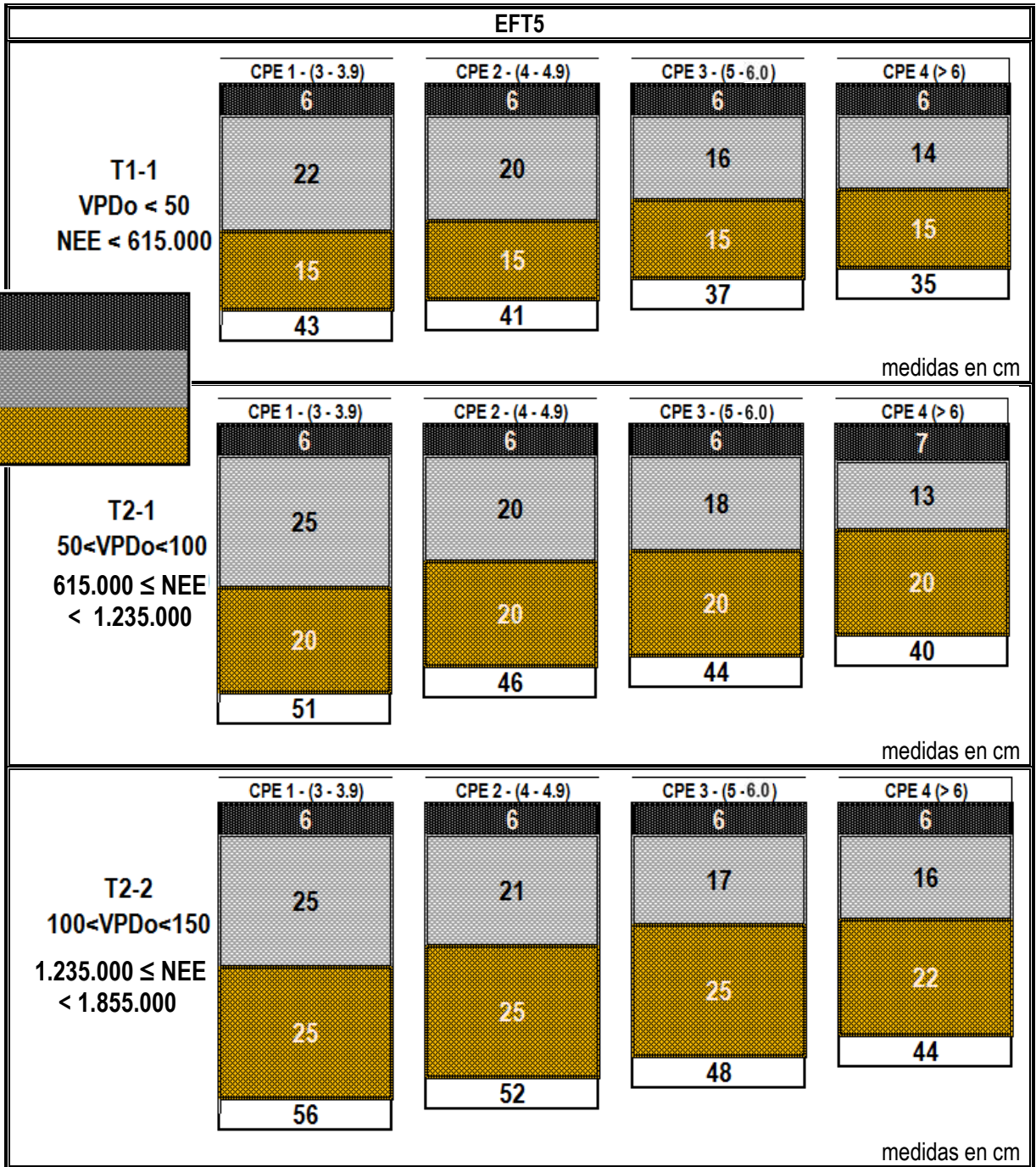
Tabla 7.2 Estructuras flexibles diseñadas para la ciudad de Bogotá D.C












EDIFICIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA LUIS CARLOS SARMIENTO
ANGULO - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



Capítulo 8: ESTRUCTURAS RÍGIDAS

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

8. ESTRUCTURAS RÍGIDAS


En este capítulo se presentan las estructuras de pavimento rígido propuestas y las consideraciones constructivas asociadas a los materiales que conforman las capas de las mismas. Los aspectos constructivos y las consideraciones particulares no están contemplados en el alcance de esta Guía. Sin embargo, se presentan algunas recomendaciones generales que deberán tenerse en cuenta para el buen uso de este documento. En todo caso, es necesario seguir las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).



Figura 8.1 Pavimentos rígidos en vías locales

8.1 Consideraciones constructivas

El desempeño de una estructura de pavimento rígido dependerá en gran medida de los procesos constructivos realizados en el momento de la obra y de las actividades de mantenimiento durante su vida útil. Teniendo en cuenta que la geometría de las losas, el tipo de juntas y el material de sello son parte de estas actividades, a continuación se presentan recomendaciones básicas que deberán tenerse en cuenta con este tipo de estructuras en lo relacionado con dichos parámetros y las capas de cuerpo del pavimento.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

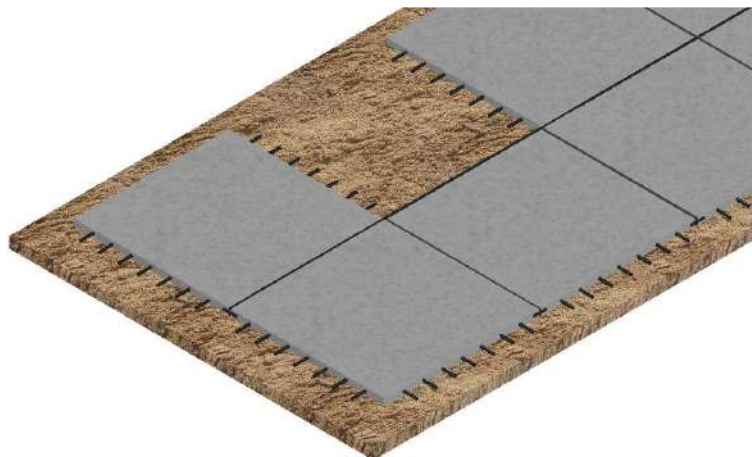


Figura 8.2 Estructura de pavimento rígido

8.1.1 *Características geométricas de las losas*

El dimensionamiento de las losas se realizará seleccionando la longitud mínima obtenida luego de la evaluación de los siguientes tres criterios:

- Criterio de alabeo.
- Características geométricas de la calzada.
- Relación largo – espesor

8.1.1.1 *Criterio de Alabeo*

El fenómeno de alabeo se genera cuando la losa presenta fenómenos de curvatura asociados a variaciones en los gradientes de temperatura y es particularmente agresivo cuando las losas tienen una relación largo / ancho inadecuada. Además, el alabeo produce esfuerzos de tracción en la losa que dan lugar a fisuración y permiten la entrada de agua a las capas de cuerpo. Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario definir los criterios de dimensionamiento de las losas. Este dependerá del espesor de la losa y será función de las secciones viales del proyecto.

8.1.1.1.1 *Longitud máxima*


Las dimensiones máximas de las losas se calcularon siguiendo las recomendaciones de la Federal Highways Administration¹, las cuales se presentan a continuación:

$$L_{max} = l \times 5$$

Donde:

- L_{max} : Longitud máxima de la losa.
 l : Radio efectivo de rigidez.

¹ (Federal Highway Administration, 1990)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

El radio efectivo de rigidez se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

Donde:

- l : Radio efectivo de rigidez.
- E : Módulo de elasticidad del concreto.
- h : Espesor de la losa.
- k : Módulo de reacción de la capa de soporte.
- μ : Relación de Poisson.

Adicionalmente, se recomienda que la relación largo / ancho de la losa presente valores entre 1 y 1.4. Si el valor de la relación es cercano a 1 (uno), mejor será el comportamiento de las losas.

$$1 \leq \frac{L}{a} \leq 1.4$$

Donde:

- L : Longitud de la losa.
- a : Ancho de la losa.

8.1.1.2 Características geométricas de la calzada

En el dimensionamiento de las losas se deberá tener en cuenta el ancho de calzada y carril correspondientes a los perfiles viales de cada caso particular.

8.1.1.3 Relación largo - espesor

Para garantizar el adecuado comportamiento de las losas de concreto, la máxima relación largo / espesor será:

$$\frac{L}{e} \leq 25$$

Donde:

- L : Longitud de la losa.
- e : Espesor de la losa.

Por lo anterior, teniendo en cuenta las secciones viales, los espesores de las estructuras propuestas y el criterio de alabeo, se recomienda el uso de losas con sección cuadrada. En la Tabla 8.1 se relacionan las dimensiones de losa recomendadas.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Tabla 8.1 Modulación de losas para las vías V6, V7 y V8

Espesor de la losa (cm)	Perfil vial			
	V-6, V-7		V-8	
	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)
22	3.25	3.25	2.50	2.50
23	3.25	3.25	2.50	2.50
24	3.25	3.25	2.50	2.50
25	3.25	3.25	2.50	2.50
26	3.25	3.25	2.50	2.50

SERÁ RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO Y/O USUARIO DE ESTA GUÍA EVALUAR LAS CONDICIONES PARTICULARES DEL PROYECTO Y AJUSTAR LA MODULACIÓN.

Los esfuerzos inducidos por el fenómeno de alabeo fueron verificados acorde con la metodología sugerida por (Bradbury (1938))² para las modulaciones, los espesores y las características de los materiales propuestos en este documento.

EN CASO DE UTILIZAR MODULACIONES DE LOSA DIFERENTE, SERÁ RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO Y/O USUARIO DE ESTA GUÍA VERIFICAR QUE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS POR EL FENÓMENO DE ALABEO NO SUPEREN EL VALOR DEL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO A UTILIZAR.

8.1.2 Juntas

8.1.2.1 Juntas longitudinales


Las juntas longitudinales se construyen cuando: se busca controlar el agrietamiento producido por la construcción de dos o más carriles simultáneamente y cuando se construyen carriles con edades diferentes, además permite la división de carriles en la vía³.

8.1.2.2 Juntas transversales

Para controlar los agrietamientos por retracción se construyen juntas transversales que permiten el movimiento de las losas y disminuyen su longitud. Estas juntas se hacen coincidir con las juntas constructivas transversales. Igual que las anteriores, las barras de refuerzo de las juntas transversales deberán cumplir todo lo consignado en la sección 600.2.1.7 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

² (Bradbury, 1938)

³ (Londoño, 2004)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

El diseño de las juntas se calculó siguiendo las recomendaciones de la Federal Highways Administration (FHWA, 1989)⁴, que tienen en cuenta las características geométricas de las losas. Los valores que se recomiendan se relacionan en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2 Dimensionamiento de juntas constructivas

Espesor de losa (cm)	Profundidad del corte (cm) (1/3 e)	Ancho total del corte de la junta W (cm)
22	7.3	0.6
23	7.7	
24	8.0	
25	8.3	
26	8.7	

EN CASO DE UTILIZAR DIMENSIONES DE JUNTAS DIFERENTES, SERÁ RESPONSABILIDAD DE INGENIERO Y/O USUARIO DE ESTA GUÍA VERIFICAR QUE LOS MISMOS SOPORTAN EL MOVIMIENTO ESPERADO DE LA JUNTA.

8.1.2.3 Sello de juntas

El sello de juntas se hará de acuerdo con lo consignado en la Sección 600.2.1.10 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011). Las diferentes opciones de material de sello que existen y las especificaciones que aplican se presentan en la Tabla 8.3.

⁴ (Federal Highway Administration, 1989)


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 8.3 Especificaciones para los materiales de sello

MATERIAL DE SELLO	ESPECIFICACIÓN IDU	NORMAS RELACIONADAS
-Sello de silicona	600.2.1.10.1.1	ASTM D 412
		ASTM C 639 (15% Canal A)
		ASTM C 603 (1/8" @ 50 psi)
		ASTM D 792 (método A)
		ASTM C 2240
		ASTM C 793
		ASTM C 679
		ASTM D 412
		ASTM D 1640
		ASTM C 719
Sello de aplicación en caliente: Elastoméricos de un componente y mezcla de varios componentes	600.2.1.10.1.2	<i>Para sellos elastoméricos de un componente: ASTM D3406- 95(reprobada 2006)</i>
		<i>Para sellos compuestos por varios materiales: ASTM D-6690-07</i>
Sellos preformados	600.2.1.10.1.3	ASTM D2628-91 (2005)
		ASTM D1752-04a (2008)
Tirilla o cordón de respaldo	600.2.1.10.1.4	ASTM D-5249
Material de relleno para juntas de expansión	600.2.1.10.1.5	AASHTO M-33
		AASHTO M-153
		AASHTO M-213

8.1.2.4 Barras de transferencia

En esta Guía no se tuvo en cuenta la transferencia de carga producto de la trabazón de agregados, ya que la misma no siempre es verificable ni se puede garantizar su funcionamiento. Por tal motivo se diseñaron las estructuras con barras de transferencia de carga para ello.

Es importante anotar que para dimensionar las barras se deben considerar los siguientes criterios:

- El diámetro de la barra a utilizar es 1/8 del espesor de la losa en pulgadas.
- El largo de las barras será de 12 veces el diámetro de la misma más 5 centímetros.
- La profundidad de instalación de las barras será de 1/2 del espesor de la losa.
- La separación entre barras será de 30 cm.

En la Tabla 8.4 se presentan las características de las barras para los diferentes espesores de losa diseñados.


GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Tabla 8.4 Características barras transversales

Espesor de losa (cm)	Diámetro de las barras (cm)	Diámetro comercial de las barras (plg)	Profundidad de las barras (cm)	Separación de las barras (cm)	Largo de las barras (cm)
15	1.88	¾	7.5	30	28
22	2.75	1 1/8	11	30	38
23	2.88	1 1/8	11.5	30	40
24	3.00	1 1/8	12	30	41
25	3.13	1 ¼	12.5	30	43

EN CASO DE UTILIZAR UN MATERIAL DE ACERO DIFERENTE, SERÁ RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO Y/O USUARIO DE ESTA GUÍA VERIFICAR QUE LOS CRITERIO TÉCNICOS DE TRANSFERENCIA DE CARGA.

8.1.2.5 Barras de amarre


Las barras a utilizar deberán cumplir con todo lo establecido en la sección 600.2.1.7 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011). A continuación se presentan las separaciones y longitudes necesarias de las barras corrugadas en juntas longitudinales si se usa un acero con límite de fluencia de 2800 kg/cm².

Tabla 8.5 Características barras de amarre⁵

Espesor de la losa (cm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8 ")			Barras de ϕ 12,7 mm (1/2 ")			Barras de ϕ 15,9 mm (5/8 ")					
	Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)		
		3.05 m	3.35 m	3.65 m		3.05 m	3.35 m	3.65 m		3.05 m	3.35 m	3.65 m
15	65	120	110	100	85	120	120	120	100	120	120	120
17.5		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20		90	80	75		120	120	120		120	120	120
22.5		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25		70	65	60		120	115	110		120	120	120

Nota: Si se utilizan en el proyecto barras lisas las longitudes que se presentan en esta tabla deben ser multiplicadas por 1,5.

⁵ (Londoño, 2004)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

8.1.3 Materiales de construcción

Para efectos de aplicación de esta Guía, a continuación se relacionan los tipos de materiales y las especificaciones particulares para cada una de las capas que son parte del diseño de las estructuras rígidas propuestas en este documento. En todo caso deberán seguirse las recomendaciones establecidas en la sección 600 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

8.1.3.1 Concreto Hidráulico

Para que los diseños consignados en esta Guía sean válidos, el concreto hidráulico a utilizar deberá cumplir como mínimo con las siguientes características:

- El módulo de rotura estará 4,0 y 4.5 MPa. (INV E-414-07)
- Resistencia a la tracción indirecta a los 28 días, % mínimo de la resistencia a la flexión a los 28 días igual a 50. (INV E-411-07)
- El módulo de elasticidad será de mínimo 303100 kg/cm² o 4310200 psi. (NTC 4025)

8.1.3.2 Acero para parrilla de refuerzo y barras de amarre

El material de acero deberá tener un límite de fluencia de 2800 kg/cm².

8.1.3.3 Subbase granular

Las subbases granulares deberán cumplir con todos los requisitos de la Sección 400 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).


LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES GRANULARES QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO IGUAL A 1070 kg/cm² PARA TRÁNSITO T1-1 Y 1160 kg/cm² PARA TRÁNSITO MAYOR A T1-1

8.1.3.4 Capa anti-erosiva

Con el fin de prevenir la infiltración de agua a las capas de cuerpo y limitar las posibilidades de erosión (bombeo) en la capa de base y/o subbase, se recomienda la construcción de una capa anti-erosiva. A continuación se relacionan tres opciones de material que podrán utilizarse en ella.

- **Sello de arena**

Estará conformado por material de arena y emulsión de rotura rápida modificada con polímeros del tipo CRR-2m, de acuerdo con lo establecido en la Sección 506 de las Especificaciones Técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público, para Bogotá D.C. (2011). Además, se recomienda un espesor entre 3 y 4 cm.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

- **Mezcla densa en caliente**

La capa anti-erosiva estará compuesta por 4 cm de MD-12 que deberá cumplir con todo lo señalado en la Sección 510 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

- **MBR (Material Bituminoso Reciclado) Estabilizado**

Se instalará una capa de 4 cm de Material Bituminoso Reciclado (MBR). Este es provisto por el IDU y en su aplicación deberá tenerse en cuenta lo contenido en la Guía para reciclaje de pavimento asfáltico *in situ* estabilizado con aditivos bituminosos y/o hidráulicos, GU-GE-011⁶.

8.1.4 Criterios adicionales

A continuación se presentan algunas recomendaciones y condiciones que el ingeniero y/o usuario de esta Guía deberá tener en cuenta en el proceso constructivo de estructuras de pavimento rígidas:

- El proceso de curado del concreto deberá cumplir con todo lo contenido en la Sección 600 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011), particularmente los criterios de la sección 600.5.13.
- Se recomienda que el proceso de sellado de las juntas se lleve a cabo a los 28 días de vaciado el concreto de las losas.
- Considerar que la relación agua/cemento de la mezcla de concreto sea la adecuada para las condiciones de pendiente del proyecto.
- Determinar la necesidad o no de reforzamiento de las losas siguiendo los parámetros consignados en la sección 600.2.1.7.3 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).
- En caso de concretos estampados es necesario realizar un diseño particular.

8.2 Catálogo de las estructuras

El pavimento rígido está compuesto por capas de cuerpo (base y subbase, estabilizadas o no) dispuestas sobre la subrasante. A diferencia de los pavimentos flexibles, la capa superficial está constituida por materiales hidráulicos, generalmente losas de concreto. Uno de los mayores problemas es la fuerte susceptibilidad a cambios climáticos que pueden llegar a producir rupturas debido a su fragilidad, especialmente por el fenómeno del alabeo.

A continuación se presentan las estructuras de pavimento rígido escogidas para la ciudad de Bogotá D.C. Los espesores mostrados en cada una de las capas están dados en centímetros.

⁶ (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)

Convenciones:

Losa de concreto hidráulico
 Capa antierrosiva
 Subbase granular

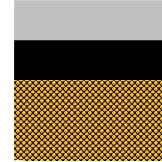
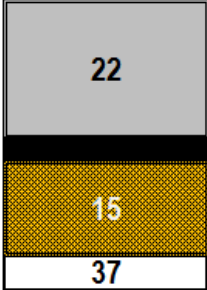
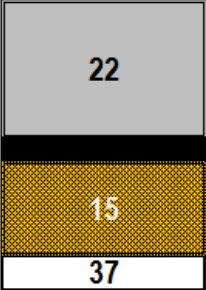
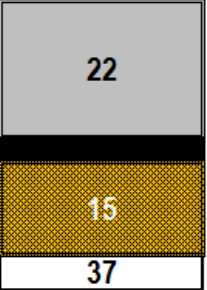
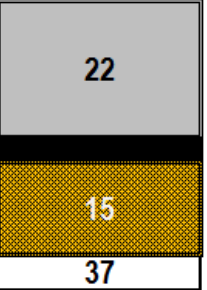
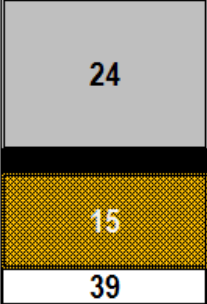
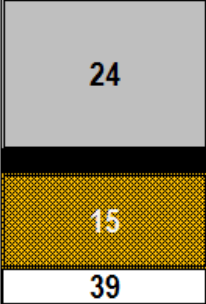
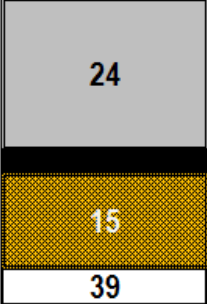
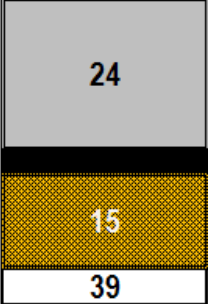
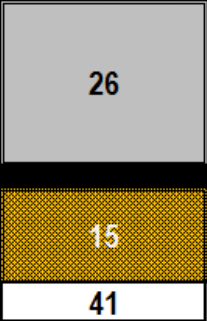
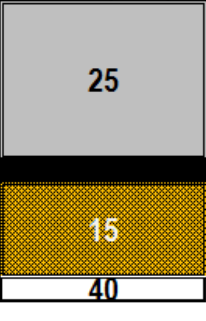
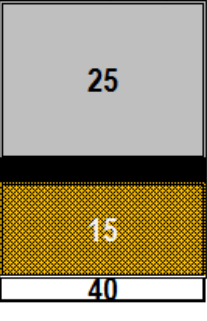
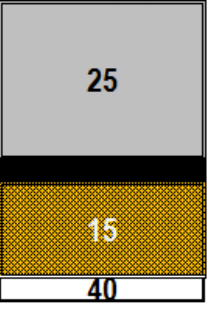
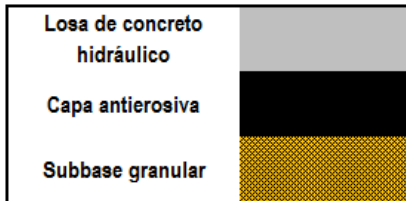


Tabla 8.6 Estructuras de pavimento rígido diseñadas para la ciudad de Bogotá D.C.


TRÁNSITO T1-1				
TRÁNSITO	CPE 1 - (3 - 3.9)	CPE 2 - (4 - 4.9)	CPE 3 - (5 - 6.0)	CPE 4 (> 6)
T1-1 VPD _o < 50 NEE < 615.000				
	Medidas en cm			
TRÁNSITO T2-1				
TRÁNSITO	CPE 1 - (3 - 3.9)	CPE 2 - (4 - 4.9)	CPE 3 - (5 - 6.0)	CPE 4 (> 6)
T2-1 50 < VPD _o < 100 615.000 ≤ NEE < 1.235.000				
	Medidas en cm			
TRÁNSITO T2-2				
TRÁNSITO	CPE 1 - (3 - 3.9)	CPE 2 - (4 - 4.9)	CPE 3 - (5 - 6.0)	CPE 4 (> 6)
T2-2 100 < VPD _o < 150 1.235.000 ≤ NEE < 1.855.000				
	Medidas en cm			



BIBLIOTECA PÚBLICA VIRGILIO BARCO



Capítulo 9:
ESTRUCTURAS ARTICULADAS

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

9. ESTRUCTURAS ARTICULADAS

El proceso constructivo tiene una influencia considerable en el buen desempeño de los proyectos viales. Las deficiencias en esta etapa pueden afectar el comportamiento mecánico de las estructuras de pavimento y derivarse en:

- Disminución de la vida útil.
- Perjuicios a las estructuras de drenaje.
- Disminución de la seguridad vial.
- Disminución de la comodidad para los usuarios
- Elevados costos de mantenimiento.

En este capítulo se presentan las estructuras articuladas propuestas y las consideraciones constructivas asociadas a los materiales que conforman las capas de las mismas. Los diseños aquí indicados corresponden a adoquines prefabricados en concreto.

Los aspectos constructivos y las consideraciones particulares no están contempladas en el alcance de esta Guía. Sin embargo, se presentan algunas recomendaciones generales que deberán tenerse en cuenta para el buen uso de este documento. En todo caso deberán seguirse los requerimientos establecidos en la Sección 701 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

SERÁ RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO Y/O USUARIO DE ESTA GUÍA EVALUAR LAS CONDICIONES PARTICULARES EN CASO DE UTILIZAR ADOQUINES FABRICADOS EN OTROS TIPOS DE MATERIAL.

9.1 Consideraciones particulares de los adoquines

Seguidamente se presentan las recomendaciones y consideraciones particulares para las estructuras de pavimento articulado, entre las que se incluyen: las características de los adoquines, las características de las capas de cuerpo y las recomendaciones constructivas.

9.1.1 Características geométricas

El adoquín en concreto usado para el pavimento articulado deberá cumplir con la clasificación dada en la norma NTC 2017: Ingeniería Civil y Arquitectura – *Adoquines en concreto para pavimentos*. Asimismo, la geometría deberá satisfacer los requisitos establecidos en el Sección 701.2.2.4.1 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011) y que se resumen en la Tabla 9.1. Igualmente, se deberá garantizar que la relación entre la longitud y el ancho del adoquín no sea superior a 4.


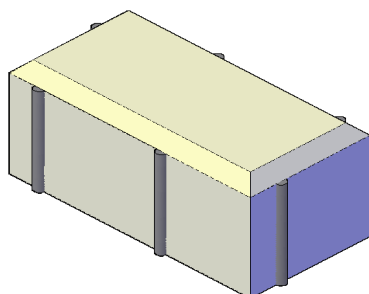
GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

Tabla 9.1 Características geométricas de los adoquines



Características	Notación	Valores(mm)
Longitud	l	50 < l < 250
Ancho	b	> 50
Espesor	e	80
Radio del biselado	r	4

9.1.2 Características físicas

9.1.2.1 Visibilidad

El factor de la visibilidad tiene que ver principalmente con la distribución de los colores a lo largo de la superficie. Se deberán tener contrastes que eviten la confusión por parte del usuario y que permitan la delimitación entre los espacios peatonales y los espacios vehiculares. Por tal motivo, se especifican 5 colores estándar para las estructuras de adoquín¹ (Tabla 9.2).

Tabla 9.2 Colores estándar para los adoquines

Color estándar	Color de cemento	Contenido de Pigmento (% del peso del cemento)	Pigmento (Óxidos de hierro)	Color final Aproximado (Sistema de matices)
Gris	Gris	-	-	Konica 39C-2T
Blanco	Blanco	-	-	Ermine White 13A-2T
Negro	Gris	6	Negro	Cumberland 13A-1A
Amarillo	Blanco	6	Amarillo	Harvest 36B-2D
Rojo	Gris	6	Rojo	Red Java 10B-3D


Considerando lo anterior, se establece que si la superficie existente es de concreto blanco los colores de contraste son el GRIS, ROJO y AMARILLO, mientras que si la superficie es en concreto gris, los colores de contraste son ROJO y AMARILLO. Por otra parte, las unidades de alerta o guía pueden hacerse en color AMARILLO O ROJO. No obstante, el color ROJO no se puede usar bajo ningún otro parámetro. Además, con fines de seguridad, se debe considerar el color del sardinel diferente al de la estructura de pavimento construida.

9.1.2.2 Textura

Los adoquines cuentan con dos tipos de biselado basados en los siguientes criterios:

- Trabazón de los adoquines.
- Seguridad Vial.

¹ (Universidad Pontificia Bolivariana; Laboratorio de Arquitectura y Urbanismo LAUR; Instituto Colombiano de Produccion de Cemento, 2007)

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

El biselado tipo lápiz colocado en las caras laterales del adoquín se debe garantizar con el fin de optimizar la trabazón entre los adoquines. El radio del biselado debe ser de 4mm ubicados a 0.025 m de distancia desde la esquina del adoquín y separados cada 0.1 m en las caras en las que las dimensiones lo permitan.

Con el propósito de garantizar seguridad y comodidad al usuario, se tendrá en cuenta como principal característica la textura del adoquín. Por esto, se deberá garantizar que todo adoquín rectangular tenga un biselado en las aristas de mínimo 4 mm. Esta geometría se escoge como medida para controlar las velocidades de los vehículos en la zona, evitando los excesos debidos a los bajos volúmenes vehiculares que se pueden llegar a presentar en la zona.

9.1.3 Características mecánicas

Las propiedades mecánicas deberán satisfacer lo establecido en la sección 701.2.2.3 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011) y que se resumen a continuación:

Tabla 9.3 Características mecánicas de los adoquines

Propiedad	Valor	Norma técnica
Absorción de agua	< 7%	NTC-2017
Abrasión	≤ 23 mm	NTC-5147
Flexo-tracción (módulo de rotura)	*Tabla 9.4	NTC-2017

Los requerimientos de flexo-tracción o módulo de rotura (M_r) se resumen en la Tabla 9.4, el ensayo deberá realizarse según lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 2017:

Tabla 9.4 Requisitos del módulo de rotura (M_r)


Módulo de rotura (M_r) a los 28 días mínimo (MPa)		Longitud máxima de la huella (l_h) en mm
Promedio de 5 adoquines	Individual	Promedio de 5 adoquines
5.2	4.2	-
4.2	3.8	23

Consideraciones particulares de las capas de cuerpo

Las capas de cuerpo (bases y subbases) que hacen parte de los diseños propuestos deberán cumplir con las recomendaciones que se presentan en los siguientes incisos.

9.1.3.1 Base Granular

Las bases granulares deberán cumplir con todos los requisitos de la Sección 400 de Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES GRANULARES QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO IGUAL A 2040 kg/cm² PARA TRÁNSITO T1-1 Y 2200 kg/cm² PARA TRÁNSITO MAYOR A T1-1

9.1.3.2 Subbase granular

Las subbases granulares deberán cumplir con todos los requisitos de la Sección 400 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

LOS DISEÑOS PRESENTADOS EN ESTE CAPÍTULO SE BASARON EN MATERIALES GRANULARES QUE DEBEN ALCANZAR UN VALOR DE MÓDULO DINÁMICO IGUAL A 1070 kg/cm² PARA TRÁNSITO T1-1 Y 1160 kg/cm² PARA TRÁNSITO MAYOR A T1-1


9.1.3.3 Base granular estabilizada con cemento

La base granular estabilizada con cemento deberá cumplir con todos los requisitos de la Sección 420 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

Las bases granulares de este tipo consideradas en esta Guía corresponden a material granular estabilizado con cemento clase GEC_B o GEC_C, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 420.5 de las Especificaciones mencionadas anteriormente. La cual se presenta a continuación:

Tabla 9.5 Resistencias mínimas y máximas de mezclas de materiales granulares estabilizados con cemento

Características	Clase de material granular para estabilizar con cemento	
	GEC_B, C ó D	
Categorías de Tránsito	T0 – T1	T2 – T5
Resistencia mínima a la compresión a 7 días, Mpa, Rd_min	2.5	2.5
Resistencia máxima a la compresión a 7 días, Mpa, Rd_max	4.5	4.5
Resistencia mínima a la tracción indirecta, 7 días, MPa	-	0.25
Resistencia mínima conservada a la tracción indirecta, 7 días, %	-	75

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

9.1.3.4 *Capa de Arena-soporte*

Con el fin de evitar asentamientos en los adoquines y permitir la correcta instalación de los mismos, es necesario incluir una capa de arena que brinde estabilidad y rigidez a la estructura. Dicha capa deberá cumplir lo estipulado en la sección 701.2 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011) y para los diseños presentados en esta Guía tendrá un espesor de 4 cm después de la compactación. La franja granulométrica de la arena se muestra en la Tabla 9.6:

Tabla 9.6 Granulometría para arena para capa de soporte
Tomada de la Sección 701-17 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011)

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alterno	
9.50 mm	3/8"	100
4.75 mm	No 4	90-100
2.36 mm	No 8	75-100
1.18 mm	No 16	50-95
600 µm	No 30	25-60
300 µm	No 50	10-30
150 µm	No 100	0-15
75 µm	No 200	0-5

Asimismo, el material de arena deberá cumplir los requerimientos de la Tabla 9.7:

Tabla 9.7 Propiedades de la arena


Propiedad	Valor	Norma técnica
Plasticidad	No plastico	INV-E-125-07 INV-E-126-07
Equivalente de arena	60	INV-E-133-07

9.2 Recomendaciones constructivas básicas

El confinamiento, el patrón de colocación y los espesores de juntas, son los aspectos constructivos más relevantes a considerar en el momento de la construcción de las estructuras articuladas.

9.2.1 *Confinamiento*

El confinamiento evita el desplazamiento lateral de los adoquines causado por el empuje inducido por el paso de los vehículos. Existen dos tipos de confinamiento: el externo, que delimita la sección vial y el interno, que genera secciones más pequeñas al interior de la misma evitando desplazamientos de los adoquines y delimita las estructuras hidráulicas presentes en el área. El confinamiento externo e interno se deberá realizar siguiendo los requerimientos de las secciones 701.4.3 y 701.4.5.2 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011).

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

En todo caso deberá tenerse especial cuidado en proyectos con pendiente longitudinal elevada, (terreno montañoso y escarpado) >6%.

9.2.2 Patrón de colocación

Para evitar los daños producidos por el contacto entre los neumáticos y los adoquines, la dirección de colocación de los adoquines deberá ser en espina de pescado a 45 grados con respecto al eje de la vía.

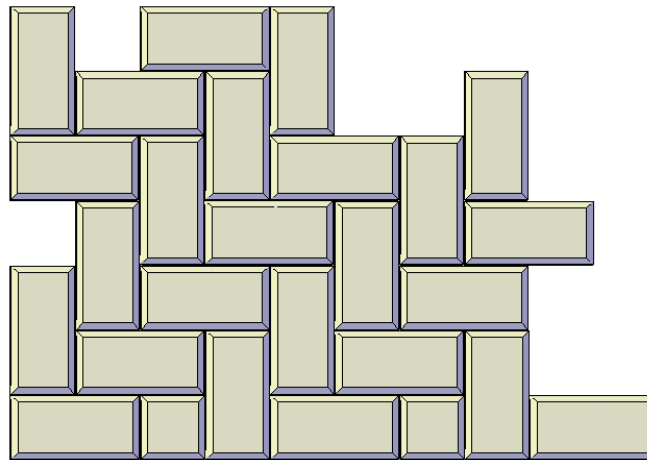


Figura 9.1 Patrón de colocación espina de pescado

9.2.3 Juntas

9.2.3.1 Ancho de la junta

El ancho estándar de las juntas será de 2 mm.


9.2.3.2 Sello de las juntas

Para cubrir las juntas o espacios libres entre los adoquines se utilizará arena de origen natural o trituración, que deberá cumplir con la granulometría establecida en la sección 701.2.3 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C. (2011) y que se relaciona en la Tabla 9.8.

Tabla 9.8 Granulometría para arena de sello²

Tamiz		Porcentaje que pasa
Mm	Alterno	
2.36 mm	No 8	100
1.18 mm	No 16	90-100
600 µm	No 30	60-90
300 µm	No 50	30-60
150 µm	No 100	5-30
75 µm	No 200	0-5

² (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011)
Formato: FO-MC-177 Versión: 2

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

9.3 Catálogo de estructuras

Los pavimentos articulados son aquellos en los que la capa superior o acabado del pavimento está constituida por elementos prefabricados llamados adoquines. Estos elementos siguiendo un patrón modular deben empalmar entre sí, sin emplear materiales cementantes para fijarlos. Una estructura de pavimento articulado estará compuesta por las mismas capas estructurales de una estructura de pavimento tradicional: subbase y base, y una capa de rodadura que incluye los adoquines y la capa de arena utilizada para el sellado, todo lo anterior apoyado sobre un suelo natural denominado subrasante.

Convenciones:

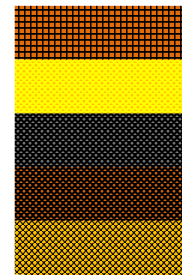
Capa de rodadura en adoquín de concreto

Capa de arena

Base estabilizada con cemento

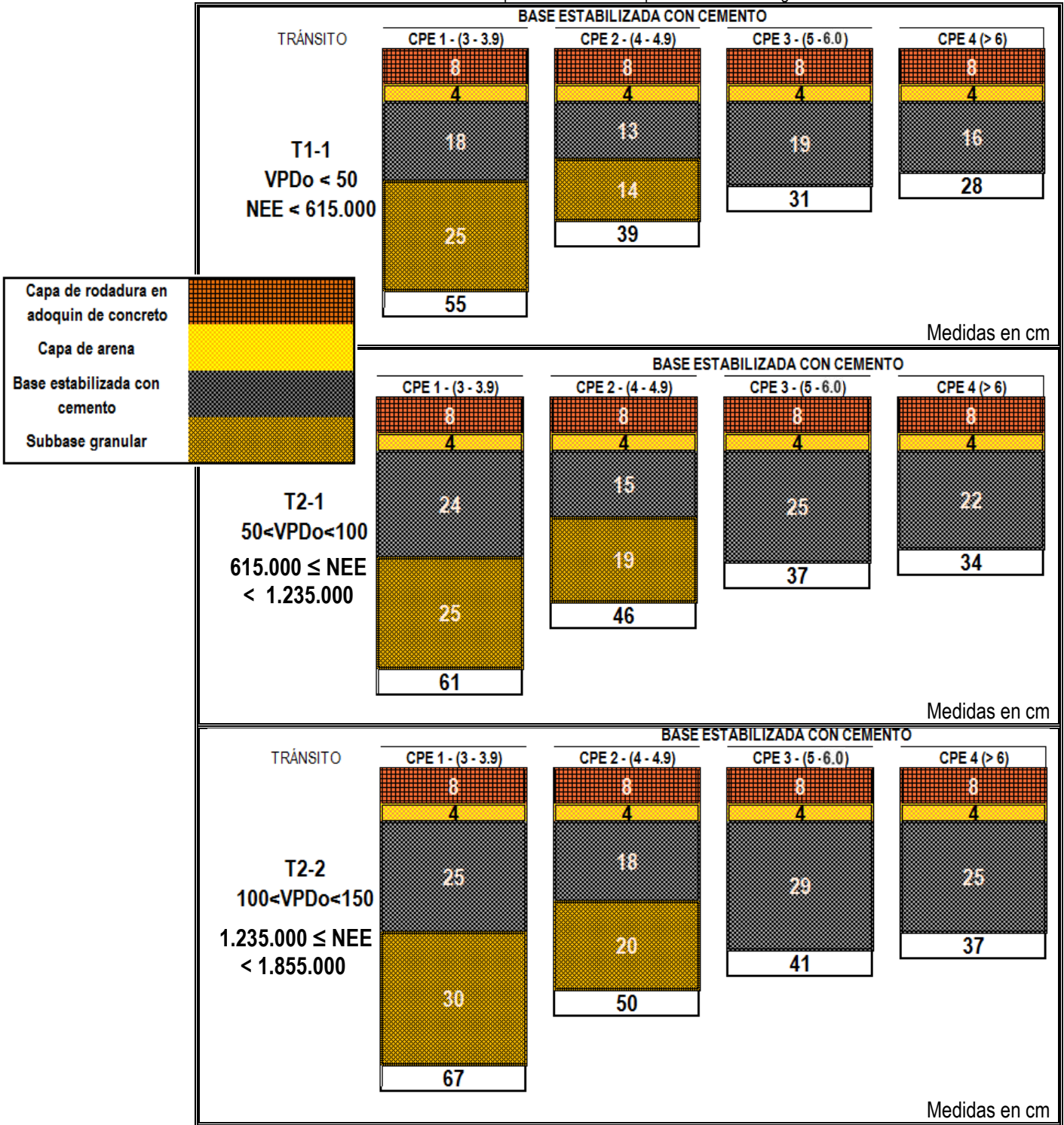
Base granular

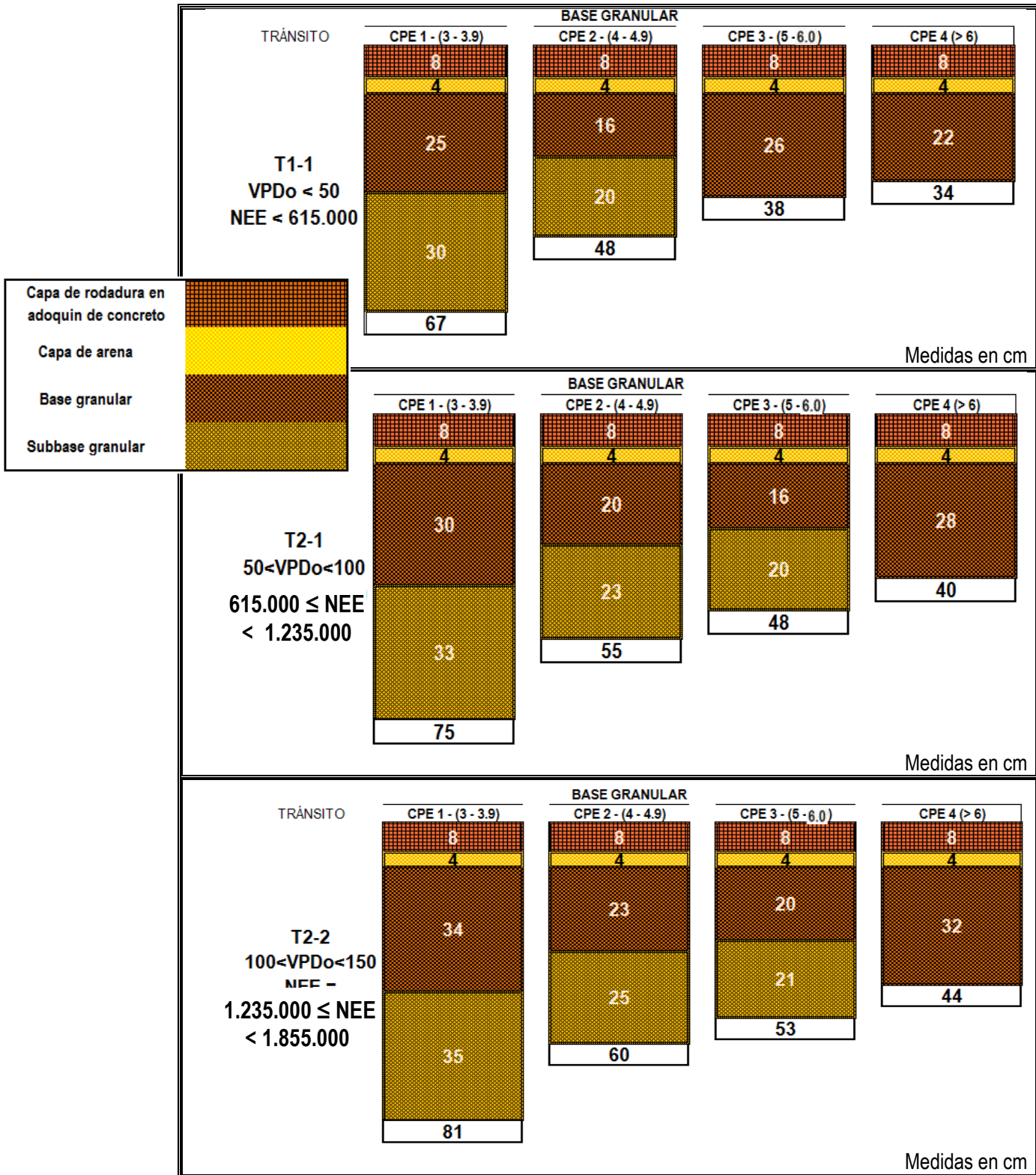
Subbase granular




A continuación se presentan las estructuras articuladas diseñadas para la ciudad de Bogotá D.C. Los espesores mostrados en cada una de las capas están dados en centímetros.

Tabla 9.9 Estructuras de pavimento articulado para la ciudad de Bogotá D.C.






GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional; Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2013). *Plan de Ordenamiento Territorial, Decreto 364 de 2013, POT*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Secretaría Distrital de Ambiente. (2006). *Atlas ambiental de Bogotá D.C*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Secretaría de Tránsito y Transporte. (2011). *Formulación del plan maestro de movilidad para ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Bradbury, R. (1938). *Reinforced Concrete Pavements*. Washington D.C.: Wire Reinforcement Institute.
- Bureau of highway construction division of transportation infrastructure department. (2004). *Pavement Service Life*.
- C. Karim, B. K. (1996). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volumen 1539, Field investigation into effects of vehicle speed and tire pressure on asphalt concrete pavement strains*.
- cadbloques.com. (n.d.). *CadBloques.com*. Retrieved Octubre 09, 2012, from <http://www.cadbloques.com>
- Canal Clima. (n.d.). Retrieved 2012, from <http://www.canalclima.com>
- Clker. (n.d.). Retrieved 2012, from <http://www.clker.com/clipart-van-outline.html>
- Department of environment, heritage and local government. (2004). *Guidelines for road drainage*. Dublin.
- Design Vector. (n.d.). Retrieved 2012, from <http://idesignvectors.com/pro-vehicle-outlines>
- EAAB, Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. (2002). *NS-057 CUNETAS Y CANALETAS DE DRENAJE SUPERFICIAL. BOGOTÁ*.
- Eddy, M. y. (1981). *Redes de alcantarillado y bombeo*. Madrid: McGraw-Hill.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota EAAB. (2002). *Norma Técnica de Servicio NS-088, Aspectos técnicos para el diseño y construcción de subdrenajes*. Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB. (2002). *Norma Técnica de Servicio NS-122, Aspectos técnicos para el diseño y construcción de subdrenajes*. Bogotá D.C.
- Federal Highway Administration. (1989). *Benefits of Using Dowel Bars, Technical Paper 89-03*. Washington, D.C.
- Federal Highway Administration. (1990). *Concrete Pavement Joints, Technical Advisory T 5040.30*. . Washington, D.C. .
- Feng, W. (2005). *Mechanistic-empirical study of effect of truck tire pressure on asphalt pavement performance*. Austin: The university of Texas at Austin.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Instituto</small> Desarrollo Urbano
CÓDIGO GUIC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

Grupo de investigación y desarrollo técnico del IDU. (2006). *Mezclas asfálticas recicladas con grano de caucho reciclado*. Bogotá D.C.

Han, J. (2011). *Geosynthetic Reinforcement for Roadway System*. Bogotá.

HONG KONG HIGHWAYS DEPARTMENT. (2010, MAYO). Retrieved 2012, from GUIDANCE NOTES ON ROAD PAVEMENT DRAINAGE DESIGN

Hong Kong Highways Department. (2010). *Guidance notes on road pavement drainage design*.
<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3624/1/tema3RUA.pdf>. Retrieved 2012,

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2005). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C.* Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Especificación Técnica para agregados petreos a partir de concreto hidráulico reciclado ET-GE-005*. Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C.* Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Evolución del inventario de malla vial de 2004 a 2011*. Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos GU-GE-10*. Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Guía para el reciclaje de pavimento asfáltico in situ estabilizado con aditivos bituminosos y/o hidráulicos GU-GE-11*. Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Guía Uso de Geosintéticos GU-GE-007*. Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2011). *Programas de mantenimiento - Corredores de movilidad local*. Retrieved 2012, from http://www.idu.gov.co/web/guest/malla_prog_corredores

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2012). *Anexo Técnico*. Bogotá D.C.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2012). *Inventario Malla Vial*. Retrieved from http://www.idu.gov.co/web/guest/malla_inventario

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2012). *Listado de insumos topes para construcción*.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2012). *Espectros de Carga*. Bogotá D.C.


Instituto del cemento y el hormigón de Chile. (2012). Retrieved Mayo 2012, from http://www.ich.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=134:ique-es-el-alabeo-en-losas-de-pavimento-y-por-que-se-produce&catid=76:el-alabeo-de-pavimentos&Itemid=84

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2006). *Manual para inspección de pavimento rígidos*. Bogotá D.C.


Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2006). *Manual para inspección visual de pavimentos flexibles*. Bogotá D.C.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras*. Bogotá D.C.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá D.C.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C		
CÓDIGO GUJC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	

- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogotá D.C.
- Ivanov, N. (1973). *Flexible road pavement structural design*, Transport Publishers. Moscu.
- Lenna, K. (2007). *Proceeding or ice, Geotechnical engineering, Speed and loading effects on pavement rutting*.
- Londoño, C. (2004). *Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto*. Medellín: Editorial Piloto S.A.
- McGhe, T. J. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Bogotá D.C: McGraw-Hill.
- McGraw-Hill Science & Technology Dictionary. (n.d.). *www.answers.com*. Retrieved Septiembre 2012, from <http://www.answers.com/topic/air-temperature>
- Ministere de l'Equipement des Transports et de Tourisme. (1994). *Conception en Dimensionnement des Structures de Chaussee*. Paris.
- Ministerio de Transporte. (2009). *Resolución 4100 de 2004 modificada mediante la resolución 1782 de 2009*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Transporte. (2011). *Decreto 015 del 6 de enero de 2011*. Bogotá D.C.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería para pavimentos de carreteras*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Muñoz, F. B., Fresno, D. C., & Oceja, M. G. (2000). *Definición, función y clasificación de los geotextiles*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria.
- Murillo, C. (2006). *CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ESTRUCTURAS MULTICAPA EN CENTRIFUGA EMPLEANDO ONDAS DE SUPERFICIE*. Bogotá.
- National Snow and Ice Data Center. (2012). *Arctic Climatology and Meteorology*. Retrieved 2012, from <http://nsidc.org/arcticmet/glossary/precipitation.html>
- PAVCO, G. (2011). *NEOWEB, Sistema de confinamiento celular, Soluciones para ingeniería civil*. Bogotá D.C.
- Pavement interactive <http://www.pavementinteractive.org/article/pavement-life-cycle/>. (2011). <http://www.pavementinteractive.org/article/pavement-life-cycle/>. Retrieved 2012.
- POA. (2002). *Practica recomendada para la ejecucion y control de calidad de los pavimentos articulados o en adoquines de concreto*.
- Programa de Investigación de Tránsito y Transporte (PIT). (2011-2012). *Toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte de Bogotá D.C*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de colombia.
- Queensland Government. (2010). *Road Drainage Manual*. Queens.
- Quintana, H. R., & Ansemil, L. M. (2010). Influencia del agua en el fenomeno de stripping en mexclas asfálticas: Estudio sobre el ligante. *Universidad e Ingeniería*.
- SALGADO TORRES M., P. A. (n.d.). *Análisis comparativo entre métodos para la medición de deflexiones en pavimentos flexibles*.
- Secretaria de Movilidad. (2010). *Movilidad en cifras*. Bogotá D.C.

GUÍA DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C			
CÓDIGO GLJC-019	PROCESO Innovación y Gestión del Conocimiento	VERSIÓN 1.0	

- Secretaría distrital de Ambiente. (2011). *Programa Distrital de Acción Frente al Cambio Climático - Informe Gestión*. Bogotá D.C.
- SETRA, S. d. (2003). *Retraitement en place à froid des anciennes chaussées*.
- Siddhartha, R., Agarwal, P. K., & Shrivastava, R. (2012). Drainage and flexible pavement performance. *International journal of engineering*.
- Spinel, S. C., Aragon, C. G., & Hormaza, B. C. (2002). *Revista de ingeniería, Universidad de los Andes, Efecto del clima sobre el desempeño de pavimentos*. Bogotá D.C.
- Torres, M., Alvarez, C. P., & Ballesteros, J. D. (n.d.). *Análisis comparativo entre métodos para la medición de deflexiones en pavimentos flexibles*.
- Troncoso Rivera, J. R. (2011). *Evaluación del espectro de carga y coeficientes de daño en el corredor de la Avenida Boyacá*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Universidad Nacional de Colombia. (2012). *Manual de diseño geométrico de para vías urbanas de la ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Universidad Politécnica de Cataluña. (n.d.). Retrieved Agosto 17, 2012, from <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/10/50777-10.pdf>
- Universidad Pontificia Bolivariana; Laboratorio de Arquitectura y Urbanismo LAUR; Instituto Colombiano de Produccion de Cemento. (2007). *Manual de diseno y construccion de los componentes del espacio publico*. Bogota D.C: Pro offset Editorial S.A.
- Wikipedia. (2012). Retrieved from <http://www.wikipedia.org/wiki/Bogotá>