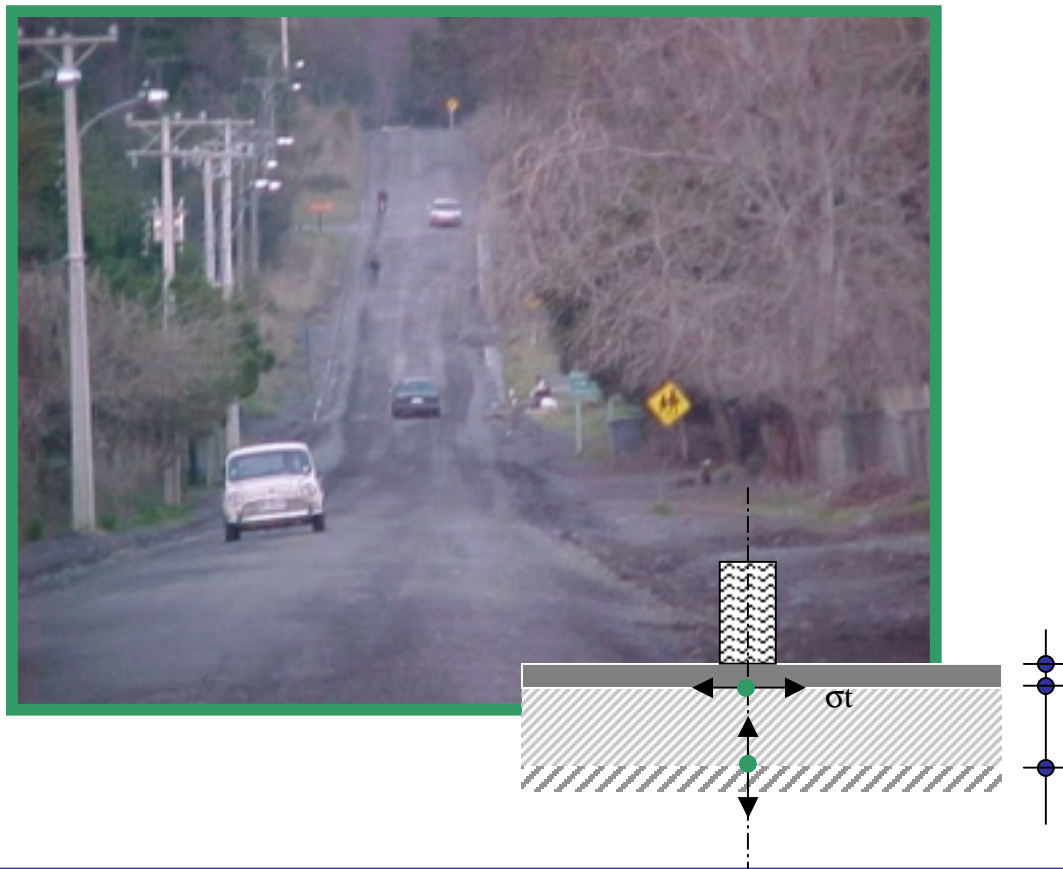


---

# GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

---

Dirección de Vialidad  
Ministerio de Obras Públicas



---

## Autores

**Guillermo Thenoux Z., Felipe Halles A., Álvaro González V.**

Centro Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC S.A.

Escuela de Ingeniería

Pontificia Universidad Católica de Chile

**Ernesto Barrera G., Juan Carlos Miranda A.**

Unidad de Gestión Vial

Dirección de Vialidad

Ministerio de Obras Públicas

Enero 2002

## INSTRUCTIVO DE USO

La guía entrega soluciones estructurales de pavimentos para caminos de “Bajo Volumen de Tránsito” considerando la siguiente información.

- ❑ Tipo de camino.
- ❑ CBR subrasante.
- ❑ TMDA el cual se transforma en Ejes Equivalentes.
- ❑ Clima.

La guía define los alcances del término “Bajo Volumen de Tránsito” y entrega una metodología para la selección de la información requerida y para la selección de la estructura de pavimento.

La guía entrega, en forma de cartilla, diferentes soluciones de estructuras para rangos pre-definidos de CBR y Ejes Equivalentes. Los diseños en cada celda de las cartillas se realizan para una confiabilidad del 50% considerando el límite inferior de CBR y el límite superior de Ejes Equivalentes. Esto significa que para cualquier otra combinación de CBR y Ejes Equivalentes dentro del rango de cada casilla el diseño tendrá una confiabilidad mayor.

Las cartillas deben ser utilizadas con conocimiento y criterio de ingeniería, y se recomienda una lectura previa de la guía para cuando esta se utilice por primera vez.

### Autores

Guillermo Thenoux Z.

Felipe Halles A.

Álvaro González V.

**CIIV - Centro Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC S.A.**

**Escuela de Ingeniería**

**Pontificia Universidad Católica de Chile**

Ernesto Barrera G.

Juan Carlos Miranda A.

**Unidad de Gestión Vial**

**Dirección de Vialidad**

**Ministerio de Obras Públicas**

Enero 2002

# INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	ANTECEDENTES DE LA GUÍA	
1.2	OBJETIVOS	
1.3	ALCANCE	
<b>2.</b>	<b>CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.....</b>	<b>4</b>
2.1	OBJETIVO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	
2.2	CONDICIONES DE LOS CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	
2.3	DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	
2.4	TIPOS DE PAVIMENTOS SEGÚN OBJETIVO	
2.4.1	Pavimentos Transitorios	
2.4.2	Pavimentos Para Bajo Volumen de Tránsito	
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS UTILIZADAS EN LA GUÍA.....</b>	<b>9</b>
3.1	ESTRUCTURACIONES TIPO	
3.2	ORGANIZACIÓN DE CARTILLAS DE DISEÑO	
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA DE DISEÑO.....</b>	<b>13</b>
4.1	PRINCIPIOS DE DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN	
4.2	MÉTODOS DE DISEÑO UTILIZADOS	
4.3	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	
<b>5.</b>	<b>CRITERIOS Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.....</b>	<b>19</b>
5.1	SERVICIABILIDAD	
5.2	TRÁNSITO DE DISEÑO	
5.2.1	Período de Diseño Estructural	
5.2.2	TMDA y Tasas de Crecimiento	
5.2.3	Estratigrafía de Carga	
5.2.4	Metodología para la Estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño	
5.2.5	Rangos de Ejes Equivalentes de Diseño	
5.3	SUELO DE SUBRASANTE	
5.3.1	Evaluación de la Capacidad de Soporte	
5.3.2	Tramificación del Proyecto y Determinación del Valor de Diseño	
5.3.3	Selección de Rangos de Capacidad de Soporte de Subrasante	
5.4	CLIMA	
5.4.1	Consideraciones Generales	
5.4.2	Selección de Cartilla de Diseño por Efecto Clima	

<b>6.</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE CARTILLA DE DISEÑO .....</b>	<b>33</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE CARTILLAS .....</b>	<b>34</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>9.</b>	<b>CARTILLAS DE DISEÑO .....</b>	<b>36</b>
	9.1 APLICACIÓN Y ESPECIFICACIONES	
	9.2 CARTILLAS	

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES DE LA GUÍA

Los caminos de bajo volumen de tránsito constituyen una parte importante de la red vial interurbana de Chile presentando una gran variedad de estándares tanto geométricos como en la calidad de su superficie de rodado. Los estándares que presentan los caminos de bajo volumen de tránsito en Chile, van desde caminos de tierra a caminos ripiados y caminos con estructuras de pavimentos con diferentes tipos de carpeta de rodado.

La situación prevaleciente de las plataformas de rodado existentes presenta los siguientes tipos de problemas:

- ❑ Superficie de rodado de baja funcionalidad (serviciabilidad) lo que conlleva a caminos con relativos altos costos operacionales.
- ❑ Superficie de rodado que presentan restricciones para ser utilizadas en todas las estaciones del año.
- ❑ Superficie de rodado que requieren una frecuencia relativamente alta de conservación.
- ❑ Polución ambiental por polvo en suspensión.
- ❑ Problemas de seguridad.

Una problemática importante de un gran número de caminos de bajo volumen de tránsito se relaciona con la relativa baja calidad funcional y estructural de sus pavimentos o superficies de rodado, otorgando bajo niveles de serviciabilidad y baja durabilidad. La problemática se relaciona en gran medida con la limitación de recursos de inversión para mejorar los estándares de este tipo de caminos así como la restricción de recursos para la conservación de estos mismos. Todo esto se traduce en que muchos caminos de bajo volumen de tránsito, cumplan sus funciones con importantes limitaciones funcionales (movilidad, accesibilidad y seguridad) y altos costos operacionales.

Otro problema asociado a este tipo de caminos es la poca oportunidad de realizar proyectos integrados de ingeniería que homogenicen y optimicen las soluciones de diseño. El nivel de ingeniería básica que se realiza para el diseño de este tipo de caminos en general no se realiza a un estándar similar al de un proyecto de ingeniería de caminos principales, sin embargo, dada la limitación de recursos que está presente en este tipo de inversiones, se considera importante contar con soluciones de ingeniería que otorguen una confiabilidad mínima a los proyectos. Una estrategia empleada por algunos países desarrollados es la utilización de diseños estándares para las diferentes condiciones que presenten los caminos de bajo volumen.

Existen diversos manuales utilizados en países tales como: Inglaterra (1), Sudáfrica(2), Australia (3), Francia (4) y España (5) que presentan soluciones de estructuras estandarizadas en forma de cartillas de diseño, sin embargo las situaciones particulares de

cada país, tales como suelo, clima, materiales y otros factores, recomiendan el diseño de estructuras propias.

Considerando todos estos aspectos discutidos es que la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas solicitó a la Universidad Católica de Chile la elaboración de una guía para el diseño estructural de caminos de bajo volumen de tránsito. La guía, tiene como uno de sus objetivos principales homogeneizar, estandarizar y optimizar las soluciones de ingeniería para caminos de bajo volumen de tránsito.

Los diseños presentados en la guía pueden ser utilizados directamente cuando no se cuente con los recursos de ingeniería necesarios para el desarrollo de un proyecto integral. En su defecto la guía también puede ser utilizada como referencia para el caso en que luego se pueda utilizar otra metodología que permita ajustar la confiabilidad del diseño.

Por otra parte, el diseño geométrico de estos caminos en general tiende a ajustarse a las condiciones geográficas del terreno, limitando el diseño de anchos de calzada, trazado en planta, trazado en elevación y la sección transversal. Desde el punto de vista del diseño geométrico también es conveniente estandarizar los diseños mínimos de este tipo de caminos. Para esto, se recomienda utilizar los diseños propuestos por la guía AASHTO “Guidelines for Geometric Design of Very Low-Volume Local Roads (6)”, sin perjuicio de poder utilizar diseños con estándares superiores.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo específico de la guía es presentar soluciones estructurales en forma de cartillas de diseño para caminos de bajo volumen de tránsito. Los objetivos generales son:

- ❑ Homogeneizar, estandarizar y optimizar las soluciones de ingeniería para caminos de bajo volumen de tránsito.
- ❑ Proporcionar a ingenieros viales del país soluciones estructurales de pavimentos lo más económicas posibles, pero que a su vez garanticen una vida útil de 5 o 10 años y un buen comportamiento ante eventuales sobrecargas de uso.

## 1.3 ALCANCE

La guía considera diseños para caminos de hasta 1 Millón de Ejes Equivalentes en la pista de diseño. Las características de los caminos diseñados abarcan la gran variedad de caminos Regionales y Comunales para usos productivos, servicio, turísticos y mixtos. La guía no es recomendable para caminos de explotación localizada tales como: caminos mineros, forestales y canteras con tránsito mayoritariamente o exclusivo de camiones con cargas pesadas.

La guía considera soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos, y que cuentan con referencias en la literatura

técnica. No considera dentro de sus soluciones estructurales aquellos estabilizadores químicos que no tengan suficiente respaldo técnico respecto de sus propiedades mecánicas y durabilidad. Sin embargo, dado que existe una oferta importante de diversos materiales y estabilizadores químicos la guía entrega una metodología para la posible incorporación de estos materiales siguiendo las pautas establecidas en la Norma Chilena NCh 2505 (7).

La guía contiene esencialmente los siguientes aspectos:

- ❑ Metodología para el estudio y selección de los rangos de tránsito de diseño.
- ❑ Metodología para el estudio y selección de los rangos de capacidad de soporte del suelo o subrasante.
- ❑ Metodología para determinar condiciones climáticas desfavorables.
- ❑ Hipótesis y fundamentos de diseño.
- ❑ Metodología y criterios para la selección del tipo de material, tipo de estructura y tipo de pavimento en función de las variables de clima, construcción, tránsito y suelo.
- ❑ Cartillas de diseño

Complementariamente a la guía, el CIIV (Centro de Ingeniería e Investigación Vial de la Escuela de Ingeniería de la P. Universidad Católica) preparó una memoria completa con el desarrollo teórico de todos los diseños que se proponen (8).



## 2. CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO: CONCEPTUALIZACIÓN

### 2.1 OBJETIVO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

El objetivo básico de los caminos de bajo volumen (muchos de ellos no pavimentados), es proporcionar accesibilidad a pueblos, poblados, centros de servicio, centros industriales de explotación y variados tipos de zonas rurales. Además, deben permitir el tránsito de diferentes tipos de vehículos durante todas las estaciones del año, asegurar una movilidad y velocidad adecuada, garantizar seguridad a peatones, vehículos motorizados y no-motorizados y controlar la emisión de polvo.

### 2.2 CONDICIONES DE LOS CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Una parte importante de los caminos de bajo volumen de tránsito se encuentra generalmente, en una proporción no pavimentados y otra proporción se encuentra con tratamientos superficiales o estructuras de pavimento asfáltico relativamente delgadas.

Los caminos no pavimentados presentan problemas y condiciones particulares en comparación con los caminos pavimentados, siendo las principales:

- ❑ El nivel de serviciabilidad de los caminos de grava y tierra varía significativamente en cortos períodos de tiempo, por ejemplo: una lluvia intensa puede cortar un camino durante uno o más días.
- ❑ Mayor frecuencia de conservación lo que genera mayores costos y restricciones al tránsito, produciendo un continuo impacto al usuario.
- ❑ Integración social: caminos en mal estado desincentivan la integración social, acceso a la salud, educación, cultura y turismo.
- ❑ Deterioro de la calidad de vida de los habitantes que se ven impactados por las emisiones de polvo.
- ❑ Deterioro ambiental: se considera como deterioro ambiental el impacto del polvo y material suelto en el entorno natural (árboles, plantas, cultivos, lagos, otros).
- ❑ Deterioro de los bienes: El material suelto y el polvo afectan la vida útil y desempeño de instalaciones urbanas (postes, alcantarillas, cables de servicios, otros). El polvo también afecta instalaciones y bienes privados, tales como viviendas e industrias, y afecta los artefactos e instalaciones dentro de éstas.
- ❑ Deterioro de los bienes que se transportan.
- ❑ Incremento de los costos de operación de los vehículos con relación a un camino pavimentado. El aumento de los costos depende del tipo de vehículo (liviano o pesado), velocidad de circulación, tipo de camino no pavimentado (tierra o ripio) y del nivel de deterioro.
- ❑ Disminución de la seguridad vial en el camino, la presencia de deterioros superficiales y la falta de visibilidad debida al polvo producen un mayor riesgo para los usuarios, lo que se traduce en un mayor número de accidentes.

Los caminos pavimentados de bajo volumen presentan otros problemas y condiciones especiales en comparación con los caminos pavimentados de redes principales:

- ❑ La vida útil de los pavimentos que se utiliza es relativamente corta.
- ❑ Control de pesos de camiones es casi nulo, produciéndose deterioros acelerados en períodos de invierno.
- ❑ Presentan alta incertidumbre respecto de los datos de tránsito.
- ❑ La calidad de los procesos constructivos tiende a ser menor, en particular cuando se utilizan técnicas constructivas semiartesanales.
- ❑ La conservación se realiza por lo general a destiempo.
- ❑ Los sistemas de drenaje que se diseñan tienden a ser insuficientes en parte importante de la longitud del proyecto.
- ❑ Al término de su vida útil, por lo general, requieren ser re-construidos perdiendo gran parte de la inversión realizada.

## 2.3 DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Generalmente, para los caminos de bajo volumen de tránsito se proponen soluciones relativamente económicas en comparación a caminos que soportan mayores volúmenes, sin embargo, es común ver que para este tipo de caminos la economía se traduce en una reducción de estándares en general, así como la utilización de soluciones de pavimentación con limitado respaldo de estudios de ingeniería.

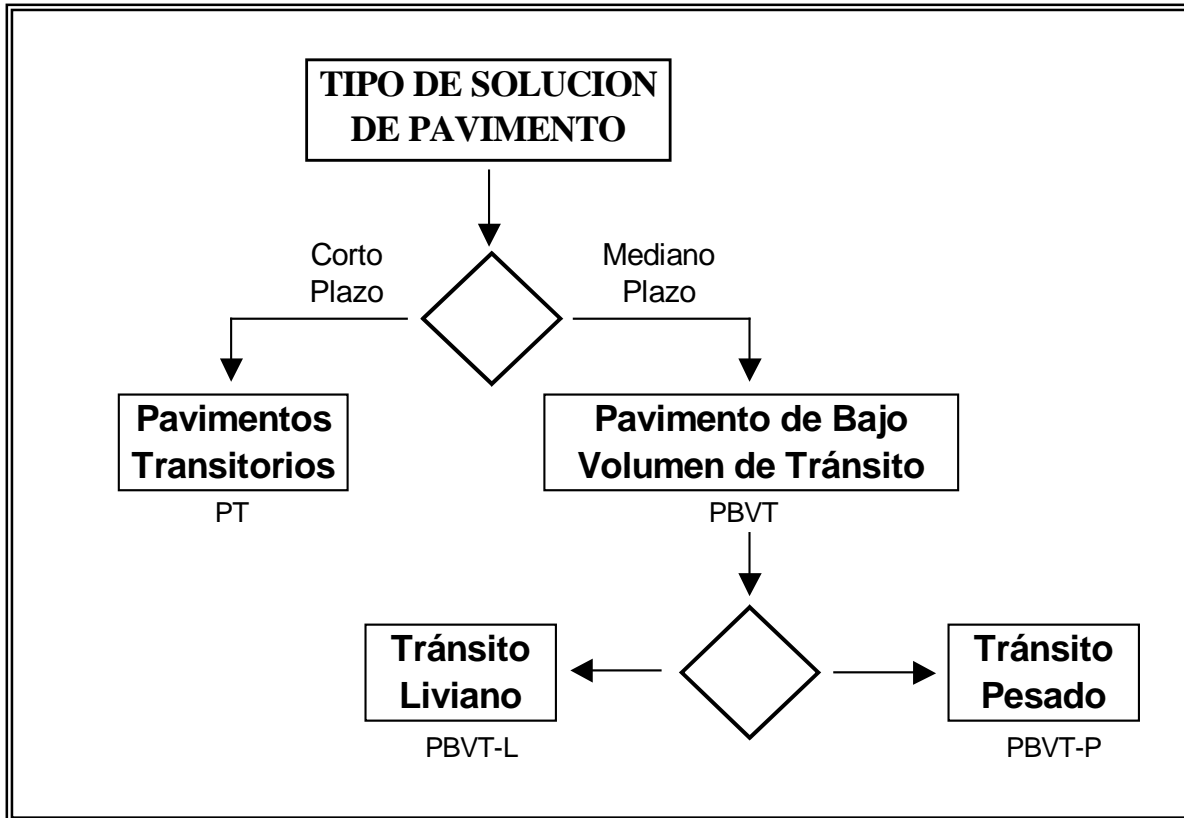
Para un proyecto de inversión en un camino de bajo volumen de tránsito se requiere en la actualidad cumplir con estándares mínimos de diseño geométrico (longitudinal y transversal), señalización y una ingeniería de diseño estructural de pavimentos mínima que permita garantizar la durabilidad de la solución entregada y a su vez justificar económicamente la solución escogida.

Para dar cabida a la gran variedad de soluciones utilizadas en la construcción de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito en Chile, la guía considera dos grupos de soluciones las cuales se diferencian en los procedimientos de análisis, diseño y selección del tipo de estructura.

- Aquellos caminos de bajo volumen que se resuelvan con una solución de ingeniería propuesta por la guía se les denominará “Pavimentos para Bajo Volumen de Tránsito”.
- Dado que existe una necesidad de abordar y resolver problemas de una cantidad muy elevada de caminos de bajo volumen de tránsito, la guía no desestima el uso de soluciones intermedias con estándares geométricos y estructura de pavimento menores a los mínimos, por lo tanto, aquellos caminos en que la solución de pavimentación no pueda ser garantizada por alguna metodología de diseño estructural se denominarán “Pavimentos Transitorios”.

El esquema de análisis para definir los diferentes grupos de soluciones se resume en la **Figura 1**.

**Figura 1: Esquema de Análisis para Selección del Tipo de Solución**



### 2.3.1 Pavimentos Transitorios

Se consideran pavimentos transitorios a aquellas soluciones de pavimentación de corto plazo (1 a 3 años). No se espera necesariamente que la estructura utilizada pueda ser reforzada o ser reutilizada al término de su vida útil, no obstante se recomienda que la solución utilizada pueda formar parte de la base de una estructura futura de más características constructivas más definitivas.

Los pavimentos transitorios tienen como objetivo principal resolver problemas funcionales de caminos no pavimentados de muy bajo estándar. Según sea el tipo de solución utilizada, se pueden resolver uno o más de los siguientes tipos de problemas:

- ❑ Emisión de polvo.
- ❑ Formación de calaminas.
- ❑ Pérdida de material grueso y formación de baches.

- ❑ Susceptibilidad al agua.
- ❑ Mejoramiento de la subrasante.
- ❑ Uso de materiales marginales para la construcción de bases y carpetas de rodado.

Para la construcción de pavimentos transitorios se pueden utilizar una amplia variedad de soluciones constructivas, entre el tipo de solución constructivas más utilizadas se considera principalmente la estabilización química. La utilización de estabilizadores químicos en pavimentos transitorios estarán sujetos necesariamente a un análisis estructural, pero su utilización queda supeditada a la certificación de la Dirección de Vialidad del MOP u organismos que la Dirección de Vialidad reconozca como válidos para este efecto. Se recomienda que para el empleo de estabilizadores químicos se utilice como metodología de certificación la Norma Chilena “Estabilización Química de Suelos” (6) .

### 2.3.2 Pavimentos para Bajo Volumen de Tránsito

El criterio utilizado en el diseño de este tipo de pavimentos considera una estructura no transitoria, es decir considera una estructura de pavimento que soportará el tránsito de diseño y, que en la eventualidad de aumentar el volumen de tránsito, ésta puede ser reforzada sin modificar significativamente la estructura del pavimento existente.

Los pavimentos para bajo volumen de tránsito constituyen soluciones de pavimentación cuyo diseño está justificado estructuralmente para las tensiones y deformaciones de trabajo y comportamiento a la fatiga. Se definen dos tipos de pavimentos de bajo volumen de tránsito, a saber:

- ❑ Estructuras de pavimentos para caminos de tránsito liviano.
- ❑ Estructuras de pavimentos para caminos de tránsito pesado.

#### a) Estructuras de Pavimentos para Caminos de Tránsito Liviano:

Se consideran dentro de esta categoría aquellos caminos cuyo flujo principal de vehículos, es de tránsito liviano con un porcentaje bajo de vehículos pesados. En esta categoría entran caminos tales como: caminos de accesos a balnearios, zonas turísticas, poblados pequeños, colegios u otras zonas de servicios. El tránsito de diseño esperado para 5 o 10 años es menor a 150.000 Ejes Equivalentes en la pista de diseño. En el caso particular de este tipo de pavimentos el estudio de tránsito debe estar respaldado por un análisis que garantice que luego del mejoramiento que se le realice al camino, estos seguirán siendo solicitados sólo por tránsito liviano.

Este tipo de estructura no se rige por el comportamiento a la fatiga, debido al bajo volumen de tránsito pesado que poseen. Lo anterior significa que los diseños recomendados no se diferencian por rangos de tránsito. Las soluciones propuestas sólo consideran diferentes rangos de capacidad de soporte de la subrasante.

Este tipo de estructura se rige por el máximo estado de tensiones de trabajo probable de ocurrencia considerando un camión tipo, con un eje simple rueda doble (ESRD) de

11 toneladas. Esta consideración se basa en que este tipo de caminos tienen una probabilidad cierta de tránsito de camiones locales o de servicio y se asume, que por el tipo de servicio que ofrecen, una gran proporción de ellos transita dentro de los límites legales de peso.

**b) Estructuras de Pavimentos para Caminos de Tránsito Pesado**

Se considera dentro de esta categoría aquellos caminos cuyo porcentaje de vehículos pesados es mayor a 15-20% del flujo total y los ejes equivalentes estimados son menores a 1 millón en la pista de diseño.

En esta categoría entran caminos principalmente asociados a zonas con actividad industrial, agrícola, ganadera o de servicios. Este tipo de estructuras estará regido por el comportamiento a la fatiga y a una probabilidad de sobrecargas de trabajo, superiores a las máximas permitidas. En el presente estudio se consideró como sobrecarga representativa un eje simple rueda doble (ESRD) de 15 y 20 toneladas de peso para verificar el comportamiento de las estructuras a las tensiones de trabajo. Esta última consideración se basa en estudios realizados en diferentes caminos de explotación donde se detectan porcentajes altos de vehículos pesados con cargas mayores a las permitidas. Para este tipo de pavimentos se ofrecen una variedad de soluciones constructivas considerando diferentes combinaciones de materiales y diferentes estructuraciones.

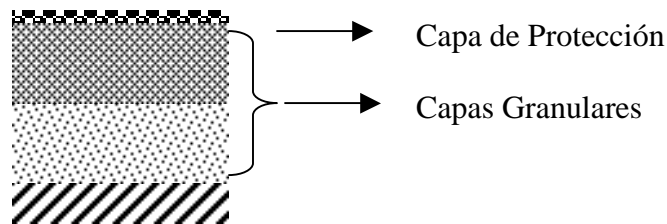
### 3. DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS UTILIZADAS EN LA GUÍA

La guía de diseño estructural propone la utilización de distintos tipos de estructuras de pavimentos. En la Sección 3.1 se presentan los tipos de estructuraciones empleadas y en la Sección 3.2 se presenta la organización de las cartillas según tipo de estructuración, tipo de tránsito y tipo de clima.

#### 3.1 ESTRUCTURACIONES TIPO

La guía considera cuatro tipos de estructuraciones:

##### Estructuras Tipo 1: Estructuras Granulares con Capa de Protección

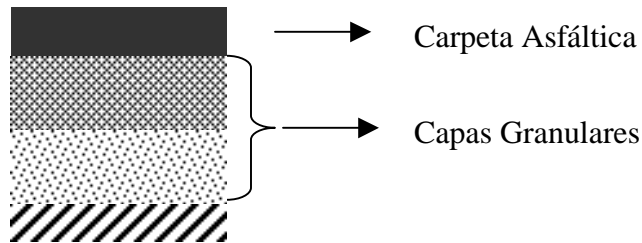


Las especificaciones consideradas para el diseño son:

- ❑ Considera para la superficie de rodado una capa de protección del tipo: Tratamientos Superficiales Simples o Dobles (TSS o TSD), Cape Seal y otros.
- ❑ Considera siempre una base granular de CBR 100%.
- ❑ Considera, según condiciones de terreno, una subbase granular de CBR 50% o 40%.
- ❑ También considera para condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte, un reemplazo de suelos o construcción de terraplén con materiales granulares de CBR 20%.
- ❑ Considera diseños para condición seca, condición normal y condición saturada.

Este tipo de estructura se emplea tanto en las cartillas de “Tránsito Liviano” como de “Tránsito Pesado”.

## Estructuras Tipo 2: Estructuras Granulares con Carpeta Asfáltica



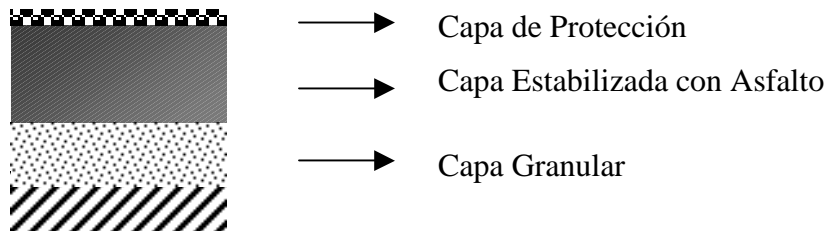
Las especificaciones consideradas para el diseño son:

- ❑ Considera para la superficie de rodado una carpeta asfáltica delgada.
- ❑ Considera una base granular de CBR 100% o 80% según el espesor que se emplee para la carpeta asfáltica.
- ❑ Considera una subbase granular de CBR 40%.
- ❑ También considera para condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte un reemplazo de suelos o construcción de terraplén con materiales granulares de CBR 20%.
- ❑ Considera diseños para condición saturada y condición normal.

Este tipo de estructuras se emplea sólo en las cartillas de “Tránsito Pesado”.

**Nota:** *Este tipo de estructura es muy sensible a fallar por fatiga (Carpeta Asfáltica) en presencia de sobrecargas de tránsito.*

## Estructuras Tipo 3: Estructuras con Base Estabilizada con Asfalto y Capa de Protección

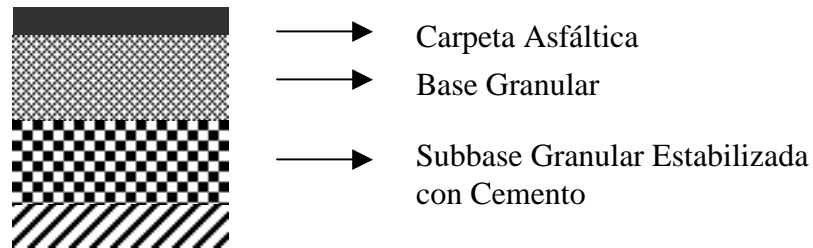


Las especificaciones consideradas para el diseño son:

- ❑ Considera para la superficie de rodado una capa de protección del tipo: Tratamientos Superficiales Simples o Dobles (TSS o TSD), Cape Seal y otros.
- ❑ Considera una base estabilizada con asfalto. Se recomienda en particular la técnica de asfalto espumado o alternativamente emulsión asfáltica.
- ❑ También considera una alternativa de subbase granular de CBR 40% cuando se requiere.

Este tipo de estructuras se emplea sólo en las cartillas de “Tránsito Pesado”.

## Estructuras Tipo 4: Estructuras Granulares con Subbase Estabilizada con Cemento y Carpeta Asfáltica



Las especificaciones consideradas para el diseño son:

- ❑ Considera para la superficie de rodado una estructura de pavimento asfáltico delgada.
- ❑ Considera una base granular de CBR 100% o 80% según el espesor que se emplee para la carpeta asfáltica.
- ❑ Considera una subbase cementada con una resistencia a la compresión no confinada (UCS) para dos rangos: 0,5 - 0,75 MPa o 0,75-1,5 MPa.

Este tipo de estructuras se considera sólo en las cartillas de “Tránsito Pesado”.

### Recomendaciones Generales

- ❑ Para la construcción de capas de protección se recomienda la utilización de la Guía de Construcción de Sellos elaborado por el Centro de Ingeniería e Investigación Vial (CIIV) de la Pontificia Universidad Católica de Chile para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile (9).
- ❑ Las carpetas asfálticas podrán requerir de un sello de conservación dentro del período de diseño estructural establecido.
- ❑ Las capas de protección podrán requerir una conservación tipo: Riego neblina o lechada asfáltica, dentro del período de diseño estructural establecido.

### 3.2 ORGANIZACIÓN DE CARTILLAS DE DISEÑO

Las cartillas de diseño se agrupan en función de 2 variables principales: Tipo de Tránsito (Liviano o Pesado) y Tipo de Clima (Seco, Normal, Saturado). El **Cuadro 1**, presenta la organización con la cual se configura cada una de las 10 cartillas de la guía.

**Cuadro 1: Organización de Cartillas**

		<b>ESTRUCTURA TIPO</b>			
<b>TRÁNSITO</b>	<b>CLIMA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Liviano</b>	<b>Seco</b>	Cartilla N° 1			
	<b>Normal</b>	Cartilla N° 2			
	<b>Saturado</b>	Cartilla N° 3			
<b>Pesado</b>	<b>Seco</b>	Cartilla N° 4			
	<b>Normal</b>	Cartilla N° 5	Cartilla N° 7	Cartilla N° 9	Cartilla N° 10
	<b>Saturado</b>	Cartilla N° 6	Cartilla N° 8	Cartilla N° 9	Cartilla N° 10

## 4. METODOLOGÍA DE DISEÑO

### 4.1 CRITERIOS DE DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN

Los principios de diseño utilizados buscan obtener estructuras optimizando el costo, la capacidad estructural, aspectos constructivo y durabilidad. Para lograr esta optimización se busca:

- Producir un balance estructural entre las capas de modo que las propiedades de cada capa tengan relación con las tensiones específicas a las cuales están sometidas según la profundidad de cada una.
- Balancear la vida útil de las diferentes capas estructurales, otorgándole mayor vida útil a las capas inferiores, dado que siempre es más fácil reforzar o reparar las capas superiores.
- Hacer uso de asfalto o cemento en el mejoramiento de aquellas capas que mejor aprovechan las propiedades aglomerantes de estos materiales.
- Diseñar para un buen comportamiento ante eventuales sobrecargas, es decir, que resistan las tensiones máximas por sobrecargas con un 50% de confiabilidad.
- Diseñar con una resistencia a la fatiga para un período medio entre 5 y 10 años.
- Presentar varias alternativas de diseño que permitan optimizar el uso de materiales locales.

### 4.2 MÉTODOS DE DISEÑO UTILIZADOS

La guía de diseño estructural de pavimentos se elaboró utilizando un método analítico (o mecanicista) de análisis multicapa. Se utilizaron además métodos empíricos para diversos otros análisis y verificación de resultados (AASHTO y Morín Todor).

Se utilizaron en forma conjunta los métodos analíticos de Shell y el método desarrollado por CSIR en Sudáfrica. Ambos métodos utilizan los mismos principios para determinar el estado de tensiones de la estructura, diferenciándose en las ecuaciones y criterios utilizados para determinar la resistencia a la fatiga de los materiales.

El método de diseño Shell así como el método propuesto por el CSIR de Sudáfrica tienen una secuencia similar de análisis el cual se resume en la **Figura 2**. Ambos métodos utilizan para el diseño estructural, las tensiones y deformaciones que se originan en posiciones críticas dentro del paquete estructural, producto de las solicitaciones de tránsito existentes durante el período de diseño.

Para el análisis a la fatiga de los materiales, las solicitaciones de tránsito se caracterizan a través de un eje estándar. En la presente guía se utilizó específicamente la configuración de eje que muestra la **Figura 3**, la cual corresponde a un eje simple rueda doble (ESRD) de 80

KN (8,16 Ton), con una presión de contacto de 600 KPa y una separación entre ruedas de 35 cm.

Figura 2: Procedimiento de Diseño Mecanicista

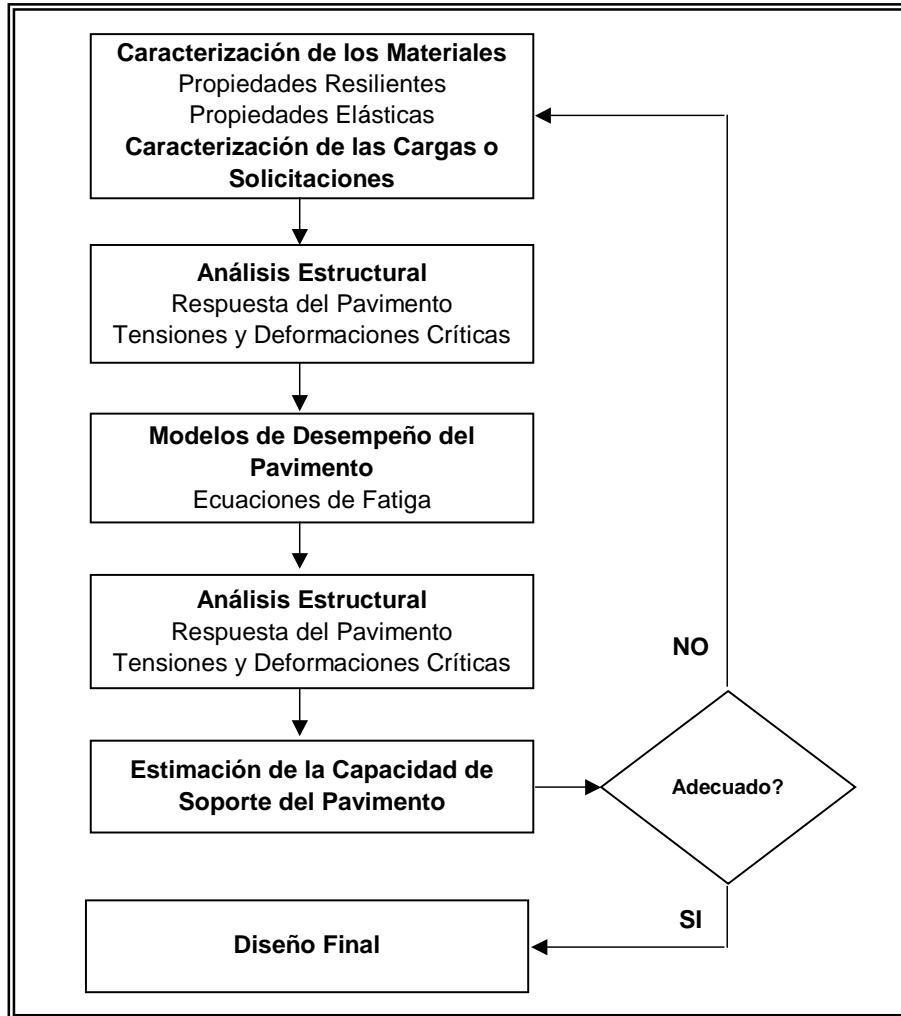
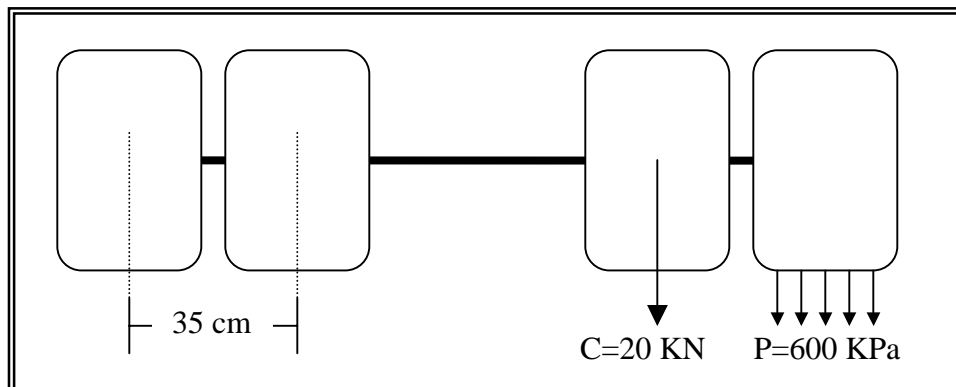


Figura 3: Configuración del Eje Estándar



Para la caracterización de los materiales se utiliza el espesor de las capas y las propiedades elásticas de éstas (Módulo Resiliente y Módulo de Poisson).

En la presente guía se adoptaron las ecuaciones de fatiga desarrolladas por el CSIR, las cuales incluyen los siguientes tipos de estructuras:

- Capas de Asfalto
  - Delgadas: Espesores de 40 a 70 mm (Carpetas de Rodado)
- Bases y Subbases Granulares
- Bases Estabilizadas con Asfalto
- Subbase Cementada
- Subrasante Granular

Cada una de estas ecuaciones de fatiga se explican en mayor detalle a continuación.

**a) Capas de Asfalto:**

Las capas de asfalto pueden estar compuestas por concreto asfáltico en caliente. El modelo de falla está dado por la aparición de una fisura en la base de la capa. El criterio de falla que considera el modelo está dado por la aparición de fisuras en la superficie de la capa, lo cual se relaciona por medio de un coeficiente denominado “Shift Factor”, el cual depende del espesor de la capa y varía entre 2 y 10.

La cantidad de fisuras existentes en la superficie está asociada a la confiabilidad que se le asigna a la estructura (calzada), por lo que existen distintos modelos para cada una de las confiabilidades asignadas. Las ecuaciones de transferencia (ecuaciones de fatiga) utilizadas para las capas flexibles son las siguientes:

$$N = 10^{A \times \left( 1 - \frac{\text{Log}(e_t)}{B} \right)}$$

- A, B: Valores que dependen de la confiabilidad asociada y del tipo de mezcla utilizada
- $e_t$ : Deformación de tracción en la parte inferior de la capa
- N: Ejes Equivalentes Admisibles

Aquellas estructuras de pavimentos que tengan una carpeta asfáltica de rodado, se diseñan para que al término de su vida estructural puedan ser reemplazadas o recicladas otorgándole al pavimento un nuevo período de vida estructural.

## b) Bases y Subbases Granulares:

Para las capas compuestas por material granular, el criterio de falla está dado por la deformación de la estructura granular debido a las tensiones de corte, bajo cargas repetidas de tráfico. Las ecuaciones de transferencia (ecuaciones de fatiga) para las capas granulares son las siguientes:

$$N = 10^{(A \times F + B)} \quad F = \frac{\sigma_3 \times \phi + c_{term}}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

N: Ejes Equivalentes Admisibles

A, B: Valores que dependen de la confiabilidad asociada

$\sigma_1$ : Tensión de compresión en la parte media de la capa

$\sigma_3$ : Tensión de tracción en la parte media de la capa

$\phi$ : Angulo de Fricción Interna

$c_{term}$ : Cohesión

## c) Subrasante:

Para la subrasante, el criterio de falla está dado por una deformación vertical permanente de 10 o 20 mm en la superficie de la subrasante. Las ecuaciones de transferencia (ecuaciones de fatiga) para la subrasante son las siguientes:

$$N = 10^{(A - 10 \times \text{Log}(e_v))}$$

N: Ejes Equivalentes Admisibles

A: Valor que depende de la confiabilidad y el tipo de deformación asociada

$e_v$ : Deformación vertical en la superficie de la subrasante

## d) Subbase Cementada

La capa cementada presenta dos condiciones de falla: fatiga y “crushing” (separación del material cementado y aplastamiento). Estas dos condiciones de falla se producen en serie. Es decir, una vez que la base o subbase cementada fallan por agrietamiento a la fatiga se considera que la capa cementada pierde esas características pero, continua resistiendo como un material granular el cual falla luego por deformación. Las ecuaciones de fatiga utilizadas.

**Fatiga:** El parámetro crítico es la deformación unitaria máxima ( $e_t$ ) en la parte inferior o dentro de la capa:

$$N = 10^{A \times \left(1 - \frac{e_t}{B \times e_b}\right)}$$

N: Ejes Equivalentes Admisibles  
 A,B: Valores que dependen de confiabilidad asociada  
 e<sub>t</sub>: Deformación máxima en la capa  
 e<sub>b</sub>: Deformación para la rotura del material

“Crushing”: Deformación en la parte superior de la capa.

$$N = 10^{A \times \left(1 - \frac{\sigma_v}{B \times UCS}\right)}$$

N: Ejes Equivalentes Admisibles  
 A,B: Valores que dependen de confiabilidad asociada y tipo de “Crushing” o “Aplastamiento”  
 σ<sub>v</sub>: Tensión vertical en la superficie de la capa  
 UCS: Resistencia a la compresión no confinada

### 4.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales adoptados son las siguientes:

#### a) Capas Flexibles:

Los tipos de capas flexibles consideradas para el diseño son concreto asfáltico en caliente y base estabilizada con asfalto. Las capas quedan especificadas por su Módulo Resiliente las cuales se presentan en **Cuadro 2**.

**Cuadro 2: Propiedades de las Capas Flexibles**

Capa Flexible	Módulo Resiliente (MPa)
Concreto Asfáltico	5400
Base Estabilizada con Asfalto	2000

#### b) Material Granular:

Se considera la utilización de bases granulares de CBR 100% y 80%, y subbases granulares de CBR 50% y 40%. En algunos de los diseños se consideran reemplazos o terraplenes de CBR 20%. Para el diseño estructural se corrige el CBR especificado en función del espesor de capa y CBR de la subrasante utilizando la fórmula Shell. El **Cuadro 3** muestra los valores corregidos para el diseño.

**Cuadro 3: Propiedades de Materiales Granulares**

Subrasante		Módulo Resiliente (MPa)				
		Granular: Base + Subbase (mm)				
CBR (%)	Módulo (MPa)	200	250	300	350	400
3	35	76	84	91	98	104
5	50	109	120	130	140	148
7	60	130	144	156	168	178
10	75	163	180	195	209	222
15	100	217	240	261	279	297
20	115	250	276	300	321	341
30	145	315	348	350	350	350
40	170	350	350	350	350	350
50	190	350	350	350	350	350

**Nota 1:** Se adoptó un valor máximo de diseño de 350 MPa para el paquete granular sobre la base a experiencias internacionales (Australia, Francia, Sudáfrica).

**Nota 2:** Los valores corregidos para el diseño podrán ser diferentes al valor mínimo definido para las bases por las especificaciones técnicas.

**c) Pavimentos con Subbase Cementada:**

La guía incluye una cartilla con una estructuración tipo que utiliza una subbase estabilizada con cemento. Las estructuras propuestas sólo incluyen los rangos de tránsito T3 y T4. Lo anterior se debe a que la capacidad estructural que se logra con este tipo de estructuras de pavimentos no se justifica para rangos menores de tránsito.

La guía propone dos soluciones para cada rango de tránsito y capacidad de soporte de suelo, según dos calidades de subbase cementada. La calidad de la subbase cementada queda especificada por su resistencia a la Compresión No Confinada (CNC o UCS) del **Cuadro 4**.

**Cuadro 4: Propiedades Subbases Cementadas**

Tipo de Subbase Cementada	UCS (MPa)
Calidad 1	0,5 – 0,75
Calidad 2	0,75 – 1,5

Para los procedimientos de diseño de mezcla y las consideraciones de construcción se recomienda la utilización del Manual de Carreteras, Volumen 5, Dirección de Vialidad del MOP u otras referencias internacionales (9,10).

## 5. CRITERIOS Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

### 5.1 SERVICIABILIDAD

Los criterios de falla de los métodos de diseño mecanicistas utilizados no se relacionan con el concepto de serviciabilidad PSI o IRI, por lo cual se recomiendan los siguientes criterios de serviciabilidad:

- ❑ Los pavimentos definidos como transitorios sólo se les exigirán estándares básicos de serviciabilidad tal que permitan llevar a cabo con seguridad el objetivo para los cuales han sido propuestos (control de polvo y transitabilidad).
- ❑ Para los pavimentos de bajo volumen de tránsito se recomienda un IRI inicial de máximo 3,0 m/km y un IRI terminal de máximo 8,0 m/km, sin perjuicio de poder utilizar estándares más exigentes.

### 5.2 TRÁNSITO DE DISEÑO

Dado que los vehículos livianos no contribuyen significativamente al daño estructural de las capas del pavimento, se consideran sólo los vehículos pesados para estimar la cantidad de solicitaciones que afectarán al camino durante su vida de servicio. La guía utiliza para el diseño los Ejes Equivalentes acumulados para el período de diseño.

Para determinar los Ejes Equivalentes de diseño se requerirá de la siguiente información:



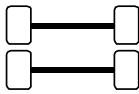
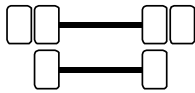
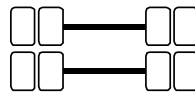
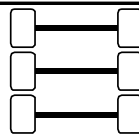
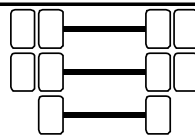
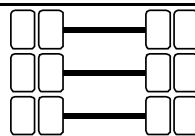
- ❑ Período de diseño estructural
- ❑ TMDA y Tasa de Crecimiento
- ❑ Estratigrafía de carga de vehículos pesados

Con esta información la guía propone una metodología simplificada para la estimación de los Ejes Equivalentes de diseño. La información debe ser lo más cercana a la realidad y no se recomienda aplicar factores de seguridad propios debido a que la cartilla resume la información en cinco rangos de Ejes Equivalentes y utiliza valores discretos en su metodología.

En la guía de diseño, se definen los vehículos pesados de acuerdo a la clasificación utilizada por la Dirección Nacional de Vialidad, es decir, buses, camiones de 2 ejes y camiones de más de 2 ejes. Cada uno de estos vehículos definidos anteriormente posee limitaciones de carga máxima, las cuales se presentan en el **Cuadro 5**, y deben ser muy bien controladas durante la vida de servicio, particularmente en los pavimentos de bajo volumen de tránsito. Esto último, debido a que las sobrecargas se tornan críticas para el desempeño de los pavimentos, particularmente estas capas de rodadura de bajo espesor.

A continuación se presenta los criterios recomendados para la obtención de los datos requeridos para el cálculo de los Ejes Equivalentes.

**Cuadro 5: Límites de Carga por Tipo de Eje**

<b>EJES CONVENCIONALES</b>			
<b>EJES</b>		<b>LIMITE (Ton)</b>	<b>TOLERANCIA</b>
	RS	7	0,5
	RD	11	0,5
	2RS	14	0,6
	RD+RS	16	0,6
	2RD	18	0,7
	3RS	19	0,7
	2RD+RS	23	1,0
	3RD	25	1,0
Peso Bruto Total		45	1,0

### 5.2.1 Período de Diseño Estructural

El período de diseño estructural corresponde al período en el cual el pavimento construido debe proveer un adecuado nivel de servicio que asegure movilidad, accesibilidad y seguridad considerando sólo la conservación rutinaria. Para lo anterior, es indispensable que el pavimento posea estándares mínimos de conservación.

La guía utiliza dos períodos de diseño estructural de tal forma de otorgar una mayor flexibilidad a la metodología de diseño. Los períodos son de 5 y 10 años. Si dentro de esos períodos se excede significativamente los Ejes Equivalentes de diseño no se recomienda el uso de los diseños que se presentan en la guía.

### 5.2.2 TMDA y Tasas de Crecimiento

La estimación de los flujos de tránsito es una de las etapas críticas durante el proceso de diseño estructural de pavimentos, primero por que no es muy usual contar con buenos registros de tránsito en este tipo de vías, segundo por que normalmente presentan importantes variaciones estacionales de tránsito y tercero debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del futuro flujo vehicular una vez realizado los mejoramientos de estándar del camino.

La estimación del tránsito generado que producen los cambios de estándar de caminos de bajo volumen de tránsito, son uno de los mayores problemas a los cuales se enfrenta el diseñador al momento de estimar los flujos futuros de tránsito. Si bien existen casos especiales en que este aspecto se transforma en un problema real, los estudios internacionales analizados en general no consideran este efecto significativo, debido a que la tasa de crecimiento tiende a estabilizarse en los años posteriores al cambio de estándar. La guía considera este efecto por medio del manejo de las tasas de crecimiento en el cálculo de los flujos totales de tránsito para todo el período de diseño. De esta forma, las tasas de crecimiento utilizadas fueron de 4 % para el caso normal y de 7 % para el caso de existir tránsito generado.

### 5.2.3 Estratigrafía de Carga

La estratigrafía de carga permite definir cual es la real influencia que tiene cada tipo de vehículo sobre las solicitaciones totales de tránsito representadas por medio de los ejes equivalentes de tránsito. En Chile, el peso del eje estándar para el cálculo de los Ejes Equivalentes de diseño (EEq) está definido en 80 KN. No obstante lo anterior, es necesario mencionar el problema que existe para controlar las normas de cargas máximas para los vehículos pesados, sobretodo a lo largo de la red vial comunal de nuestro país. Esto implica que las estimaciones de las solicitaciones realizadas para la vida de servicio del pavimento pueden estar subestimadas, provocando que el camino analizado tenga una duración menor a la prevista.

Para efectos del cálculo de los Ejes Equivalentes, la guía define dos tipos de estratigrafía:

- Estratigrafía para caminos de tránsito liviano (Eliv): Utilizada en caminos con tránsito liviano y un porcentaje menor al 15% de buses y camiones de 2 ejes, con presencia casi nula de camiones de más de dos ejes. Esta estratigrafía está asociada a caminos por los cuales transitan automóviles y vehículos pesados de servicios básicos.
- Estratigrafía para caminos de tránsito pesado (Epes): Utilizada en caminos con una variedad de vehículos pesados, que poseen vehículos de 2 ejes y de más de 2 ejes. Esta estratigrafía está asociada a caminos en que el flujo de tránsito es compartido por vehículos livianos de servicio y camiones asociados a operaciones industriales, agrícolas, ganaderas, forestales y mineras. Esta estratigrafía no se ajusta a caminos de explotación exclusiva (forestales, mineros u otros).

Cada una de las estratigrafías definidas se estableció a partir de un estudio realizado a los censos de tránsito en diferentes tipos de caminos de modo tal, de poder definir distribuciones vehiculares típicas de los variados tipos de uso que tienen los caminos con bajo volumen de tránsito. Basado en las distribuciones de tránsito estudiadas y utilizando la estratigrafía media del Manual de Carreteras (Buses = 1,3745; Cam2Ejes = 1,4237 y Cam+2Ejes = 4,0057) se calcularon las siguientes estratigrafías ponderadas para cada tipo de camino: Eliv = 1,7892 y Epes = 2,2471.

#### 5.2.4 Metodología para la Estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño

Para la determinación de los Ejes Equivalentes de diseño, se debe seguir el procedimiento descrito a continuación.

- Definir el período de diseño. El período de diseño utilizado es 5 o 10 años
- Estimar el número de vehículos pesados que transitan por el camino en un sentido (buses, camiones de 2 ejes y camiones de más de 2 ejes). Para la estimación de este valor es posible realizar una o más de las siguientes acciones:
  - Conteo de los vehículos pesados en ambos sentidos durante 12 horas en horario diurno. Aplicación de coeficientes estacionales en función del período durante el cual se realizó el conteo. Generalmente se recomienda realizar el conteo en una semana hábil normal, preferentemente miércoles y excepcionalmente martes y jueves, sin embargo es posible que el camino local tenga otro día que resulte más representativo para el conteo por lo cual esta medición queda sujeta a las recomendaciones locales.
  - Obtener una estimación analizando otros caminos cercanos al proyecto en estudio, los cuales estén incluidos en el censo de tráfico y que estén emplazados en una zona con el mismo uso de tierra de tal forma de concluir que poseen similar distribución vehicular y por lo tanto de vehículos pesados.
  - Realizar encuestas origen destino en el mismo camino.

- Definir la tasa de crecimiento de los vehículos. La metodología permite definir dos tasas de crecimiento, 4 y 7%. La elección de una u otra depende de quién realiza el análisis, sin embargo se recomienda la utilización de la tasa de 4% salvo en el caso en que se puede afirmar con seguridad que el cambio de estándar del camino producirá un tránsito generado significativo.
- Definir el tipo de estratigrafía de carga que poseen los vehículos pesados que transitan (o transitarán) por el camino en estudio. La vinculación del camino analizado a una de las dos clases de caminos definidos, permite asignarle una estratigrafía de carga representativa. La guía define dos tipos de estratigrafía de carga, una para caminos de tránsito liviano (Eliv) y otra para caminos de tránsito pesado (Epes).
- Una vez definidas cada una de las variables, con los vehículos pesados por sentido se ingresa por el eje de las abscisas al diagrama de la **Figura 4a y 4b**. Se selecciona la recta correspondiente al período de diseño, tasa de crecimiento y tipo de estratigrafía de carga, y se obtiene en el eje de las ordenadas los EEq de diseño.

**Figura 4a: Estimación Ejes Equivalentes de Diseño. Estratigrafía Liviana**

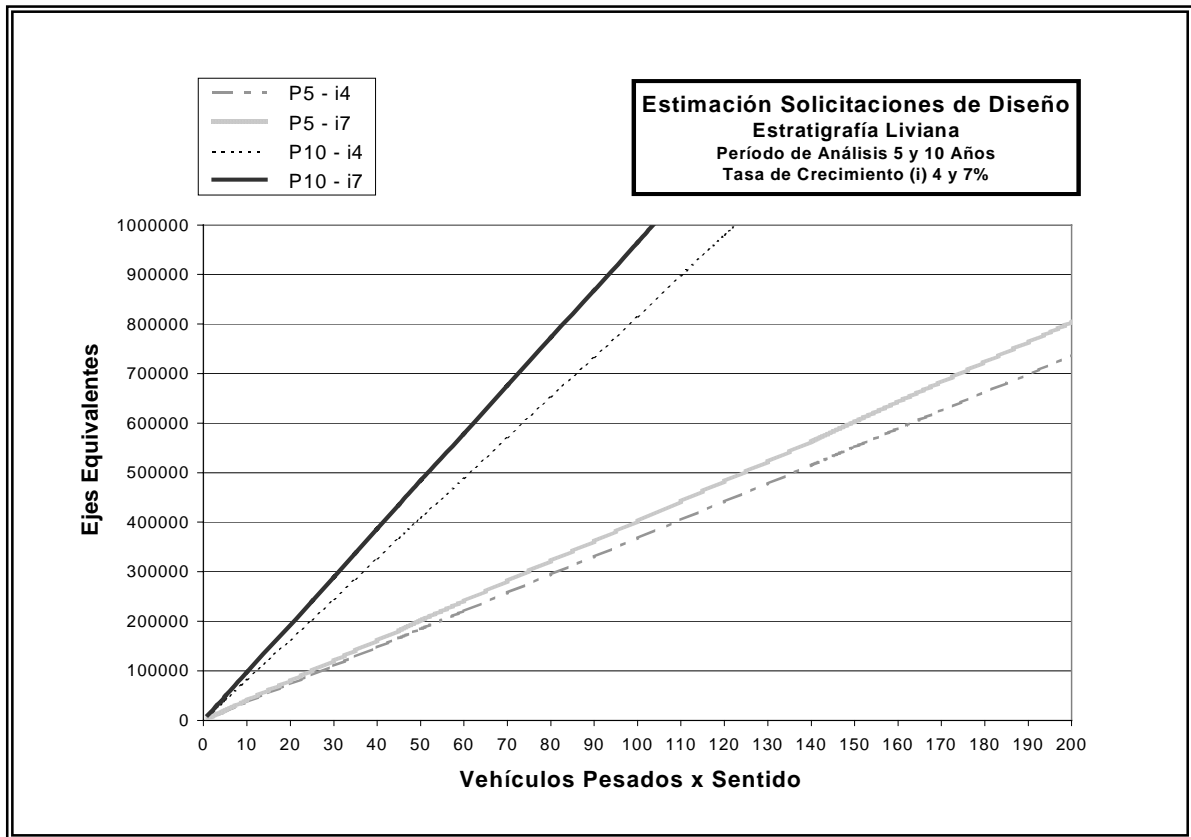
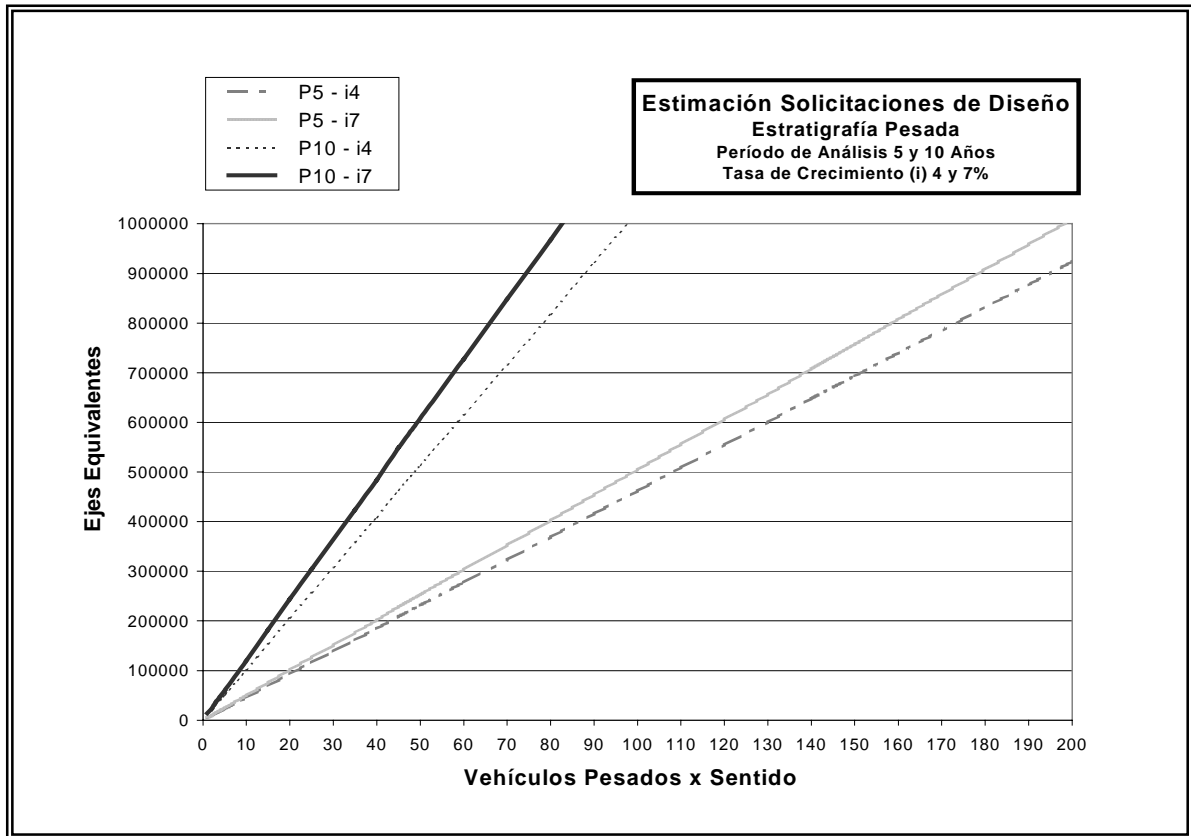


Figura 4b: Estimación Ejes Equivalentes de Diseño. Estratigrafía Pesada



### 5.2.5 Rangos de Ejes Equivalentes de Diseño

Los rangos de solicitudes de tránsito definidos para la guía y expresados en Ejes Equivalentes acumulados se muestran en el **Cuadro 6**.

**Cuadro 6: Rangos de Solicitaciones de Tránsito**

Solicitaciones de Tránsito x Sentido	
Rango	Ejes Equivalentes x 1000
T0	0 – 150
T1	150 – 300
T2	300 – 500
T3	500 – 700
T4	700 – 1000

La utilización de los rangos de ejes equivalentes propuestos permite compensar errores menores que se pudieran cometer en la estimación de los datos.

### 5.3 SUELO SUBRASANTE

La guía de diseño se basa en la selección de rangos de capacidad de soporte de los suelos para tramos uniformes a lo largo del eje del proyecto. En el presente capítulo, se entrega la metodología para la selección de la capacidad de soporte de la subrasante.

Las estructuras de pavimentos de la guía se diseñaron por el método mecanicista de multicapas, el cual utiliza como parámetro de diseño para la subrasante el Módulo Resiliente. Sin embargo por simplicidad, la guía utiliza el valor de soporte CBR (California Bearing Ratio) para la caracterización de la capacidad de soporte del suelo de subrasante o suelo de fundación.

Existen una serie de fórmulas que correlacionan el CBR con el Módulo Resiliente, sin embargo para la guía se utilizarán las siguientes fórmulas, desarrolladas por Heukelom y Klomp.

$$Mr = 17,6 \times CBR^{0,64} (MPa) \quad 2 < CBR < 12$$
$$Mr = 22,1 \times CBR^{0,55} (MPa) \quad 12 \leq CBR < 80$$

#### 5.3.1 Evaluación de la Capacidad de Soporte

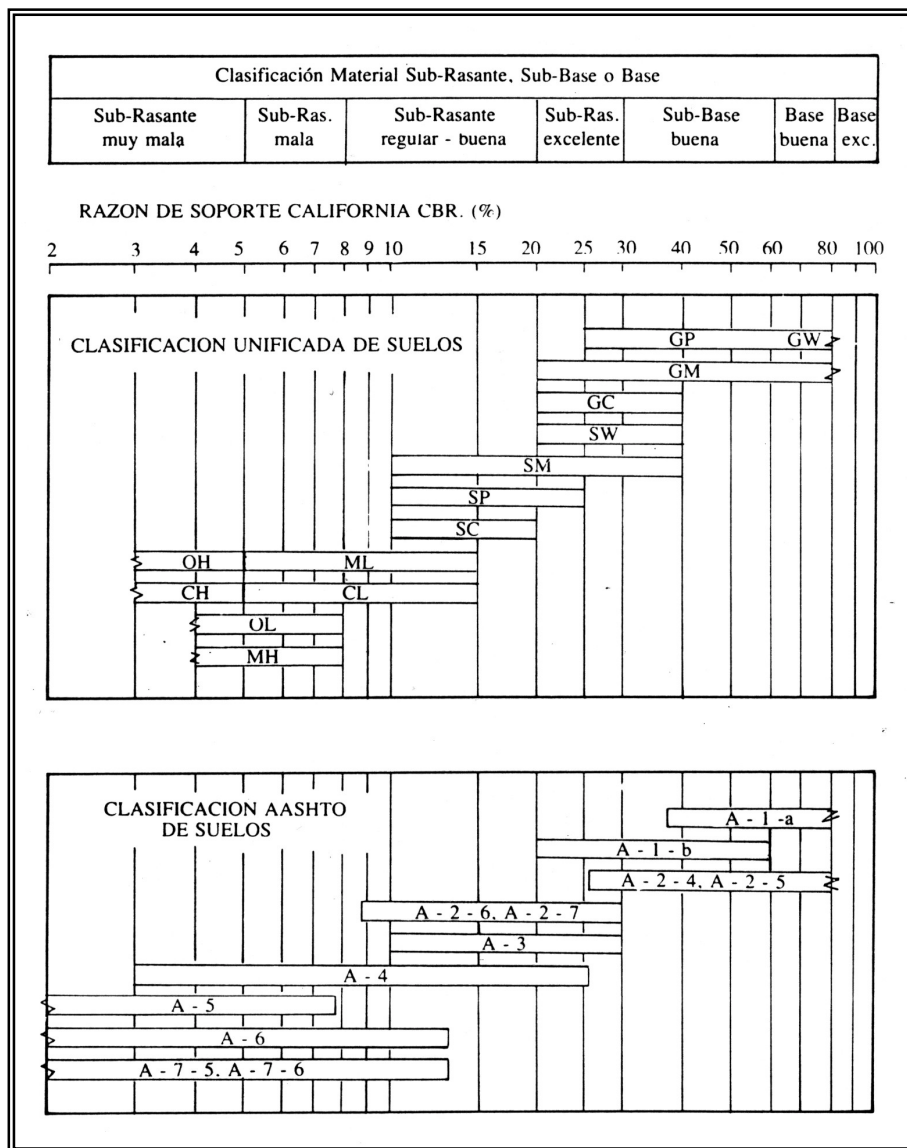
La capacidad de soporte debe ser evaluada utilizando cualquiera de las técnicas normalizadas de uso habitual en la ingeniería de caminos. Los procedimientos comúnmente recomendados son:

- ❑ Clasificación de suelos realizada por medio de los sistemas de clasificación AASHTO y USCS, utilizando correlaciones presentadas. Ver **Figura 5**.
- ❑ Calicatas y mediciones de CBR en laboratorio.
- ❑ Cono de Penetración Dinámica (CPD)
- ❑ Viga Benkelman
- ❑ Deflectometría de Impacto (FWD)

La guía recomienda la utilización de los tres últimos procedimientos dado que permiten repetir las mediciones con mayor frecuencia a lo largo del eje del camino, con la ventaja de contar con mayor información para la tramificación del proyecto. Entre estos tres últimos equipos, el Cono de Penetración Dinámica presenta ventajas adicionales que lo hacen recomendable en comparación con los métodos de deflexión.

La utilización del Deflectómetro de Impacto en el procedimiento de evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante puede estar limitada por su mayor costo relativo y por la factibilidad técnica de poder adentrarse con el equipo de medición en caminos de tierra en muy mal estado. En el caso de la Viga Benkelman, el procedimiento requiere de mayor logística y es considerablemente más lento. El Cono de Penetración Dinámica es simple, económico, fácil de trasladar y además permite evaluar por separado las diferentes estratos del subsuelo hasta una profundidad de 80 cm. Su principal limitación se presenta en las mediciones de suelos con alta concentración de bolones. Sin embargo, su potencial máximo lo alcanza en suelos de mala calidad que son precisamente la prioridad principal en las evaluaciones de terreno para el diseño de caminos de bajo volumen de tránsito.

**Figura 5: Correlación de suelos entre AASHTO y USCS**



### 5.3.2 Tramificación del Proyecto y Determinación del Valor de Diseño

Para la tramificación de los caminos, por capacidad de soporte del suelo, la guía recomienda la utilización del Cono de Penetración Dinámica (CPD).

La metodología consiste en realizar mediciones de CPD cada 100 m, interpolando ambas pistas a lo largo del camino, para delimitar tramos homogéneos utilizando para esto la tasa de penetración (mm/golpe). Una vez determinados los tramos homogéneos se recomienda realizar mediciones adicionales para definir con mayor precisión puntos de corte para los tramos homogéneos y también para localizar sectores puntuales con baja capacidad de soporte

Como segunda opción se recomienda seguir el mismo procedimiento utilizando Viga Benkelman o alternativamente con Deflectómetro de Impacto. Las mediciones de deflexiones también permiten reunir suficientes datos para definir tramos homogéneos y a su vez localizar sectores con baja capacidad de soporte.

Si no es posible realizar la tramificación utilizando uno de los equipos antes mencionados, se deben realizar calicatas cada 250 m según el actual procedimiento propuesto por la Dirección de Vialidad del MOP. Sin embargo, dado que en este tipo de caminos no se realizan estudios geológicos, la baja periodicidad e inexactitud de los resultados podría derivar en la subestimación o sobre estimación de un tramo. Por otra parte, no se recomienda el uso de calicatas debido al alto costo relativo de estas considerando el tipo de caminos en análisis. Se recomienda la excavación de calicatas en tramos que se consideren críticos basado en el conocimiento de las condiciones locales.

La determinación del valor de diseño de capacidad de soporte de la subrasante para el tramo uniforme, va a depender del tipo de pavimento analizado. Los criterios estadísticos para su determinación se muestran en el **Cuadro 7**.

**Cuadro 7: Criterio Estadístico para Determinar Capacidad de Soporte Subrasante**

<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Tipo de Estructura</b>	<b>Criterio</b>
Caminos de Tránsito Liviano	Estructuras con Tratamientos Superficiales	Percentil 80 %
Caminos de Tránsito Pesado	Estructuras con Tratamientos Superficiales	Percentil 80 %
	Estructuras con Carpeta o Base Asfáltica.	Percentil 50 %

### 5.3.3 Selección Rangos de Capacidad de Soporte de Subrasante

El criterio utilizado para la definición de cada rango obedece a consideraciones de diseño estructural que se detallan en la Memoria Desarrollo Teórico Guía de Diseño de Pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito (8). Los rangos, para cada tipo de camino, se presentan en el **Cuadro 8**.

Como se aprecia en la definición de rangos propuesta para la capacidad de soporte de la subrasante, para los suelos que posean un CBR menor o igual a 3, se exigirá algún método de mejoramiento que permita obtener una plataforma de apoyo para el pavimento con CBR mayor a 3%.

**Cuadro 8: Rangos de Diseño para la Capacidad de Soporte de la Subrasante**

<b>Rango</b>	<b>CBR (%)</b>
S1	< 3
S2	3 – 6
S3	7 – 10
S4	11 – 14
S5	15 – 19
S6	> 20

## 5.4 CLIMA

### 5.4.1 Consideraciones Generales

El clima puede tener diversos efectos sobre la estructura del pavimento. Los principales elementos del clima usualmente considerados en el diseño de pavimentos son las temperaturas extremas y el agua.

#### a) Temperatura

En el diseño de pavimentos de bajo volumen de tránsito, tanto las temperaturas altas como extremadamente bajas, afectan a los materiales asfálticos de la superficie de rodado, del mismo modo que afecta a los pavimentos regulares, es decir afecta al Módulo de Rigidez y a la estabilidad de las mezclas. La guía considera la variación del Módulo por efecto de la temperatura y a su vez recomienda utilizar las mismas especificaciones técnicas para la

selección del tipo de asfalto y el diseño de mezclas asfálticas, a aquellas utilizadas en pavimentos de asfalto convencionales.

Por otra parte, las temperaturas extremas bajas pueden producir hinchamiento en algunos tipos de suelos (suelos conocidos como “heladizos”). Este fenómeno se debe resolver de la misma forma que en los diseños de pavimentos tradicionales, es decir, modificando la estructura del suelo heladizo con algún aditivo químico o construyendo sobre un terraplén, en donde el espesor mínimo del terraplén lo determina la “penetración de la helada”.

## b) Agua

Existen tres factores que determinan la presencia o no de agua en un pavimento: localización geográfica, localización topográfica y existencia o no de un sistema de drenaje.

Por ejemplo un camino emplazado en un sector con climas muy lluviosos o en sectores bajos expuestos a inundaciones y con malos sistemas de drenaje, derivará en una falla prematura de la estructura del pavimento debido a la disminución de la resistencia mecánica de las capas granulares y eventualmente de la subrasante, por efecto de la saturación. Contrariamente un pavimento localizado en un área seca o ubicado en un punto topográfico alto o con un sistema apropiado de drenaje no se verá tan afectado por la presencia del agua y la estructura tendrá una vida útil mayor debido al mejor comportamiento de los materiales granulares.

La guía distingue tres condiciones de humedad para el diseño estructural. Estas condiciones son:

- Seca
- Normal
- Saturada

Estas condiciones consideran solamente el efecto del agua por localización geográfica (pluviometría), dado que las condiciones topográficas y los sistemas de drenaje varían en cada proyecto.

### 5.4.2 Selección de Cartilla de Diseño por Efecto Clima

La guía presenta cartillas para las diferentes condiciones de humedad en que se encuentra la estructura de pavimento.

Las cartillas de diseño en condición seca se desarrollan solamente para las estructuraciones de capas granulares con superficies de protección. Esto debido a que esas condiciones se presentan sólo en el norte del país, por lo cual estructural y económicamente no se justifica otro tipo de solución para pavimentos de bajo volumen de tránsito.

Las cartillas de diseño en condición normal se desarrollan para todas las estructuraciones propuestas en la guía.

Las cartillas de diseño en condición saturada se desarrollan para los pavimentos con estructuras de bases granulares. Esto último debido a que este tipo de solución estructural es la más afectada en el tiempo bajo condiciones de saturación.

Los pavimentos con subbases estabilizadas y con bases estabilizadas con asfalto (construidos correctamente), son menos afectados por la presencia de agua. Esto debido a que las propiedades mecánicas de estas estructuras no son significativamente sensibles al agua, por ello también pueden ser utilizados en condición saturada. No obstante lo anterior, todo pavimento expuesto a condiciones de saturación debería considerar un adecuado diseño de drenaje. La razón principal es la probabilidad de la presencia de una sobrecarga, lo que sumado a condiciones de saturación y problemas de variabilidad de la calidad constructiva, pueden producir fallas importantes en toda la sección estructural del pavimento.

Para simplificar la selección de la cartilla por tipo de clima se elaboró un procedimiento basado en la metodología propuesta por la Cámara Chilena de la Construcción para determinar la drenabilidad y los tiempos de saturación para bases de pavimentos. Este procedimiento se detalla en la Memoria Desarrollo Teórico Guía de Diseño de Pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito.

El drenaje de un pavimento, para efectos del diseño estructural, es evaluado por medio del tiempo que demora una determinada estructura en drenar el agua libre a partir de un estado de humedad dado. El tiempo que una estructura de pavimento permanece con humedades cercanas a la saturación depende principalmente de los siguientes factores:

- Tipo de material de subrasante.
- Ancho de Base (ancho plataforma).
- Pendiente Transversal (bombeo).
- Existencia de Terraplén
- Precipitación Media Anual

Considerando una situación típica de sección transversal de un camino de bajo volumen, se definen varias “Calidades de Drenaje” y se obtiene una “Saturación Crítica” para todas las Regiones (y zonas) del país en función de la pluviometría esperada.

Para determinar si el proyecto en estudio requiere de una solución utilizando la cartilla de diseño para condiciones saturadas, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Verificar calidad de material de subrasante. La guía considera material “Bueno” a los materiales tipo A1, A2 y A3, y ”Malo” a materiales A4, A5, A6 y A7, según clasificación AASHTO.
- Especificar ancho de plataforma. Se distingue entre plataformas mayores o menores a 6 metros.

- ❑ Especificar bombeo transversal. Se considera bombeos menores o mayores a 2,0%. Se recomienda en lo posible 4%.
- ❑ Existencia de terraplén.
- ❑ Definir la localización geográfica (región)
- ❑ Determinar la precipitación anual de la zona del proyecto.

Con los datos se entra al **Cuadro 9** y se compara la precipitación anual de la zona con la “Precipitación Crítica”. Si la precipitación esperada supera la “Precipitación Crítica”, la estructura se evalúa como “saturada” y será necesario utilizar la cartilla de condiciones saturadas. En los casilleros que se indica “**sat**”, las condiciones esperadas son siempre saturadas. En los casilleros que se indica “-“ (“*guión*”) no se presentará nunca la condición saturada por causa pluviométrica. En los casilleros con un número se debe presentar una precipitación muy superior a la normal dentro de la localización geográfica (región) para encontrarse en una condición saturada.

En caso de que la subrasante del camino analizado sea evaluada como saturada y no se desee utilizar la cartilla de diseño para estas condiciones, se debe considerar alguna de las siguientes recomendaciones:

- ❑ Cuando las condiciones de saturación se presentan en puntos bajos o tramos localizados, se recomienda el uso de cartillas con diseños que utilizan bases o subbases estabilizadas.
- ❑ Cuando existe topografía con pendientes longitudinales o transversales superiores a 2% – 4%, se pueden considerar condiciones buenas de drenaje, pero se deben prever los diseños de canaletas y atraviesos para controlar la erosión.

**Notas:**

- El diseño para condiciones saturadas puede resultar menos económico que un diseño de un sistema adecuado de drenaje.
- El diseño de los sistemas de drenaje (canaletas, atraviesos, etc.) normalmente junto con mejorar la durabilidad de un pavimento aumenta las condiciones de riesgo de un camino (seguridad para el vehículo y conductor). Se recomienda poner especial énfasis en compatibilizar la sección transversal del camino con los sistemas de drenaje por seguridad.

**Cuadro 9: Valores de Precipitación “Crítica” por Región**

Condiciones del Pavimento				Regiones					
Calidad Subrasante	Base (cm)	i (%)	¿Existe Terraplén?	IV	V a VI	VII a IX	X	XI	XII
BUENA	< 600	> 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
		< 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
	> 600	> 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
		< 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	1000	800	SAT	600
MALA	< 600	> 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	1100	950	SAT	750
		< 2,0	SI	-	-	1200	950	SAT	750
			NO	-	-	900	750	SAT	600
	> 600	> 2,0	SI	-	-	1100	950	SAT	750
			NO	-	-	900	SAT	SAT	600
		< 2,0	SI	-	-	900	750	SAT	600
			NO	-	-	600	SAT	SAT	400

Notas:

- SAT indica que para las condiciones en que se encuentra la estructura se deben utilizar las cartillas de diseño en condición saturada.
- Precipitación Media Anual en la zona del proyecto mayor a la “crítica” establecida por la metodología, implica condición saturada.
- (-) significa que la precipitación debe ser grande dentro de la región para encontrarse en situación saturada por razones pluviométricas (mayor a 1000 mm).
- (1) significa que la precipitación debe ser grande dentro de la región para encontrarse en condición saturada (mayor a 2000 mm).
- (2) indica que la precipitación debe ser grande dentro de la región para encontrarse en condición saturada (mayor a 2000 mm).
- (3) significa que la estructura no se encuentra en una condición de saturación, siempre y cuando esta tenga las condiciones mínimas de drenaje requeridas para la región. En caso contrario es recomendable utilizar la cartilla de condición saturada.
- (4) indica que la precipitación debe ser muy grande dentro de la región para encontrarse en situación saturada (mayor a 2000 mm).
- Para las regiones I a III es posible utilizar las cartillas denominadas como “condición seca”.

## 6. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN CARTILLA DE DISEÑO

El presente capítulo tiene como objetivo entregar las pautas generales para el procedimiento de selección de la cartilla de diseño estructural a utilizar.

### Paso N° 1: Selección Rango de Solicitaciones de Tránsito

Defina el tipo de tránsito del camino analizado según el criterio presentado en la Sección 2.3.2 (Tránsito Liviano o Tránsito Pesado). Utilizando el procedimiento de cálculo descrito en la Sección 5.2.4 y Figuras 4a o 4b, calcule las solicitaciones de diseño.

Si se determina que el camino en estudio es de Tránsito Liviano y las solicitaciones de diseño son menores a 150.000 ejes equivalentes en la pista de diseño, entonces continúe con la siguiente secuencia; Paso N° 2, 3 y 4. En caso contrario continúe con la siguiente secuencia; Paso N° 2, 3 y 5.

### Paso N° 2: Selección Rango Capacidad de Soporte de Subrasante

Evalúe la capacidad de soporte de la subrasante utilizando alguno(s) de los equipos de medición descritos en Sección 5.3.1. Con los datos obtenidos tramifique el proyecto según la metodología propuesta en Sección 5.3.2.

### Paso N° 3: Selección Tipo de Clima

Utilizando el procedimiento descrito en la Sección 5.4 determine las condiciones de emplazamiento de su proyecto desde el punto de vista de las condiciones de humedad que estará expuesta la estructura del pavimento (Seco, Normal o Saturado).

### Paso N° 4: Diseño Tránsito Liviano

La guía ofrece un solo tipo de estructuración (**Estructura Tipo 1**), para condiciones de Tránsito Liviano. Seleccione de la tabla siguiente la cartilla de diseño según tipo de clima o condiciones de humedad de la estructura del pavimento.

ESTRUCTURA TIPO				
CLIMA	1	2	3	4
<b>Seco</b>	Cartilla N° 1			
<b>Normal</b>	Cartilla N° 2			
<b>Saturado</b>	Cartilla N° 3			

**Nota:** Cada nicho de las cartillas ofrece dos diseños diferentes, pero equivalentes estructuralmente. La selección de uno u otro diseño se realizará utilizando un criterio económico y constructivo.

### Paso N° 5: Diseño Tránsito Pesado

La guía propone 4 tipos estructuraciones para Tránsito Pesado (**Estructura Tipo 1, 2, 3, 4**), Selecciones de la tabla siguiente las diferentes alternativas de diseño que ofrecen las cartillas según tipo de clima o condiciones de humedad de la estructura del pavimento.

<b>ESTRUCTURA TIPO</b>				
<b>CLIMA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Seco</b>	Cartilla N° 4			
<b>Normal</b>	Cartilla N° 5	Cartilla N° 7	Cartilla N° 9	Cartilla N° 10
<b>Saturado</b>	Cartilla N° 6	Cartilla N° 8	Cartilla N° 9	Cartilla N° 10

**Nota:** Para condiciones de clima “Normal” y “Saturado” la guía ofrece cuatro tipos de estructuraciones y a su vez, cada nicho de las cartillas ofrece dos diseños diferentes pero, equivalentes estructuralmente. La selección de cualquier tipo de estructuración se realizará utilizando un criterio económico y constructivo.

## 7. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE CARTILLAS

La utilización de las Cartillas N° 9 y N° 10 se recomienda para condición normal y especialmente para condición saturada, ya que los materiales que componen la estructura son menos susceptibles a los efectos negativos del agua.

La utilización de las cartillas N° 7 y N° 8 con estructuración tipo 2, se recomienda para caminos que tienen una probabilidad cierta de un aumento progresivo en estándar en los próximos años, debido a que este tipo de estructuras está diseñada para satisfacer un número alto de ejes equivalentes, solo reponiendo la carpeta asfáltica de rodadura, es decir, es la carpeta asfáltica de rodadura la que falla sin que el resto del pavimento sufra daño estructural. Por otro lado, este tipo de estructuras es muy sensible a las sobrecargas, debido a los bajos espesores de las carpetas asfálticas de rodadura utilizadas. Lo anterior implica que no sea recomendable utilizarlas en caso de que exista una probabilidad alta de presencia de vehículos con sobrecargas.

En caso de que exista una alta probabilidad de presencia de vehículos pesados con sobrecargas, utilice las cartillas N° 4, N° 5 o N° 6, según el clima en que estos se encuentran. Este tipo de estructuras está diseñada para desempeñarse con un estándar adecuado frente a sobrecargas tipo definidas en las secciones 2.3.2b y 4.1.

## 8. REFERENCIAS

- (1) "A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surfaced Roads in Tropical and Sub-Tropical Countries". Road Note 31, 1993. Transport Research Laboratory, Inglaterra.
- (2) "Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads". TRH 4, 1996. Committee of Land Transport Officials, COLTO. Pretoria, South Africa.
- (3) "A Guide to the Design of New Pavements for Light Traffic". APRG Report NO. 21, 1997. Austroads, ARRB, Transport Research Australia.
- (4) "Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves", LCPC 1998, Francia.
- (5) "Manual de Pavimentos Asfálticos para Vías de Baja Intensidad de Tráfico", Espas 1991, España.
- (6) "Guidelines for Geometric Design of Very Low-Volume Local Roads", AASHTO 2001, USA.
- (7) "Estabilización Química de Suelos – Caracterización del Producto y Metodología de Evaluación de Desempeño del Suelo". Norma NCh 2505, 2000. Chile.
- (8) González V., Alvaro, "Estudio, análisis y diseño estructural de pavimentos de bajo volumen de tránsito basado en modelos mecanicistas: Una guía para Chile". Tesis para el grado de Magíster en Ciencias, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2002.
- (9) "Guía de Construcción de Sellos". Centro de Ingeniería e Investigación Vial – Dictuc S.A. Escuela de Ingeniería de la P. Universidad Católica de Chile y Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, 1999.
- (10) "Pavement Design and Construction Considerations". Soil Stabilization in Pavement Structures, User Manual, FHWA, 1979.
- (11) "Mixture Design Considerations", Soil Stabilization in Pavement Structures, FHWA, 1979.

## 9. CARTILLAS DE DISEÑO

## 9.1 APLICACIÓN Y ESPECIFICACIONES

## ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 1

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Capa de Protección</b>
TRÁNSITO	<b>Liviano</b>
CLIMA	<b>Seco</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T0 (0 - 150.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACION ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

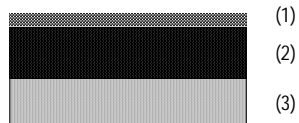
## ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 2

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Capa de Protección</b>
TRÁNSITO	<b>Liviano</b>
CLIMA	<b>Normal</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T0 (0 - 150.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACION ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

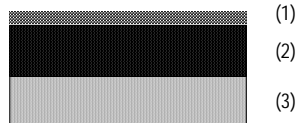
### ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 3

#### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	Structuras Granulares con Capa de Protección
TRÁNSITO	Liviano
CLIMA	Saturado
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T0 (0 - 150.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

#### ESPECIFICACION ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

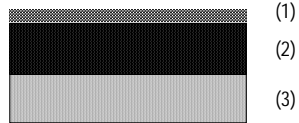
## ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 4

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Capa de Protección</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Seco</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACIONES ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

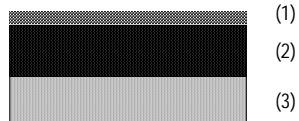
## ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 5

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Capa de Protección</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Normal</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACIONES ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

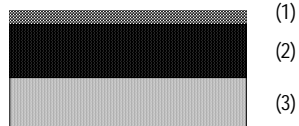
## ESPECIFICACIONES CARTILLA Nº 6

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Capa de Protección</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Saturado</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACIONES ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

## ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 7

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Carpeta Asfáltica</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Normal</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000) T3 (500.000 - 700.000); T4 (700.000 - 1.000.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACIÓN ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Carpeta Asfáltica Estabilidad Marshall > 9.000 N	(1)
BASE	Granular CBR 100% y 80%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

**Nota:** Este tipo de estructura es muy sensible a fallar por fatiga (Carpeta Asfáltica) en presencia de sobrecargas de tránsito.

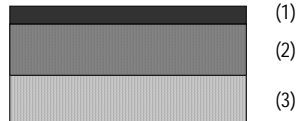
### ESPECIFICACIONES CARTILLA Nº 8

**APLICACIÓN**

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras Granulares con Carpeta Asfáltica</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Saturado</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000) T3 (500.000 - 700.000); T4 (700.000 - 1.000.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

**ESPECIFICACIÓN ESTRUCTURA TIPO**

SUPERFICIE DE RODADO	Carpeta Asfáltica Estabilidad Marshall > 9.000 N	(1)
BASE	Granular CBR 100% y 80%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

**Nota:** Este tipo de estructura es muy sensible a fallar por fatiga (Carpeta Asfáltica) en presencia de sobrecargas de tránsito.

## ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 9

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras con Base Estabilizada con Asfalto y Capa de Protección</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Normal y Saturado</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000) T3 (500.000 - 700.000); T4 (700.000 - 1.000.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

### ESPECIFICACIÓN ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Estabilizada con Asfalto Modulo > 2.000 Mpa	(2)
SUBBASE	Granular CBR 40%	(3)



Espesor de Capas en cm

## ESPECIFICACIONES CARTILLA Nº 10

### APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	<b>Estructuras con Subbase Estabilizada con Cemento y Carpeta Asfáltica</b>
TRÁNSITO	<b>Pesado</b>
CLIMA	<b>Normal y Saturado</b>
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T3 (500.000 - 700.000); T4 (700.000 - 1.000.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)






### ESPECIFICACIÓN ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Carpeta Asfáltica Estabilidad Marshall > 9.000 N	(1)
BASE	Granular CBR 100% y 80%	(2)
SUBBASE	Cementada:	(3)
	Cementada Compresión no Confinada Calidad 1, entre 0,50 a 0,75 Mpa	
	Cementada Compresión no Confinada Calidad 2, entre 0,75 a 1,50 Mpa	



Espesor de Capas en cm

## 9.2 CARTILLAS





Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T0 (Hasta 150.000 Ejes Equivalentes)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)		
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)		
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)		
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	14 	12 
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	12 	22 
Suelo S6 (CBR > 20%)	18 	











**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO  
VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°1**

**TRÁNSITO LIVIANO CLIMA SECO**  
**Estructuras Granulares con**  
**Capa de Protección**

**SIMBOLOGIA**

-  Capa de Protección
-  Base Granular CBR 100%
-  Subbase Granular CBR 50%
-  Subbase Granular CBR 40%

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T0 (Hasta 150.000 Ejes Equivalentes)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)	/	/
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)	18  12 (*)	16  14 (*)
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)	17  17	16  18
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	15  15	14  16
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	14  12	12  14
Suelo S6 (CBR > 20%)	20  20	12  12

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO  
VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°2**

**TRÁNSITO LIVIANO CLIMA NORMAL  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección**

**SIMBOLOGIA**

-  Capa de Protección
-  Base Granular CBR 100%
-  Subbase Granular CBR 50%
-  Subbase Granular CBR 40%

**NOTA**

En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MOP V5 con espesor: (\*) = 30 cm

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T0 (Hasta 150.000 Ejes Equivalentes)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)	/	/
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)	18 16 (*)	16 16 (*)
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)	18 18	16 20
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	18 14	16 16
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	26	16 12
Suelo S6 (CBR > 20%)	/	/

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO  
VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°3**

**TRÁNSITO LIVIANO CLIMA SATURADO  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección**

**SIMBOLOGIA**

- Capa de Protección
- Base Granular CBR 100%
- Subbase Granular CBR 50%
- Subbase Granular CBR 40%

**NOTA**

En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MOP V5 con espesor: (\*) = 30 cm

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T1 (150.000 - 300.000 EE)		Tránsito T2 (300.000 - 500.000 EE)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)				
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)				
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)				
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	14 14	12 16	16 18	12 22
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	13 13	24	16 14	12 18
Suelo S6 (CBR > 20%)	12 12	20	14 12	12 14

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO  
VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°4**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA SECO  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección**

**SIMBOLOGIA**

- Capa de Protección
- Base Granular CBR 100%
- Subbase Granular CBR 50%
- Subbase Granular CBR 40%

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T1 (150.000 - 300.000 EE)		Tránsito T2 (300.000 - 500.000 EE)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)				
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)	17 17 (*)	16 18 (*)	20 20 (*)	18 22 (*)
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)	18 22	16 24	20 26	18 30
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	18 12	16 14	20 20	18 22
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	16 12	14 14	20 14	17 17
Suelo S6 (CBR > 20%)	16 12	14 12	20 12	17 12

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO  
VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°5**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA NORMAL  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección**

**SIMBOLOGIA**

-  Capa de Protección
-  Base Granular CBR 100%
-  Subbase Granular CBR 50%
-  Subbase Granular CBR 40%

**NOTA**

En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MOP V5 con espesor: (\*) = 40 cm





Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T1 (150.000 - 300.000 EE)		Tránsito T2 (300.000 - 500.000 EE)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)	/	/	/	/
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)	20 20 (*)	18 22 (*)	26 20 (*)	22 24 (*)
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)	22 22	18 26	26 26	22 30
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	20 16	18 18	26 20	22 24
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	20 12	18 14	26 12	22 16
Suelo S6 (CBR > 20%)	/	/	/	/

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO  
VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°6**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA SATURADO**  
**Estructuras Granulares con**  
**Capa de Protección**

**SIMBOLOGIA**

	Capa de Protección
	Base Granular CBR 100%
	Subbase Granular CBR 50%
	Subbase Granular CBR 40%

**NOTA**  
En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MOP V5 con espesor: (\*) = 40 cm

Ejes Equivalentes (a Sentido)	Tránsito T1 (150.000 - 300.000 EE)			Tránsito T2 (300.000 - 600.000 EE)			Tránsito T3 (600.000 - 700.000 EE)				Tránsito T4 (700.000 - 1.000.000 EE)		
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3	Opción de Diseño 4	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3
<b>Suelo S1</b> (CBR < 3%)													
<b>Suelo S2</b> (3% < CBR < 6%)			6 15 21 (*)			6 15 23 (***)				7 15 25 (*)			7 20 32 (*)
<b>Suelo S3</b> (6% < CBR < 10%)		5 15 18 (*)	6 15 21		5 18 26 (**)	6 20 30			6 16 21 (**)	7 15 26		6 20 28 (**)	7 20 32
<b>Suelo S4</b> (11% < CBR < 14%)	4 20 25	5 15 18			5 18 26	6 15 15			6 16 21	7 15 15		6 20 28	7 15 17
<b>Suelo S5</b> (16% < CBR < 19%)	4 15 18	5 24		4 15 27	5 15 17			5 15 24	6 15 15		5 20 30	6 15 20	
<b>Suelo S6</b> (CBR > 20%)	4 24	5 18		4 15 15		6 17	4 15 21	5 15 15			5 15 20	6 15 15	

#### SIMBOLOGÍA

	Concreto Asfáltico
	Base Granular CBR 100%
	Base Granular CBR 60%
	Subbase Granular CBR 40%

#### NOTA



En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MDP V5, según los siguientes espesores:  
(\*) = 35 cm ; (\*\*) = 40 cm ; (\*\*\*) = 50 cm.

#### GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE

#### CARTILLA DE DISEÑO N°7

TRÁNSITO PESADO CLIMA NORMAL  
Estructuras Granulares con  
Capa Asfáltica

Ejes Equivalentes (x Surtido)	Tránsito T1 (150.000 a 300.000 EE)			Tránsito T2 (300.000 - 500.000 EE)			Tránsito T3 (500.000 - 700.000 EE)			Tránsito T4 (700.000 - 1.000.000 EE)		
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 3
<b>Basis S1</b> (CBR < 3%)	/											
<b>Basis S2</b> (3% < CBR < 6%)	/											
<b>Basis S3</b> (7% < CBR < 10%)	/											
<b>Basis S4</b> (11% < CBR < 14%)	/											
<b>Basis S5</b> (15% < CBR < 19%)	/											
<b>Basis S6</b> (CBR > 20%)	/											

SIMBOLOGIA	
	Concreto Asfáltico
	Base Granular CBR 100%
	Base Granular CBR 80 %
	Subbase Granular CBR 40%

**NOTA**  
 En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MCP V5, según los siguientes espesores:  
 (\*) = 35 cm., (\*\*) = 40 cm

**GUIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS  
 PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE  
 TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA DE DISEÑO N°8**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA SATURADO  
 Estructuras Granulares con  
 Capa Asfáltica**

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T1 (150.000 - 300.000 EE)	Tránsito T2 (300.000 - 500.000 EE)	Tránsito T3 (500.000 - 700.000 EE)	Tránsito T4 (700.000 - 1.000.000 EE)
<b>TIPO DE SUELO</b>				
<b>Suelo S1</b> (CBR < 3%)				
<b>Suelo S2</b> (3% < CBR < 6%)	14 15	14 18	15 18	16 18
<b>Suelo S3</b> (7% < CBR < 10%)	12 15	12 18	13 18	14 18
<b>Suelo S4</b> (11% < CBR < 14%)	10 15	11 15	12 15	13 15
<b>Suelo S5</b> (15% < CBR < 19%)	12	13	13	14
<b>Suelo S6</b> (CBR > 20%)	11	12	13	13

GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA  
CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE

**CARTILLA DE DISEÑO N°9**

**TRÁNSITO PESADO**  
Estructuras Granulares con Base Asfáltica

**SIMBOLOGÍA**

-  Capa de Protección
-  Base Estabilizada con Asfalto
-  Subbase Granular CBR 40%

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T1 (150.000 a 300.000 EE)	Tránsito T2 (300.000 a 500.000 EE)	Tránsito T3 (500.000 a 700.000 EE)		Tránsito T4 (700.000 a 1.000.000 EE)	
			Calidad 1	Calidad 2	Calidad 1	Calidad 2
Dueto S1 (CBR < 3%)						
Dueto S2 (3% < CBR < 4%)			5 13 14	6 16 15	5 15 15	6 16 18
Dueto S3 (4% < CBR < 8%)			5 12 13	6 15 14	5 15 13	6 15 16
Dueto S4 (8% < CBR < 14%)			4 15 12	5 15 14	5 15 12	6 15 14
Dueto S5 (14% < CBR < 18%)			4 12 12	5 15 12	5 13 12	6 15 12
Dueto S6 (CBR > 20%)						


GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS  
PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO  
EN CHILE

CARTILLA DE DISEÑO N°10

TRÁNSITO PESADO

Estructuras Granulares con Subbase Cementada

**SIMBOLOGÍA**

	Concreto Acélfico
	Base Granular CBR 100%
	Base Granular CBR 80%
	Subbase Estabilizada con Cemento