

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

GUILLERMO THENOUX Z., Ingeniero Civil, MSc, PhD

Profesor Titular, gthenoux@ing.puc.cl

ALVARO GONZÁLEZ V., Licenciado en Ciencias de la Ingeniería

Estudiante de Magíster, algonzav@puc.cl

FELIPE HALLES A., Ingeniero Civil, MSc

PUC, CIIV Centro de Ingeniería e Investigación Vial fhalles@ing.puc.cl

ERNESTO BARRERA, Ingeniero Civil

Director Unidad de Gestión Vial, ernesto.barrera@moptt.gov.cl

Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas. Chile

JUAN CARLOS MIRANDA, Ingeniero Civil

Ingeniero Proyectos Unidad de Gestión Vial, juan.miranda.a@moptt.gov.cl

Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas. Chile

RESUMEN

El presente trabajo contiene un resumen de los principios prácticos y teóricos utilizados para el desarrollo de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito 2002, desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Se presenta un resumen de la aplicación de la metodología de diseño mecanicista, los criterios de falla utilizados y los criterios utilizados para definir las diferentes estructuraciones y combinaciones de materiales.

La guía de diseño, entrega una metodología simplificada para el manejo de los datos de entrada, la cual considera cuatro rangos de tránsitos, seis rangos de capacidad de soporte y tres rangos de tipo de clima (seco, normal y saturado). Las soluciones de diseño, se presentan por medio de 10 cartillas, las cuales contienen más de 170 soluciones de diseño de pavimentos con diferentes tipos de estructuraciones y tipos de materiales.

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra los fundamentos principales utilizados para desarrollar una guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito. La guía fue desarrollada para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. La guía

conceptualiza la problemática de los caminos de bajo volumen de tránsito y presenta más de 170 soluciones estructurales de pavimento en forma de cartillas.

Los principales problemas asociados a los caminos de bajo volumen de tránsito se relacionan con:

- La relativa baja calidad funcional y estructural de sus superficies de rodado.
- El requerimiento de conservación frecuente.
- La limitación de recursos para inversión en la mejora de estándares.
- En el caso en que los caminos de bajo volumen son de tierra o grava se agrega una serie de problemas: aumento en costos de operación, seguridad, polución, impacto ambiental, etc.

Otro problema importante asociado a este tipo de caminos es la poca oportunidad de realizar proyectos integrados que homogeneicen y optimicen las soluciones de diseño. Para los caminos de bajo volumen de tránsito, como es lógico, se proponen soluciones relativamente económicas en comparación a caminos que soportan mayores volúmenes de tránsito. Sin embargo, es común ver que para este tipo de caminos la economía se traduce en una reducción de estándares, como también la aplicación de soluciones de pavimentación con limitado respaldo de estudios de ingeniería de diseño estructural. Un proyecto de inversión para un camino de bajo volumen de tránsito requiere necesariamente cumplir con estándares mínimos de diseño (longitudinal y transversal), señalización y una ingeniería de diseño estructural de pavimentos que permita justificar técnicamente y evaluar económicamente la solución escogida.

Existen diversos manuales utilizados en otros países tales como: Inglaterra (Road Note 31, 1993), Sudáfrica (TRH 4, 1994), Australia (APRG Report N° 21), Francia (Direction des Routes et de la Circulation Routiere, 1981) y España (Del Val y Bardesi, 1991), 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.

2 OBJETIVOS

Los objetivos principales de la guía son homogeneizar, estandarizar y optimizar las soluciones de diseño de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito. El objetivo específico de la guía es presentar una gama de soluciones estructurales para este tipo de caminos en forma de cartillas de diseño, las cuales se ordenan para diferentes rangos de tránsito, de capacidad de soporte de subrasante y tres tipos de condiciones climáticas (seca, normal y saturado).

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 Comunes para usos productivos, servicio, turísticos y mixtos. La guía no es recomendable para caminos de explotación localizada tales como: caminos mineros, forestales,

canteras o caminos con tránsito mayoritariamente (o exclusivamente) de vehículos con cargas pesadas.

Se consideran soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y cuentan con referencias en la literatura técnica. La guía no considera dentro de sus soluciones estructurales aquellos estabilizadores químicos que no tengan suficiente respaldo técnico respecto de sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

4 CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

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:

- “Pavimentos Transitorios”.
- “Pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito”.

4.1 Pavimentos Transitorios

Se crea esta definición para incluir todas las soluciones intermedias de pavimentación. Se consideran Pavimentos Transitorios a aquellas soluciones de pavimentación de corto plazo (1, 2 o 3 años de duración) que utilizan materiales no convencionales. Entre estas soluciones se consideran principalmente las diferentes técnicas de estabilización química, de las cuales no se tienen suficientes antecedentes respecto de su comportamiento estructural y en particular respecto de tensiones admisibles de trabajo y comportamiento a la fatiga.

Los pavimentos transitorios tienen como objetivo principal resolver problemas funcionales de caminos no pavimentados de muy bajo estándar. Según sea el estabilizador químico utilizado se pueden resolver los siguientes tipos de problemas funcionales y constructivos de acuerdo a lo que establece la Norma Chilena (NCh 2505, 2000):

- Control de Emisión de polvo
- Control de formación de calamina y/o pérdida de material grueso.
- Mejoramiento de la susceptibilidad al agua.
- Mejoramiento de la subrasante (trabajabilidad y estructural).
- Uso de materiales marginales para la construcción de bases.

Los pavimentos transitorios que propone la guía no están sujetos a un análisis estructural, pero su utilización queda supeditada a evaluaciones en pruebas prototipo realizadas a escala.

4.2 Pavimentos para Bajo Volumen de Tránsito

Aquellos caminos de bajo volumen que se resuelvan con una solución de ingeniería de diseño estructural propuesta por la guía se les denomina “Pavimentos para Bajo Volumen de Tránsito”. Los pavimentos para bajo volumen de tránsito constituyen soluciones de pavimentación cuyo diseño está justificado estructuralmente para las tensiones y deformaciones de trabajo, y para el comportamiento a la fatiga. Dentro de esta categoría se definen dos tipos de estructuras de pavimentos:

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

El criterio utilizado en el diseño de este tipo de pavimentos 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. Específicamente se busca proteger las capas inferiores para que las futuras intervenciones de conservación o reestructuración considere sólo la capa superficial.

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 menor al 15 % 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 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.

Las estructuras de pavimentos para tránsito liviano no se rigen por el comportamiento a la fatiga, debido al bajo volumen de vehículos pesados que se espera que circulen. De esta forma, este tipo de estructura se rige por el máximo estado de tensiones de trabajo, considerando un camión tipo, con un eje simple rueda doble (ESRD) de 11 ton. 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 además que la 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 el tránsito de diseño queda comprendido entre 150 mil y 1 millón de ejes equivalentes 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 sobrecargas representativas un eje simple rueda doble (ESRD) de 15 y 20 ton 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 (Thenoux y Gaete, 1996). El esquema de análisis para definir los diferentes grupos de soluciones se resume en la **Figura 1**.

5 PRINCIPIOS DE DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN

Los principios de diseño utilizados buscan obtener estructuras lo más racionales posibles desde el punto de vista estructural y constructivo. Para esto se consideraron los siguientes principios de diseño:

- Producir un balance estructural entre las diferentes capas de la estructura, 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, considerando que con posterioridad las acciones de conservación, rehabilitación o mejoramiento de estándar, son siempre más fáciles de realizar en las capas superiores.
- Diseñar con un buen comportamiento ante eventuales sobrecargas, es decir, que cada capa resista las tensiones máximas generadas por las sobrecargas.
- Diseñar con una resistencia a la fatiga para un período medio entre 5 y 10 años.

La guía de diseño estructural propone la utilización de distintos tipos de estructuras de pavimentos, considerando los materiales y estructuras que se ajustan a las condiciones de Chile. Los tipos de estructura considerados son:

- Se utilizan estructuras para la capa de rodado asfáltica del tipo capa de protección (sellos) o capas asfálticas de bajo espesor.
- Se diseña principalmente utilizando estructuras granulares, pero se incluyen estructuras con bases estabilizadas con asfalto o subbases cementadas.
- Para las estructuras con bases granulares, se presentan dos combinaciones de espesores de capa de modo de poder balancear la producción de agregados y/o optimizar los costos según la disponibilidad de materiales.

La guía considera cuatro configuraciones de estructuras las cuales se resumen en la **Figura 2**.

6 METODOLOGÍA DE DISEÑO

La guía de diseño estructural de pavimentos se elaboró utilizando un método analítico (mecanicista) de análisis elástico de multicapas. También se utilizaron métodos empíricos para análisis complementarios y verificación de resultados (AASHTO y Morín Todor). Se utilizaron en forma conjunta los métodos analíticos desarrollados por la Shell y el CSIR en Sudáfrica. Ambos métodos utilizan los mismos principios para determinar el estado de tensiones de la

estructura (Bisar, Elsym5), diferenciándose en las ecuaciones y criterios utilizados para determinar la resistencia a la fatiga de los materiales (Theyse, 1996).

En la presente guía, para el análisis a la fatiga de los materiales, se utilizó la configuración de eje que muestra la **Figura 3**, la cual corresponde a un eje estándar, eje simple rueda doble (ESRD) de 80 KN (8,16 Ton), con una presión de contacto de 600 KPa (87,02 psi) y una separación entre ruedas de 35 cm (13,78 in).

Para el análisis a las tensiones admisibles en los materiales granulares se utilizó la configuración del eje que muestra la **Figura 3**, la cual corresponde a eje simple rueda doble (ESRD). Las sobrecargas analizadas fueron de 11, 15 y 20 toneladas, siendo 11 toneladas la carga máxima legal permitida para ese tipo de eje y las cargas de 15 y 20 toneladas sobrecargas tipo para caminos con circulación de vehículos pesados de mas de 2 ejes.

7 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales adoptados son las siguientes:

- a) Capas Flexibles.

Ver **Tabla 1**.

- 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 compuestos por materiales con propiedades definidas según especificación del Manual de Carreteras Vol 5. Para el diseño estructural la capacidad de soporte del material granular se corrige en función del espesor de capa y CBR de la subrasante utilizando la fórmula Shell. La **Tabla 2** muestra los valores corregidos para el diseño.

Nota Importante: Los valores corregidos para el diseño no alteran el valor definido para las bases por las especificaciones técnicas.

- c) Pavimentos con Subbase Cementada

La guía incluye una cartilla con una estructura 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 calidad de la subbase cementada queda especificada por su resistencia a la Compresión No Confinada (CNC o UCS) la cual se presenta en la **Tabla 3**.

8 CRITERIOS Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

8.1 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: 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 altos.

8.2 Tránsito de Diseño

Se consideran sólo los vehículos pesados para estimar la cantidad de solicitudes que afectarán al camino durante su vida de servicio. La guía utiliza para el diseño los Ejes Equivalentes acumulados para el período de diseño y para su cálculo se requiere de la siguiente información:

- Período de diseño estructural.
- TMDA
- Tasa de Crecimiento.
- Estratigrafía de carga (Tipo 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. Los rangos de tránsito utilizados se presentan en **Tabla 4**.

8.3 Período de Diseño Estructural

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.

8.4 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, debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del flujo vehicular en caminos de bajo volumen, luego del mejoramiento 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.

8.5 Estratigrafía de Carga

La guía define dos tipos de estratigrafía de carga, una para caminos de tránsito liviano (Eliv) y otra para caminos de tránsito pesado (Epes). En Chile, el peso del eje estándar para el cálculo de los Ejes Equivalentes de diseño (EEq) está definido en 80 KN (17,98 kip). 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 de bajo volumen de tránsito.

- 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. 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 un porcentaje mayor al 15-20% de vehículos pesados y que poseen vehículos pesados 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 corresponde a una de caminos exclusivos de explotación.

Cada una de las estratigrafías definidas se estableció a partir de un estudio realizado a los censos de tránsito en caminos con un TMDA menor a 300 vehículos, de modo tal de poder definir distribuciones vehiculares típicas de los diferentes tipos de uso que tienen los caminos con bajo volumen de tránsito.

8.6 Metodología para la Estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño

La metodología para establecer los Ejes Equivalentes de Diseño se presenta en la **Figura 4**. 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. Se selecciona la curva 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.

9 SUELO DE 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. Los rangos de capacidad de soporte de la subrasante utilizados se presentan en **Tabla 5**.

Más que establecer un procedimiento completo de evaluación de los suelos, la guía presenta la metodología para la selección de la capacidad de soporte de la subrasante. 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.
- 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 para tramificar la capacidad de soporte de la subrasante dado que permiten repetir las mediciones con mayor frecuencia a lo largo del eje del camino. 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 (problemas de descalibración), considerando que esta guía está enfocada a que sea utilizada por cualquier dirección de vialidad provincial o regional del país. 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 (31,5 in). 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.

10 CLIMA

10.1 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.

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 por medio de recomendar la utilización de 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 cuando se construye sobre suelos 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”.

Un camino, emplazado en un sector con climas muy lluviosos o en sectores bajos expuestos a inundaciones, puede derivar 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. Este problema se debe resolver por medio de un adecuado diseño de drenaje el cual otorga la capacidad a la estructura para evacuar el agua que se infiltra en las diferentes capas granulares y la subrasante. Complementariamente, el problema se puede resolver diseñando para condiciones estructurales saturadas lo que conlleva a mayores espesores de capas. La guía incluye una cartilla complementaria de diseño, para aquellas estructuras con capas granulares, donde se considera la situación saturada de la estructura.

10.2 Selección de Cartilla de Diseño por Efecto Clima

La cartilla considera tres condiciones de clima:

- Solución para condición seca.
- Solución para condición normal.
- Solución para condición saturada.

La solución para condiciones saturadas se aplica sólo a los tipos de pavimentos con estructuras de bases granulares. Esto último debido a que este tipo de pavimentos son los más afectados en el tiempo por la presencia continua de humedad o condiciones de saturación. En las bases o subbases cementadas, las propiedades mecánicas no son susceptibles al agua. No obstante a 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 AASHTO adaptada a Chile (Alvarez, 1995) para determinar la drenabilidad y los tiempos de saturación para bases de pavimentos. 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.

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 dependerá principalmente de los siguientes factores:

- Tipo de Material de Subrasante.
- Ancho de Base (ancho plataforma).
- Pendiente Transversal (bombeo).

- Existencia de Terraplén.
- Precipitación Media Anual.

Para determinar si el proyecto en estudio requiere de una solución utilizando la cartilla de diseño para condiciones saturadas, se debe seguir el procedimiento que se detalla en la guía.

11 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LA CARTILLA

La metodología para el uso de la guía requiere definir:

- Tipo de tránsito esperado (Liviano o Pesado), utilizando la definición conceptual propuesta.
- Determinar condición climática de diseño utilizando metodología propuesta.
- Calcular los Ejes Equivalentes acumulados de diseño utilizando la metodología propuesta.
- Sectorizar el proyecto en tramos homogéneos con respecto al CBR de la subrasante.

La guía de diseño utiliza rangos de diseño, tanto para la capacidad de soporte de los suelos como para el tránsito. La utilización de rangos de diseño permite compensar errores asociados a la variabilidad natural de datos de entrada. Los rangos considerados para tránsito y suelo se presentan en las **Tablas 4 y 5**.

Para los suelos que posean un CBR menor o igual a 3% de capacidad de soporte, se recomienda realizar algún tipo de mejoramiento que permita obtener una plataforma de apoyo para el pavimento con CBR mayor a 3%. Dependiendo del tipo de estructura, el mejoramiento propuesto por la guía es de una capa de espesor variable con propiedades de terraplén según Manual de Carreteras Volumen 5.

Las cartillas se ordenan por tipo de tránsito, tipo de estructura, tipo de clima por lo cual la guía contiene un total de 10 cartillas de diseño en donde para cada combinación de tránsito y capacidad de soporte del suelo se obtienen dos o más diseños. Las cartillas se ordenan de acuerdo a la **Tabla 6**. La **Figura 5** muestra un ejemplo de una cartilla para tránsito liviano en condición normal y la **Figura 6** muestra una cartilla para tránsito pesado en condición normal.

Para obtener el diseño de un proyecto específico, se entra con los datos de tránsito, suelo y clima según sean las condiciones del proyecto, obteniéndose hasta 5 alternativas de diseño las que deben ser evaluadas económicamente para decidir el diseño definitivo.

12 CONCLUSIONES

Hasta la fecha Chile no contaba con una guía de diseño para caminos de bajo volumen de tránsito. Se cree que la elaboración de este documento será un aporte para la ingeniería vial del país. Esto debido a que a través de parámetros simples y sin un estudio de alto costo de las variables de diseño es posible obtener una serie de soluciones para una situación dada. La entidad a cargo del diseño puede evaluar, en la gama de soluciones que entrega la guía, cual es la más económica para su caso específico.

Cada una de las soluciones propuestas por la guía, se diseñó considerando tanto la fatiga de los materiales como la resistencia a las tensiones generadas por sobrecargas aplicadas al pavimento, lo cual garantiza un óptimo desempeño de éstas frente a la amplia gama de solicitaciones de tránsito presentes en los caminos secundarios de nuestra red vial.

Se demuestra además que con pocos recursos es posible elaborar una guía que entregue soluciones racionales para los caminos de bajo volumen de tránsito. Hasta ahora estos tipos de caminos han poseído estándares bajos y frecuentemente no cumplen con los objetivos para los cuales fueron diseñados, creando dificultades en la población para el acceso a la educación, cultura y a la integración social del país.

La guía en la actualidad está siendo utilizada y evaluada en diversas regiones de Chile.

TABLAS

TABLA 1 Propiedades de las Capas Flexibles

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

TABLA 2 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	108	120	130	140	148
7	60	130	144	156	168	178
10	75	163	180	195	210	222
15	100	217	240	260	280	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: Se adoptó un valor máximo de diseño de 350 MPa para el paquete granular sobre la base a experiencias internacionales (Australia, Francia, Sudáfrica).

TABLA 3 Propiedades Subbases Cementadas

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

TABLA 4 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

TABLA 5 Rangos de Diseño para la Capacidad de Soporte de la Subrasante

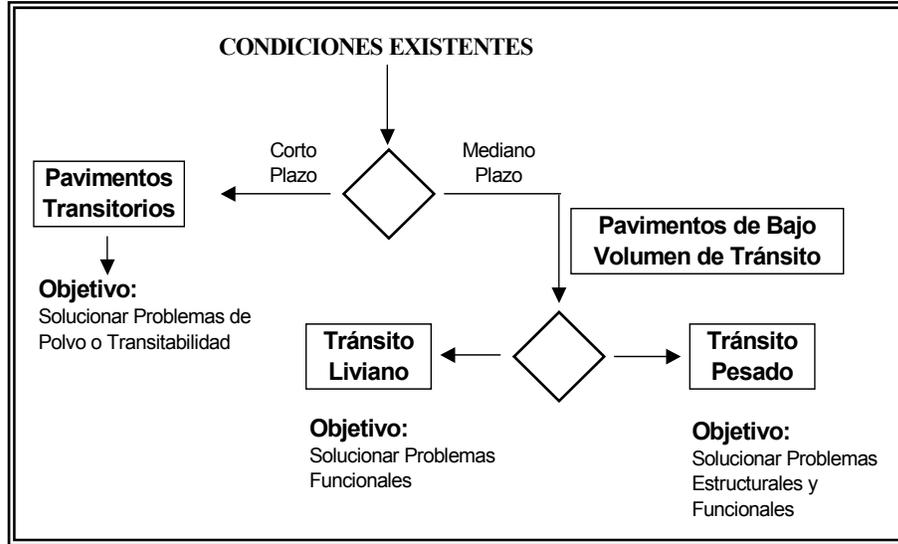
Caminos de Tránsito Pesado	
Rango	CBR (%)
S1	< 3
S2	3 – 6
S3	7 – 10
S4	11 – 14
S5	15 – 19
S6	> 20

TABLA 6 Cartillas Incluidas en la Guía

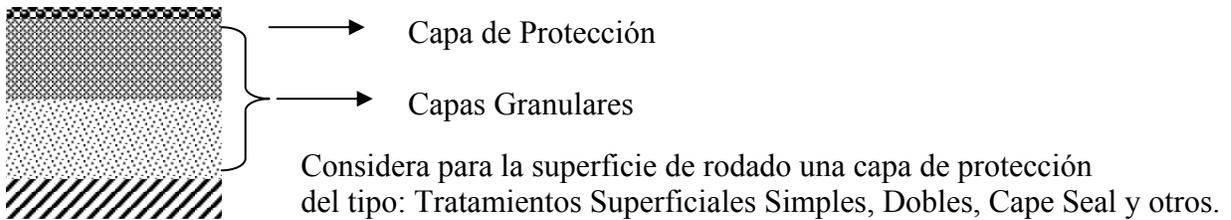
Cartilla N°	Configuración Cartilla	Tránsito	Condición
1	Capa protección - Granular	Liviano	Seco
2	Capa protección - Granular	Liviano	Normal
3	Capa protección - Granular	Liviano	Saturada
4	Capa protección - Granular	Pesado	Seco
5	Capa protección - Granular	Pesado	Normal
6	Capa protección - Granular	Pesado	Saturada
7	Concreto asfáltico - Granular	Pesado	Normal
8	Concreto asfáltico - Granular	Pesado	Saturada
9	Capa protección - Base estabilizada asfalto - Subbase granular	Pesado	Normal
10	Capa protección - Base granular - Subbase cementada	Pesado	Normal

FIGURAS

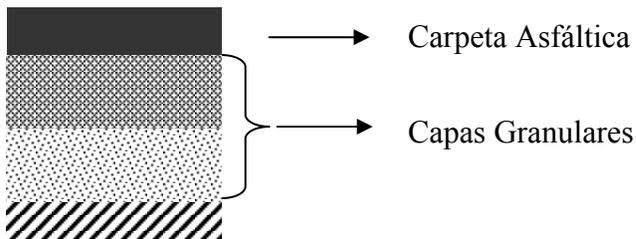
FIGURA 1 Esquema de Análisis para Selección del Tipo de Solución



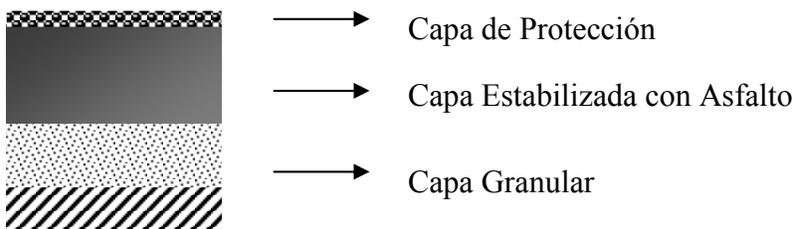
Estructuras Tipo 1: Estructuras Granulares con Capa de Protección



Estructuras Tipo 2: Estructuras Granulares con Carpeta Asfáltica



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



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

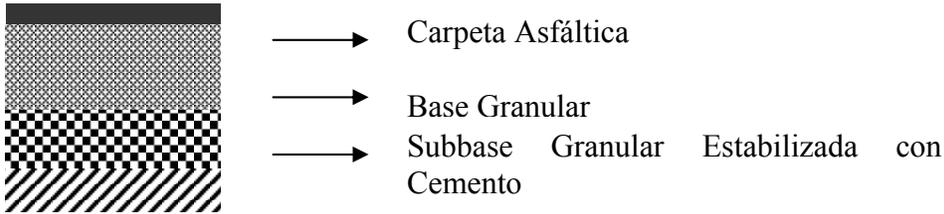


FIGURA 2 Tipos de estructuras consideradas en la guía

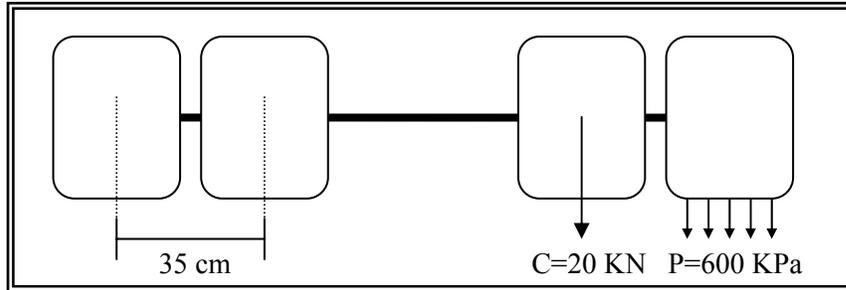


FIGURA 3 Configuración del Eje Estándar

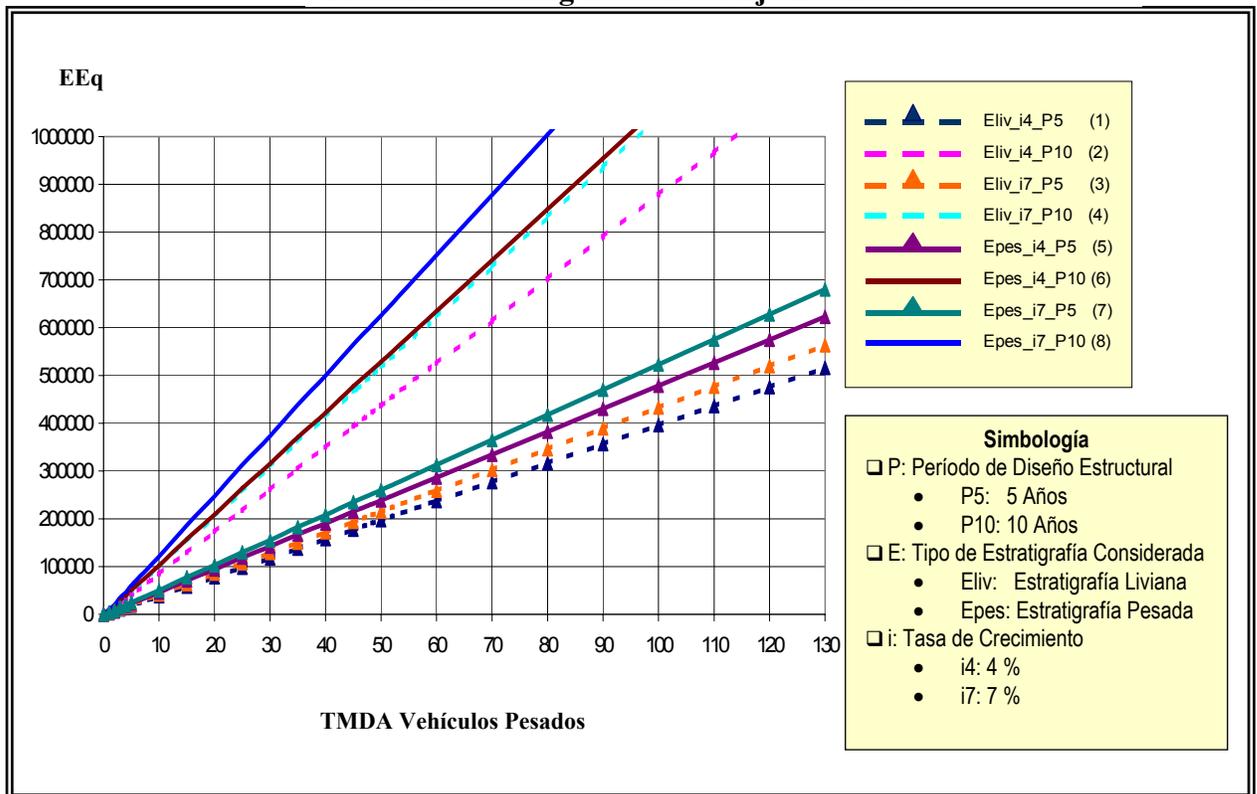


FIGURA 4 Estimación Ejes Equivalentes de Diseño

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%)	22	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 los siguientes espesores: (*) = 30 cm

FIGURA 5 Cartilla Tránsito Liviano Condición Normal

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%)	18 17 (*)	16 20 (*)	20 20 (*)	18 22 (*)
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)	18 22	16 24	20 28	18 30
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	18 15	16 18	20 20	18 22
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	17 12	15 15	20 16	17 18
Suelo S6 (CBR > 20%)	17 12	15 12	20 12	17 15

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 los siguientes espesores: (*) = 40 cm

13 REFERENCIAS

- **Alvarez, R., 1995.** “Drenabilidad y Tiempos de Saturación para Bases de Pavimentos. Recomendaciones Para el Diseño de Pavimentos en Chile según AASHTO”. Informe 1, Santiago, Chile, 1995.
- **APRG Report NO. 21, 1997.** “A Guide to the Design of New Pavements for Light Traffic”, Austroads, ARRB Transport Research Australia.
- **Del Val, M.A. Bardesi, A., 1991.** “Manual de Pavimentos Asfálticos para Vías de Baja Intensidad de Tráfico”, Madrid, España.
- **Direction des Routes et de la Circulation Routiere, 1981.** “Chaussées Neuves a Faible Trafic”. Ministere des Transports, France.
- **NCh2505.c2000, 2000.** “Estabilización Química de Suelos – Caracterización del Producto y Metodología de Evaluación de Propiedades de Desempeño del Suelo”. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
- **Road Note 31, 1993.** “A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surfaced Roads in Tropical and Sub-Tropical Countries”. Transport research Laboratory, United Kingdom.
- **Thenoux, G. Gaete R., 1996.** “Diagnóstico del Proyecto Camino de la Madera”. DICTUC, Pontificia Universidad Católica de Chile Santiago, Chile.
- **Theyse H L, 1996.** “An Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method”, Transportek, CSIR Pretoria, South Africa.
- **TRH 4, 1994.** “Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads”, Committee of Land Transport Officials, COLTO. Pretoria, South Africa, 1996.