

GUÍA DE DISEÑO SIMPLIFICADO DE PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN

Edgar Camacho Garita

Ingeniero Civil
Unidad de Materiales y Pavimentos
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
Código Postal: 11501-2060
San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica
Teléfono: (506) 2511-2524 / Fax: (506) 2511-4442
edgar.camachogarita@ucr.ac.cr

Introducción

Históricamente, la necesidad de brindar acceso y conectividad a las diferentes comunidades, poblados y proyectos en todo Costa Rica, ha llevado al país a desarrollar una amplia red de carreteras que cumplen esta función. La inversión, y el desarrollo económico de algunas décadas anteriores permitió la construcción de una gran cantidad de kilómetros, sin embargo por diversas razones el mantenimiento en el tiempo de los mismos quedó fuera de estos planes.

El denso mapa vial de Costa Rica está conformado principalmente por una amplia cantidad de caminos de bajo volumen vehicular, que permiten el acceso a diferentes lugares. Es precisamente en estas vías de bajo volumen donde podemos encontrar las mayores deficiencias de mantenimiento y deterioro en la capacidad estructural.

Ante la coyuntura histórica que vive Costa Rica actualmente, contando con una amplia red de carreteras que requiere un buen mantenimiento, y de diseñar caminos de bajo volumen que se desempeñen adecuadamente en el tiempo. En esta coyuntura es que surge el proyecto de desarrollar esta guía, con la visión de la gran importancia social y económica que representa para el país.

Objetivo

El objetivo principal que tiene la guía de diseño simplificado es realizar una transferencia de tecnología, de forma sencilla, a las diferentes administraciones de redes viales de Costa Rica, principalmente a los gobiernos locales (municipalidades).

Esto mediante la generación y presentación de las herramientas necesarias para que los procesos de diseño estructural de pavimentos en vías de bajo volumen tengan un fuerte respaldo técnico.

Contexto técnico

En el contexto de la región es predominante el uso de la guía desarrollada por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales (AASHTO 93) para el diseño de estructuras de pavimento.

El uso de la guía AASHTO presenta dos importantes limitaciones; como primer elemento limitante está que la guía fue desarrollada en un contexto (materiales, tecnología, clima, cargas y otros) diferente a la actual realidad costarricense. El segundo elemento que limita el uso de la guía es la complejidad que puede representar la misma para su correcto

uso (aún con las limitaciones que la misma tenga).

En Costa Rica la administración de las carreteras está separada en dos grupos, la red vial nacional que es administrada por el gobierno central y la red vial cantonal que es administrada por los gobiernos locales. Este segundo grupo está conformado por 81 pequeñas administraciones, las cuales presentan grandes diferencias administrativas y técnicas. Las cuales tienen a su cargo vías urbanas y rurales de muy variadas realidades. Una mayoría de estas vías corresponde a vías de bajo volumen vehicular.

Considerando lo anterior es prioritario aprovechar los conceptos de número estructural y ejes equivalentes de diseño que actualmente existen en la comunidad técnica.

Se establecen los parámetros para el diseño de las estructuras nuevas a colocar, así como para las estructuras existentes que se van a reforzar o reconstruir.

Se plantea la imperativa necesidad del país por realizar buenas inversiones en la construcción y mantenimiento de carreteras, lo cual debe estar asociado a una forma simple para presentarlo a los usuarios finales, pero debidamente fundamentado en las características de los materiales y la mejor forma de aprovecharlos.

Objetivo de diseño

Previo a realizar las intervenciones en las estructuras de pavimentos, es necesario que el usuario defina el objetivo que se busca mediante la intervención a realizar (preservación, rehabilitación, reconstrucción o diseño nuevo). La definición, del objetivo de la intervención estructural, está ligada a la condición de la vía; al detalle de los deterioros existentes y en alguna medida al presupuesto disponible; así como a la condición funcional esperada de la misma. En el caso de los diseños nuevos es necesario realizar proyecciones y estudios, principalmente de tránsito y suelo.

Las estrategias de intervención de las vías se definen a partir del estudio de la condición de la totalidad de la red a ser administrada, fuera del alcance del manual. Se deben definir las prioridades de intervención y ordenar el presupuesto, siempre teniendo presente que la condición de la ruta varía con el tiempo.

La tabla 1 contiene generalidades de referencia en cuanto a la definición de objetivos, deterioros asociados e intervenciones características de referencia. Los aspectos mostrados en dicha tabla no buscan ser exhaustivos o concluyentes, simplemente buscan ser una referencia dentro del manual para que los usuarios con menos experiencia puedan orientar su trabajo.

Se establece el proceso de diseño y dimensionamiento

(principalmente de sobrecapas asfálticas estructurales) como elemento fundamental de las intervenciones a realizar mediante el manual. Adicionalmente se muestra como dimensionar estructuras de pavimento nuevas para rutas de bajo volumen vehicular, como también reconstrucciones parciales.

Las sobrecapas de mezcla asfáltica y las rehabilitaciones parciales, buscan mejorar la condición estructural de la vía; para de esta manera reducir las deformaciones y agrietamientos, y evitar que la estructura se degrade al punto de presentarse agrietamientos severos, desprendimientos y baches abiertos. Pues como es ampliamente conocido en la comunidad técnica se debe evitar que el pavimento alcance un nivel de deterioro alto, ya que las relaciones costo/beneficio del arreglo de la vía en ese momento serán más elevadas que si la estructura hubiera sido intervenida cuando los deterioros eran menores.

Por tanto, es muy importante contar con una base de datos donde se albergue información detallada en cuanto a la intensidad y extensión del deterioro de la red vial administrada. De tal forma se podrá programar adecuadamente las inversiones en mantenimiento, considerando siempre la evolución que tienen los deterioros en el tiempo.

Tabla 1. Condiciones generales

Condición funcional de la vía	Objetivo	Deterioros asociados	Intervención característica
Buena	Preservación	<ul style="list-style-type: none"> Agrietamientos muy leves. 	<ul style="list-style-type: none"> Sellos. Sobrecapas no estructurales.
Regular	Rehabilitación	<ul style="list-style-type: none"> Agrietamientos leves Irregularidades. 	<ul style="list-style-type: none"> Sobrecapas estructurales.
Deficiente	Reconstrucción parcial	<ul style="list-style-type: none"> Agrietamientos medios Baches y abiertos. 	<ul style="list-style-type: none"> Bases estabilizadas o bases mejoradas y sobrecapas.
Mala	Reconstrucción total	<ul style="list-style-type: none"> Grandes deflexiones, baches e irregularidades. Agrietamientos intensos. 	<ul style="list-style-type: none"> Sustitución total de las estructuras.

El proceso de auscultación y control puede realizarse de diversas formas, la primera de forma sería mediante utilización de un equipo automatizado de auscultación y profundo conocimiento técnico. La segunda manera de realizarlo es mediante evaluaciones visuales (manualmente), análisis y monitoreo de las redes viales; llevando registros detallados de las condiciones de la vía, detalle de trabajos realizados y fechas de realización, materiales utilizados en las intervenciones, condiciones observadas con el paso del tiempo, fenómenos climáticos y otros. Esta forma de registrar la información y administrar una red vial, resulta particularmente útil para realizar la gestión de la red y el diseño de los proyectos.

La carencia de tecnología no debe causar el abandono de la sana administración de los caminos de bajo volumen vehicular, sino que plantea el reto de llevar inventarios detallados de las redes viales, mediante los cuales podemos registrar las condiciones de la red vial administrada en un momento determinado, las intervenciones que se le realizan a la misma, los materiales empleados, y demás. Adicionalmente permite registrar el desempeño que tienen las intervenciones en el tiempo lo que facilita el desarrollo de modelos de predicción de deterioro a futuro.

Parámetros de los diseños

Debido al concepto detrás del manual, los productos del manual se generan mediante sencillos pasos y parámetros de diseño. En este sentido es muy importante señalar que esta primera versión del manual se desarrolla en un momento donde aún no existe en Costa Rica la información disponible es limitada, y se trabaja en la recolección de información del desempeño real que tienen las estructuras y los materiales.

Actualmente se cuenta con información que proviene de ensayos clásicos para el control de calidad en los procesos constructivos, los cuales resultan útiles, sin embargo para mejorar los procesos de diseño se requerirá un nuevo nivel de información.

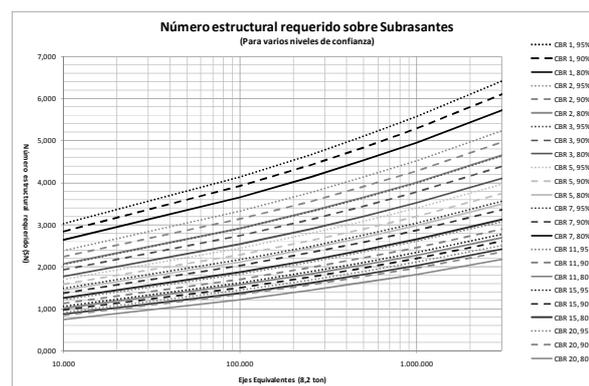


Gráfico 1. Ejemplo de gráfico para el cálculo de números estructurales.

Mientras el desarrollo tecnológico en el área del diseño estructural migra hacia una nueva etapa, en Costa Rica, mediante el Manual de Diseño Simplificado se buscó aprovechar los conceptos de la guía de diseño AASHTO (la cual se usa en Costa Rica desde hace algunos años). Principalmente en cuanto a número estructural, como reflejo de la capacidad estructural de la vía y al concepto de eje equivalente, como referencia para cuantificar los vehículos. Se consideró importante poder mantener conceptos ya asimilados en el ámbito técnico del país.

El Gráfico 1 es un ejemplo de cómo se aprovecharon los conceptos ya existentes para plantear un gráfico de fácil comprensión al usuario, para este caso específico se relacionan los ejes equivalentes de diseño al número estructural que se requiere

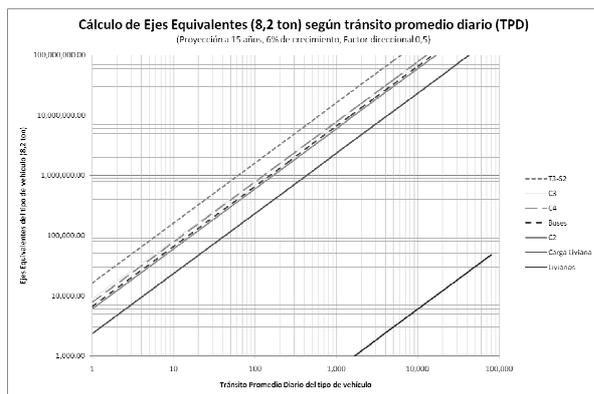


Gráfico 2. Ejemplo de gráfico para el cálculo de ejes equivalentes de diseño a partir de conteos vehiculares

Un cambio significativo que plantea el manual es el uso de algunas variables de la guía de diseño como valores constantes, de manera que solamente las variables más relevantes y representativas sean utilizadas en el proceso de diseño. Ejemplo de lo anterior es que los parámetros estadísticos se reducen al uso del nivel de confianza, como referencia global.

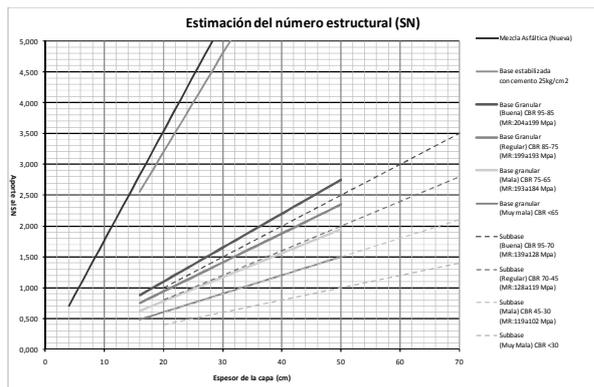


Gráfico 3. Ejemplo de gráfico para estimar el aporte estructural de diferentes materiales.

En general se prefiere utilizar niveles de confianza altos para los diseños planteados, inicialmente se planteó únicamente para 80%, 90% y 95%, y posteriormente se amplió a valores de 50%, 60% y 70% para vías de menor trascendencia.

En lo que respecta a cargas de tránsito se plantean diversas opciones para el cálculo de los respectivos ejes de diseño, desde gráficos como el mostrado en el Gráfico 2, hasta hojas de cálculo electrónicas que mediante el ingreso de unos simples valores realizan el cálculo de forma automatizada.

Para representar el aporte de los materiales se utilizó el Gráfico 3, donde los diferentes materiales utilizados para la construcción son representados mediante líneas; y mediante estas la capacidad estructural se puede asociar con el espesor en que se coloque un material específico.

Resulta importante notar algunas características del Gráfico 3 en el contexto del manual de diseño simplificado, y es que como se puede apreciar los punto de inicio y de final (en algunos casos) están directamente asociados con los espesores

que es factible colocar en el campo. De la misma manera los materiales granulares tienen asociados valores de ensayo de CBR, ampliamente utilizado en la caracterización clásica de materiales, y valores de módulo resiliente (en MPa).

Cuando se requiere realizar trabajos en vías existentes las propiedades mecánicas de los materiales para resistir esfuerzos y deformaciones se reducen con el paso del tiempo y los vehículos, en muchos casos de forma importante. Para enfrentar esta característica se propone seguir utilizando el concepto planteado en la guía de diseño AASHTO de 1993 respecto a la capacidad aprovechable de los materiales, pero expresándolos en porcentaje para facilitar el uso.

De esta manera se puede realizar una reducción en las capacidades mecánicas de los materiales a partir de inventarios de deterioros, tomando muestras para ensayar en laboratorio o mediante el uso de equipo de evaluación no destructivos. El objetivo de estas evaluaciones de condición es estimar que porcentaje de la capacidad mecánica de los materiales se puede aprovechar para el diseño.

Al realizar intervenciones en cualquier carretera se debe considerar el momento de realizar dicha reparación en función de la condición (funcional y estructural) del tramo, pues esta condición de la vía cambia en el tiempo; y los costos de intervención tienden a crecer exponencialmente conforme avanza el deterioro.

Consideraciones para el usuario

Al momento de plantear el enfoque principal del manual de diseño simplificado se definió como una necesidad básica que la totalidad del mismo preparado en un lenguaje técnicamente sencillo de comprender, que le facilitará al usuario la comprensión de los elementos necesarios para el correcto uso y aprovechamiento.

Para la aplicación del manual se le plantean al usuario una serie de consideraciones que debe tener para hacer un uso responsable de los contenidos. Entre las consideraciones que se plantean al usuario las de mayor relevancia para este artículo son:

1. Limitaciones en el uso de sobrecapas asfálticas, entendiendo la limitación a la colocación de espesores apropiados al material a utilizar, al proceso constructivo de colocación-compactación, a la relación beneficio/costo del uso de sobrecapas y a la condición de la capa sobre la que se colocará.
2. Aprovechamiento de los materiales existentes, considerando que una amplia cantidad de proyectos en el ámbito de aplicación del manual serán de reforzamiento o reconstrucción parcial de estructuras de pavimentos existentes se le señala al usuario la necesidad de realizar estimaciones de las capacidades mecánicas de los materiales existentes. Incluyendo condiciones donde el material se deba descartar debido a los deterioros presentes.

Como elemento final durante el desarrollo del manual, se realizó una programación mediante hojas de cálculo, las cuales permiten al usuario de una forma sencilla el realizar los cálculos según los elementos sintetizados por el manual.

Conclusiones

En los procesos de diseño estructural de pavimentos elemento fundamental es recopilar información confiable y completa, para así incorporarla al proceso de diseño. Con este elemento como punto de partida los procesos de diseño deben de ser mejorados de forma gradual.

En Costa Rica, es necesario que para la aplicación de lo planteado en este manual los insumos de diseño necesarios sean generados y recopilados por cada una de las Municipalidades, o el respectivo ente encargado de la administración de un sector de la red vial.

El realizar conteos vehiculares, ensayos de laboratorio, ensayos de campo, generación de inventarios y visitas técnicas, son elementos básicos que se han dejado de lado por diferentes razones; siendo requisitos indispensable para la administración de las redes de infraestructura vial, por lo que deben dirigirse los esfuerzos a desarrollarlos de forma extensiva.

Como un elemento fundamental se deben construir buenas condiciones de drenaje asociadas a cada uno de los proyectos. La reducción porcentual del aporte estructural, o capacidad aprovechable, de los materiales granulares, debido a las malas condiciones de drenaje serán consideradas por el profesional encargado; y para esto se brindan las herramientas de cálculo necesarias en el manual.

Es importante señalar que si bien los elementos mostrados en el manual están debidamente preparados, estructurados y fundamentados; los diseños finales siempre son responsabilidad exclusiva del profesional en ingeniería civil a cargo de realizar los cálculos y según los valores de entrada que utilice.

Dicho profesional es responsable del uso que el dé a lo establecido en este manual, y de asegurar que se sigan las buenas prácticas de la ingeniería. Así mismo, los procesos constructivos deben apegarse a las especificaciones del proyecto, manual de especificaciones respectivo y demás referencias asociadas al proceso.

Las hojas de cálculo que ha sido programadas con el contenido desarrollado para el Manual de Diseño Simplificado, permitirán incorporar de forma sencilla el desarrollo científico que se alcance en los próximos años en cuanto al diseño estructural de pavimentos en Costa Rica. Y mucho más importante que eso, permitirán que los usuarios incorporen dichos avances en los respectivos procesos de diseño.

AGRADECIMIENTOS

Este sencillo artículo no busca ser el trabajo técnicamente más profundo, simplemente es el reflejo de una guía que busca ayudar a que el conocimiento pueda ser llevado a las personas que más lo requieren. En razón de lo anterior se agradece a los lectores el meditar que: poco valen los profundos conocimientos si estos no pueden ser aplicados.

Productos

Como producto del trabajo desarrollado, se ha generado una

guía simple para diseñar pavimentos en vías de bajo volumen vehicular. Dicha guía está compuesta actualmente por un documento escrito y por una serie de hojas de cálculo que facilitan el proceso de cálculo e incorporación de datos de laboratorio. Actualmente se encuentra en proceso de oficialización con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

El artículo busca presentar los diferentes aspectos y consideraciones utilizados para la generación de la guía.

Referencias Bibliográficas

American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavements Structures 1993*. Washington, D.C.

Asphalt Institute. (1982). "Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No. 22 (MS-22)". Asphalt Institute. Lexington, KY, EEUU.

Badilla V., G., Sibaja O., D., & Barrantes J., R. (2008). "Procedimiento general de diseño de sobrecapas asfálticas metodología de diseño AASHTO 1993". San José, Costa Rica: LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.

Barrantes J., R., Sibaja O., D., & Porras A., J. D. (2009). "Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices red vial nacional." San José, Costa Rica: LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.

Camacho G., E. (2009). "Catálogo de Pavimentos Asfálticos para Rutas de Bajo Volumen". San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Camacho G., E. (2013). "Manual de diseño simplificado de pavimentos de bajo volumen". Congreso Latinoamericano del Asfalto, Antigua, Guatemala.

Jiménez A., M. (2009). "Implementación del ensayo de módulo resiliente en bases granulares para pavimentos". San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

López R., S. (2009). Sistema Pilote de Administración de Pavimentos en la Municipalidad de Belén, Heredia. San José, Costa Rica.

Reyes Lizcano, F. A. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rony R., L. M. (2009). Determinación de factores camión de rutas municipales urbanas de alto tránsito. San José, Costa Rica.