

91-3-13
**MANUAL DE DISEÑO SIMPLIFICADO DE PAVIMENTOS PARA VÍAS DE
BAJO VOLUMEN VEHICULAR: Aspectos y consideraciones
importantes**

Edgar Camacho Garita
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
edgar.camachogarita@ucr.ac.cr

Alejandro Navas Carro, Msc.
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
alejandro.navas@ucr.ac.cr

Resumen

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.

Históricamente los recursos que se destinan a la construcción y mantenimiento de las carreteras son limitados, y las vías que atienden una menor cantidad de usuarios suelen tener menor prioridad de intervención.

El manual de diseño simplificado establece parámetros mínimos para el diseño de las estructuras nuevas a colocar, así como de las existentes que se van a reforzar o reconstruir. Transfiriendo la tecnología necesaria a los diferentes administradores de carreteras de bajo volumen.

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.

El artículo presenta los conceptos y productos detrás del manual de diseño simplificado. Para esto el manual recurre a gráficos y hojas de cálculo electrónicas, gracias a las cuales se puede aprovechar conceptos conocidos, como la capacidad estructural y los ejes equivalentes de diseño; para llevar al usuario de una forma intuitiva y práctica a un diseño estructural confiable apoyado en la tecnología.

Resumo

Na Costa Rica, a administração das estradas está separada em dois grupos, a rede rodoviária nacional a qual é administrada pelo Governo Central e a rede rodoviária cantonal administrada pelos Governos Locais. este segundo grupo está composto por 81 pequenas administrações, as quais têm grandes diferenças administrativas e técnicas. Além, cada administração local tem a responsabilidade das vias urbanas e rurais de realidades muito variáveis. Uma maioria destes vias corresponde a rotas de baixo volume de tráfego.

Historicamente, os recursos destinados para a construção e manutenção das estradas são limitados, e as vias que servem menos usuários tendem a ter menor prioridade de intervenção. O manual de design simplificado estabelece parâmetros mínimos para a concepção de estruturas novas, bem como as já existentes que vai ser reforçadas o reconstruídas. Isto com a finalidade de transferir a tecnologia necessária aos diferentes administradores das estradas de baixo volume. Isto levanta a imperiosa necessidade do país de fazer bons investimentos na construção e manutenção de estradas, o qual deve estar associado a uma maneira simplificada de apresentá-lo aos usuários finais.

o artigo apresenta os conceitos e produtos por trás do manual de design simplificado. Para isto o manual usa gráficos e folhas de cálculo, com os quais pode-se aproveitar conceitos conhecidos, tais como a capacidade estrutural e os eixos equivalentes de design, para levar ao usuário de uma maneira intuitiva e prática a um dimensionamento estrutural do pavimento confiável e apoiado na tecnologia.

INTRODUCCIÓN

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

Ante la coyuntura histórica que vive Costa Rica actualmente, de contar con una amplia red de carreteras que requiere un buen mantenimiento, el diseñar caminos de bajo volumen que se desempeñen adecuadamente en el tiempo cobra una gran importancia social y económica para el país.

Las condiciones topográficas, climáticas, geológicas y geotécnicas del país, así como una alta densidad de carreteras por kilómetros cuadrado, propician un marco complejo para desempeño de las carreteras en el país.

También es muy importante considerar que la administración de las carreteras en Costa Rica está dividida en dos grandes grupos: La Red Vial Nacional y la Red Vial Cantonal; la primera administrada por el gobierno central y la segunda administrada por los diferentes gobiernos locales (81 pequeñas administraciones).

En este sentido la transferencia de tecnología hacia esas pequeñas administraciones de carreteras que existen en el país (municipalidades) es clave para poder lograr un impacto positivo, importante, en el desarrollo de la infraestructura vial, para vías de bajo volumen como para vías con un mayor tránsito.

Al momento de plantear un manual de diseño simplificado de pavimentos, el objetivo principal fue que el conocimiento (actual y futuro) pudiera ser aplicado por los diferentes actores del proceso de diseño de una carretera. Para tal propósito, el manual busca introducir y aplicar información generada en Costa Rica, y en otras partes del mundo, en el tema de carreteras; en un formato que sea de fácil acceso y entendimiento para los usuarios. Recurriendo para esto a gráficos y hojas de cálculo automáticas que sintetizan gran cantidad de información.

Se presenta la información disponible actualmente, pero resalta también los retos en cuanto a la carencia de información y tecnología que enfrenta el sector de carreteras en Costa Rica. Entre los desafíos está conocer con mayor nivel de detalle las propiedades de los materiales utilizados en los pavimentos, las cargas vehiculares para las que se deben diseñar las estructuras y las condiciones y limitaciones de los terrenos donde se colocarán las mismas, entre otros tantos aspectos. Aspectos en los que actualmente ya se trabaja en Costa Rica.

Debido a la simplificación que presenta este manual se establece un rango de aplicación limitado. La principal limitación es que se restringe el manual al diseño de vías de bajo-medio volumen vehicular. Se entiende por estas vías aquellas donde difícilmente hay congestión vehicular, donde la frecuencia con que pasan los vehículos es relativamente baja y la cantidad de vehículos pesados es baja. Más específicamente, se definen como vías de bajo volumen vehicular aquellas cuya suma de cargas vehiculares no supera los tres millones de ejes equivalentes, de 8,2 toneladas, de diseño. Entendiendo que para otras condiciones se debe recurrir a un profesional especializado para realizar los diseños.

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 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.

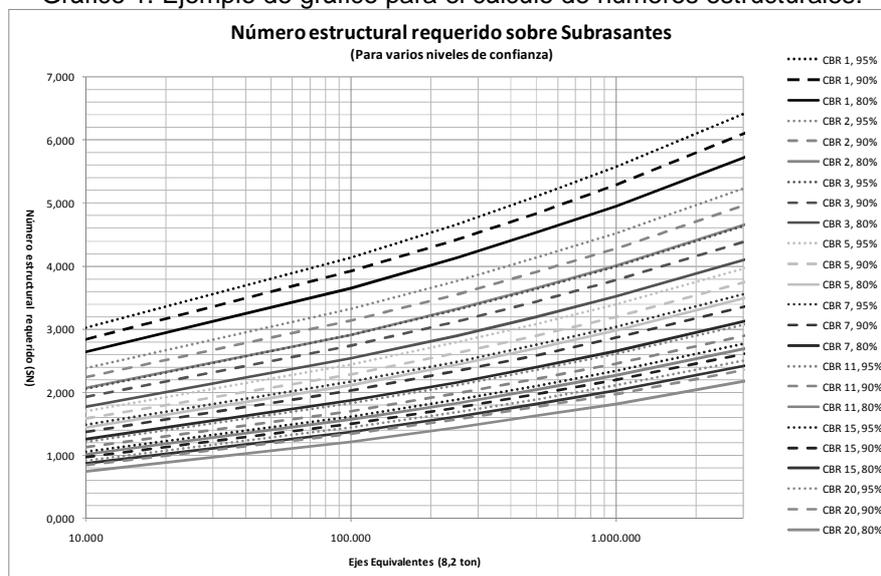
La carencia de tecnología no debe causar el abandono de la sana administración de los caminos de bajo volumen vehicular, sino que plantea el reto de llevar inventarios detallados de las redes viales, mediante los cuales podemos registrar las condiciones de la red vial administrada en un momento determinado, 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.

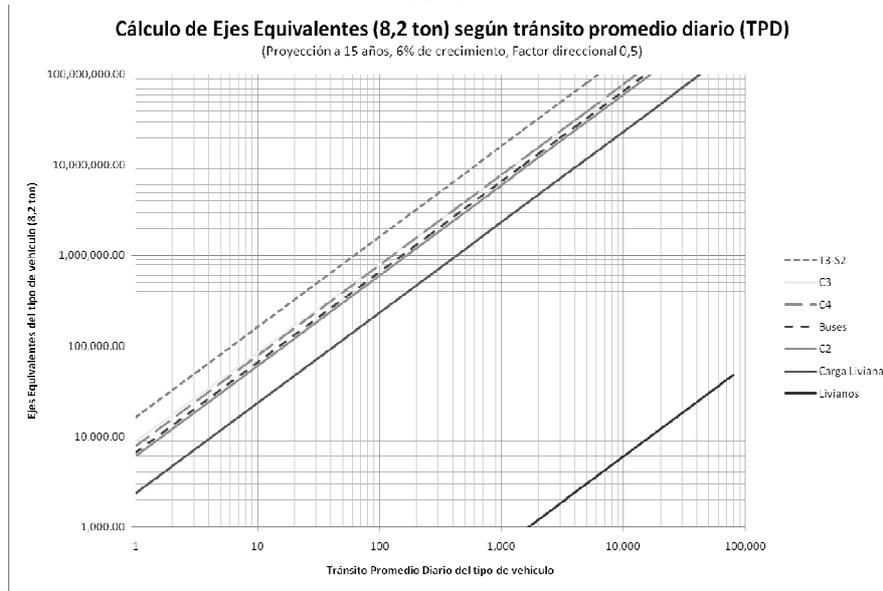
Gráfico 1. Ejemplo de gráfico para el cálculo de números estructurales.



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.

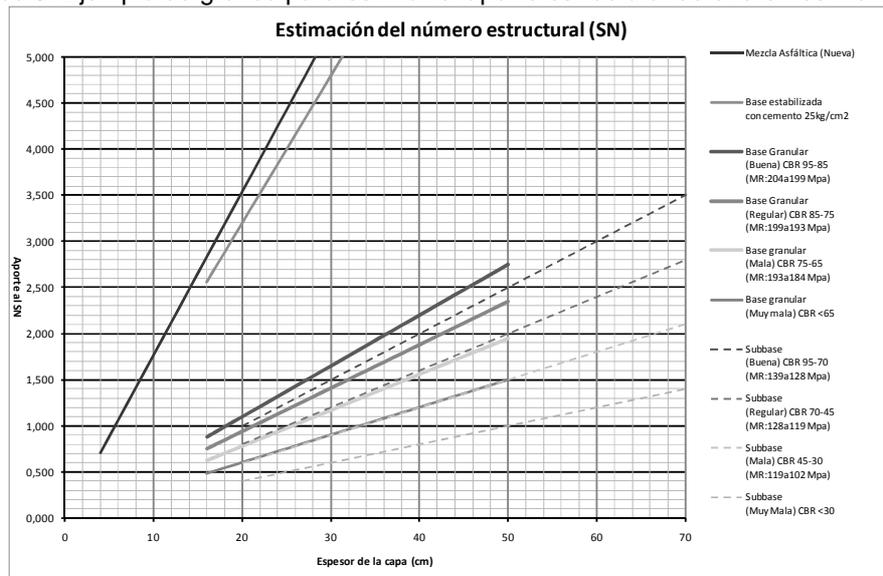
El Gráfico 1 es un ejemplo de cómo se aprovecharon los conceptos ya existentes para plantear un gráfico de fácil comprensión al usuario, para este caso específico se relacionan los ejes equivalentes de diseño al número estructural que se requiere

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 puntos 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, entendiéndose 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 un manual 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.

REFERENCIAS

- 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). Lexington: Asphalt Institute.
- 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., Badilla V., G., & Sibaja O., D. (2008). Propuesta de rangos para la clasificación de la red vial nacional. 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.
- 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. Bogota, 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.