



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales



Proyecto: LM-PI-GM-INF-20-14

**PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE  
INVESTIGACIÓN PARA ELABORAR UNA  
GUÍA DE DISEÑO  
DE PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN CON  
EL DCP**

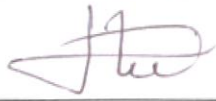

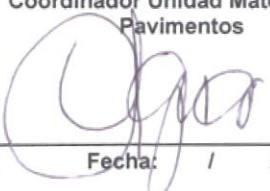
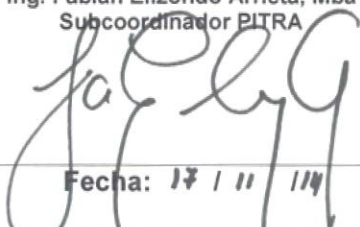
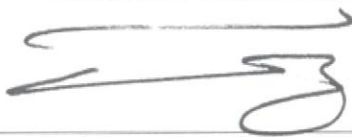
Preparado por:  
**Unidad de Gestión Municipal**

San José, Costa Rica  
Noviembre, 2014



Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Información técnica del documento

<b>1. Informe</b> LM-PI-GM-INF-20-14		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA ELABORAR UNA GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN CON EL DCP		<b>4. Fecha del Informe:</b> Noviembre, 2014
<b>7. Organización y dirección</b> Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
<b>8. Notas complementarias</b>		
<b>9. Resumen</b>  <i>Los caminos de bajo volumen en Costa Rica generalmente carecen de diseño de pavimentos debido a la falta de estudios preliminares y limitaciones en el conocimiento técnico aplicable, además no se cuenta con normativas o guías de diseño sencillas que ayuden a los técnicos y profesionales del ámbito a realizar este proceso de manera ágil y efectiva. El Cono de Penetración Dinámico (DCP, por sus siglas en inglés) es un instrumento de bajo costo y de fácil utilización e interpretación de datos, a partir de los cuales se puede realizar el diseño de pavimentos de bajo volumen de manera sencilla.</i>  <i>Este documento describe la propuesta de investigación de la Unidad de Gestión Municipal del PITRA-LanammeUCR para elaborar una metodología de diseño de pavimentos de bajo volumen por medio del DCP para Costa Rica, enfocada a labores de mantenimiento, rehabilitación y construcción de caminos con superficie de rueda granular, en la cual se toma como referencia primordial el Método Sudafricano, el Manual de Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito de Perú y la Metodología de Diseño del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.</i>		
<b>10. Palabras clave</b> Diseño de pavimentos, DCP, pavimentos, propuesta investigación	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Número de páginas:</b> 10
<b>13. Preparado por:</b> Ing. Alonso Ulate Castillo Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 13 / 11 / 14		<b>14. Revisado por:</b> Carlos Campos Cruz, Mba Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 13 / 11 / 14
<b>14. Revisado por:</b> Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad Materiales y Pavimentos  Fecha: / /		<b>14. Aprobado por:</b> Ing. Fabián Elizondo Arrieta, Mba Subcoordinador PITRA  Fecha: 17 / 11 / 14
<b>14. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: / /		

## TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	5
3. ALCANCES.....	6
4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	6
5. BIBLIOGRAFÍA.....	10





## 1. INTRODUCCIÓN

El pavimento es el elemento de mayor costo de una carretera y por lo tanto, debe ser diseñado adecuadamente para obtener el desempeño deseado durante la vida útil proyectada. Esto permite que la inversión de recursos sea eficiente, tanto para el diseño de obra nueva, como para el diseño de obras de mantenimiento y rehabilitación de caminos existentes. Lo anterior evidencia la necesidad de contar con guías de diseño de pavimentos de bajo volumen que utilicen procedimientos simples pero efectivos para facilitar la labor de los profesionales y técnicos de carreteras en el proceso de diseño.

El diseño de pavimentos de obra nueva, mantenimiento o rehabilitación de caminos existentes, incluyendo caminos con superficie de grava, tratamientos superficiales o sellos asfálticos, es un proceso analítico imprescindible en el cual se deben considerar las solicitudes de tránsito, tipo de materiales, condiciones ambientales (temperatura y humedad), así como el tipo y capacidad de soporte del suelo de subrasante. En Costa Rica no se dispone de una metodología oficial de diseño de pavimentos para caminos de bajo volumen con superficie de ruedo de grava o tierra y tampoco para el diseño de obras de mantenimiento o rehabilitación de éstos. En la mayoría de ocasiones se aplican recetas donde se definen espesores de materiales de acuerdo a la experiencia y se realizan muy pocos o ningún tipo de estudio preliminar que considere al menos aspectos básicos como el tipo y capacidad de soporte de la subrasante, las propiedades de los materiales a incorporar y las solicitudes de tránsito vehicular.

A nivel mundial se han desarrollado guías de diseño en las cuales se ha utilizado el DCP para medir la capacidad de soporte (CBR, por sus siglas en inglés) de las capas existentes del pavimento y subrasante, lo cual se complementa por medio de algunos sencillos ensayos de laboratorio para la caracterización de estos materiales, para determinar el espesor de las capas de materiales nuevos a incorporar al pavimento de acuerdo a las solicitudes de tránsito vehicular y condiciones climáticas (temperatura y humedad) del sitio. Las principales metodologías de este tipo que se han publicado son el Método de Diseño con DCP de Sudáfrica, el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito de Perú (Dirección General de caminos y ferrocarriles (DGCF), 2005) y la Metodología de Diseño del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, las



cuales se pretende tomar como referencia primordial para el desarrollo de una guía similar para Costa Rica.

Los procedimientos o guías de referencia ya mencionados enfatizan la importancia de reunir datos sobre las condiciones propias de tránsito y cargas vehiculares, los tipos de materiales a utilizar en estructuras de pavimentos, la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y las condiciones climáticas que influyen directamente en ésta. En este sentido en nuestro país se han desarrollado investigaciones que podrían brindar insumos relevantes para incorporar estos datos al desarrollo de la guía de diseño. En el documento “*Zonificación climática de Costa Rica para la gestión de Infraestructura vial*” (Orozco, 2007) se generaron mapas en los cuales se distribuye el territorio nacional en 16 zonas dependiendo de las características climatológicas, lo cual permite obtener valores medios de humedad para diferentes sectores del territorio nacional.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Realizar un proceso de investigación formal cuyo resultado final sea la elaboración de una guía de diseño de pavimentos de bajo volumen enfocada en actividades de construcción, mantenimiento y rehabilitación de caminos con superficie de ruedo granular.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de las metodologías de diseño de pavimentos de bajo volumen por medio de DCP que existen a nivel internacional.
- Estudiar los parámetros de tránsito, materiales, clima y suelo que son de gran importancia en el proceso diseño de pavimentos con DCP y definir valores o rangos de aplicación para Costa Rica.
- Definir casos de estudio, es decir, proyectos en proceso de diseño o construcción que permitan realizar las mediciones con el DCP así como, inspeccionar, evaluar y verificar los parámetros definidos anteriormente por medio de ensayos de laboratorio.

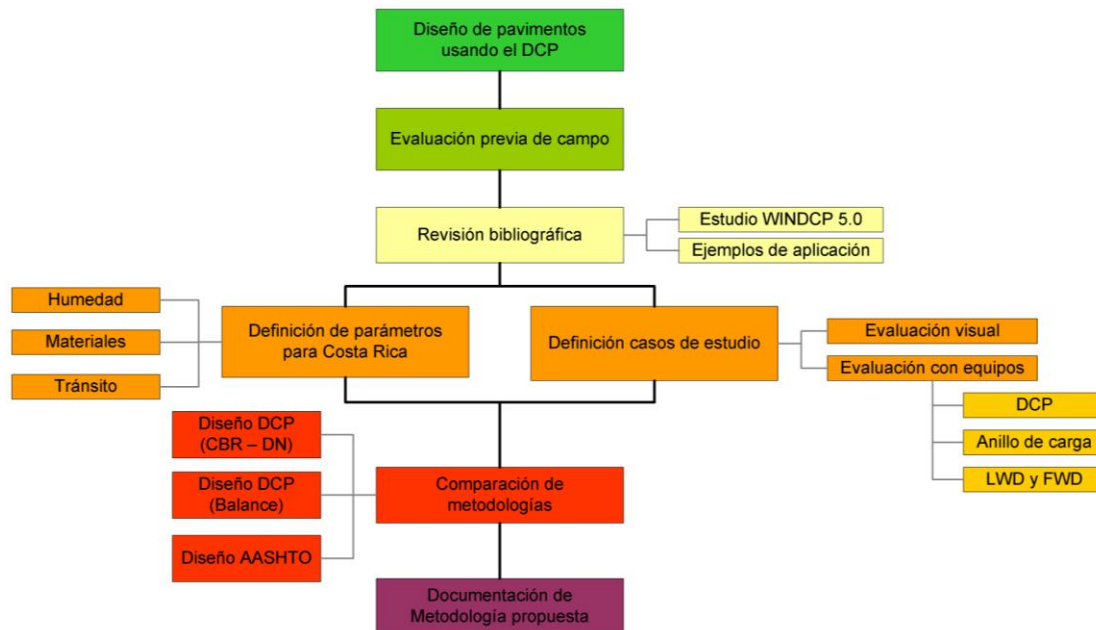
- Diseñar las estructuras de pavimento que cumplan con las solicitudes requeridas por medio de la metodología de DCP y compararlas con la metodología que presenta la Guía de Diseño AASHTO 93 para los caminos de bajo volumen de tránsito.
- Documentar los resultados del proceso de investigación y elaborar una guía de diseño de pavimentos de bajo volumen con DCP para Costa Rica.

### 3. ALCANCES

- Este documento resume la propuesta y metodología a aplicar para realizar el proceso de investigación referente al diseño de pavimentos de bajo volumen por medio de DCP para Costa Rica.
- Se utilizarán como referencia primordial la Metodología de Diseño Sudafricana, el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito de Perú y la Metodología de Diseño desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.
- La guía de diseño que se pretende generar estaría enfocada en el diseño de estructuras de pavimento de bajo volumen en labores de construcción, mantenimiento y rehabilitación de caminos no pavimentados o con superficie de ruedo granular.

### 4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología a aplicar durante el proceso de investigación se puede observar esquemáticamente en la Figura 1, donde se plantean los pasos a seguir de manera secuencial y algunos elementos de importancia que se deben tomar en cuenta en cada uno. A continuación se explica cada una de las etapas que se propone realizar durante el proceso de investigación con el objetivo de obtener los datos suficientes para elaborar la guía de diseño.



**Figura 1.** Esquema de la Metodología propuesta.

#### 4.1. Evaluación previa de campo

Inicialmente se planea desarrollar una evaluación previa de campo en algunas localidades del país con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de la metodología de diseño por medio de DCP de manera general. Esto podría ayudar a determinar factores importantes de atención a tomar en cuenta o posibles modificaciones al proceso de investigación planteado en este documento.

Se propone realizar la evaluación en al menos cuatro sitios mediante la selección de tramos de al menos 3 km de longitud, en los cuales se realizarán sondeos a cielo abierto cada 500 m para un total mínimo de cinco sondeos por sitio.

En cada sondeo se obtendrá información climática y topográfica general del sitio, se medirán los espesores y se realizará una caracterización visual de los diferentes materiales de las estructuras de pavimento y suelo de subrasante existente, se determinará la existencia y altura de nivel freático y se tomarán muestras de suelo para caracterizar en el laboratorio por medio de parámetros básicos (contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg y módulo resiliente).

Además, se propone realizar mediciones de CBR en sitio por medio de instrumentos alternativos como el Anillo de Carga Manual, el Light Weight Deflectometer (LWD) y Falling

Weight Deflectometer (FWD), con el propósito de establecer posteriores correlaciones entre los equipos.

#### **4.2. Revisión bibliográfica**

Se propone realizar una revisión bibliográfica que permita recopilar información relevante al uso del DCP en el diseño de pavimentos de bajo volumen, pues de esta manera se podrá conocer la experiencia obtenida en otros países al utilizar el DCP para el diseño de pavimentos de bajo volumen, así como estudiar las técnicas aplicadas y resultados obtenidos en los diseños.

Además, resulta de gran importancia determinar los parámetros de referencia locales que se consideran en el proceso de diseño y que deben ser determinados para las condiciones particulares de Costa Rica. Como se mencionó anteriormente, se plantea utilizar como principales referencias el Método de Diseño con DCP de Sudáfrica, el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito de Perú (Dirección General de caminos y ferrocarriles (DGCF), 2005) y la Metodología de Diseño del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. También, se planea incorporar el análisis el software WINDCP 5.0, creado a partir de la metodología de diseño sudafricana.

#### **4.3. Definición de parámetros para las condiciones de Costa Rica**

Las metodologías de diseño de pavimentos de bajo volumen presentan tres aspectos de gran importancia: tránsito y cargas vehiculares, materiales a utilizar en las capas de pavimento y subrasante, así como la humedad y condiciones de drenaje del sitio. Estos parámetros influyen directamente en el resultado del diseño de pavimentos y dependen de las condiciones particulares del sitio en que se construirá el camino.

Por lo tanto, se debe definir diversas categorías que permitan al usuario seleccionar el rango al cual pertenecen las condiciones de su proyecto en cuanto a: ejes equivalentes de diseño, caracterización completa de los materiales, capacidad de soporte CBR de la subrasante y condiciones climáticas y de humedad que prevalecerán en el camino durante su operación. Lo anterior permitirá establecer curvas o esquemas de diseño para los diferentes rangos de parámetros para que el diseñador elija el caso que mejor se adapta a los requerimientos de su camino.



#### 4.4. Determinación de casos de estudio en la red vial

Luego de definir los parámetros y estrategias de uso de esta metodología de diseño para pavimentos de bajo volumen, es necesario validar su aplicación para la red vial de Costa Rica. Por ello, se deben seleccionar proyectos que se encuentren en proceso de diseño o ejecución en diferentes zonas del país, que sirvan como casos de estudio para los escenarios de diseño previamente establecidos, según las distintas combinaciones de las características de tránsito, materiales y suelo, condiciones climáticas y humedad de la zona que permitan validar los parámetros que hayan sido previamente adaptados a las condiciones de nuestro país.

##### 4.4.1. Evaluación visual y uso del DCP

Para validar la metodología que se propone es necesario recolectar datos de las condiciones en campo de cada uno de los casos de estudio por medio de evaluaciones visuales, mediciones con DCP y ensayos de laboratorio y sitio alternativos. Se plantea realizar sondeos a cielo abierto que permitan ejecutar mediciones con DCP, inspeccionar los materiales de las estructuras de pavimento existentes en conjunto con otros ensayos de caracterización básicos como Límites de Atterberg, análisis granulométrico, contenido de humedad, capacidad de soporte CBR de laboratorio y ensayo triaxial para la determinación de módulo resiliente. También se plantea la posibilidad de incorporar en el análisis la utilización de equipos alternativos para medir la capacidad de soporte CBR en sitio de los materiales existentes y subrasante como el Anillo de Carga, el Falling Weight Deflectometer (FWD) y el Light Weight Deflectometer (LWD, por sus siglas en inglés) que permite obtener directamente el módulo resiliente de materiales granulares y suelos.

#### 4.5. Comparación de metodologías de diseño

Se propone realizar una comparación con otras metodologías de diseño de pavimentos a partir de la información recolectada en campo y laboratorio de cada uno de los casos de estudio. Se plantea realizar el diseño de pavimentos para cada caso de estudio aplicando las siguientes metodologías de diseño, en las cuales luego se realice el análisis de resultados correspondiente y así determinar los ajustes necesarios.

- ✓ Diseño empleando el DCP: CBR y DN (tasa de penetración del cono, mm/golpe)
- ✓ Diseño empleando DCP: Balance
- ✓ Diseño AASHTO 93 para los caminos de bajo volumen de tránsito

#### 4.6. Documentación de la metodología propuesta

Finalmente, luego de realizar el proceso de investigación y de validar la aplicabilidad de los parámetros a las condiciones de la red vial de Costa Rica con su debida documentación, se buscará definir la metodología que sirva para elaborar la guía de diseño de pavimentos de bajo volumen con DCP para caminos no pavimentados en Costa Rica. El documento final que se desea elaborar deberá tener un formato de manual de diseño, el cual indique paso a paso el proceso de diseño que se debe realizar para este tipo de pavimentos así como las tablas de parámetros a utilizar en el mismo para las condiciones de Costa Rica.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Amini, F. (2003). Potential applications of Dynamic and Static Cone Penetrometers in MDOT pavement design and construction. Mississippi.
- Camacho, E. (2009). *Catálogo de pavimentos asfálticos para rutas nuevas de bajo volumen*. San José.
- Dirección General de caminos y ferrocarriles (DGCF). (2005). *Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito*.
- Orozco, E. (2007). *Zonificación Climática de Costa Rica para la gestión de infraestructura vial*. San José.
- Paige-Freen, P. (2011). Applying the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Design Method to Low Volume Roads. *Proceedings of the 15th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (pág. 7).
- Paige-Green, P., & L, D. P. (2009). *The use and interpretation of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) test*. Pretoria.
- Paige-Green, P., & Pinad, M. (2012). Optimun design of sustainable sealed low volumen roads using the dynamic cone penetrometer (DCP). *25th ARRB Conference-Shapping the future: Linking policy, researc and outcomes*, (pág. 11). Perth.