



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES - PROYECTOS
DE INVESTIGACIÓN**

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: CI 796			
Título del proyecto: Estimación local del espesor de las capas asfálticas y base usando visión artificial			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica			
Grupo (s) de investigación: Percepción y Sistemas Inteligentes - PSI			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Sandra Esperanza Nope Rodríguez	10 h/s	10 h/s
Coinvestigadores	Eval Bladimir Bacca Cortés	5 h/s	5 h/s
	Brayan Barrios Arcila	20 h/s	20 h/s
Otros participantes			

1. Resumen ejecutivo:

Las carreteras públicas son esenciales para el progreso económico de cualquier país, ya que son fundamentales para el incremento en la eficiencia del transporte de bienes, y son una excelente fuente de empleo. Sin embargo, Colombia tiene pocas estadísticas sobre la condición de sus carreteras. De acuerdo con INVIAS el estado de las vías pavimentadas Colombianas puede resumirse así: 21.1% son clasificadas como "Muy Buenas", 34.7% son clasificadas como "Buenas", y 43.46% son clasificadas como "Regulares" o "Malas". Entonces, desde el punto de vista de rehabilitación de pavimentos, vale la pena asegurar la calidad de aquellas carreteras clasificadas como "Regulares" o "Malas". Los parámetros estructurales, de apariencia y confort se miden normalmente mediante sistemas de evaluación de pavimentos; uno de esos parámetros estructurales importantes es el espesor del pavimento. Actualmente, el espesor del

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.



FACULTAD DE INGENIERÍA
Vicedecanatura de
Investigación y Posgrados

11 ABR 2016
Carolina Saavedra
RECIBIDO



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES -
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

pavimento se estima mediante radares de penetración terrestre, extracción de núcleos o, realizando apiques. En este trabajo se desarrolló un sistema alternativo que induce poco daño al pavimento respecto a las técnicas de extracción de núcleo, y sin la necesidad de acudir a la interpretación de un especialista como en las técnicas de radares de penetración.

El sistema propuesto se compone de una unidad de control de movimiento vertical, la cual controla la introducción en un pequeño agujero en el pavimento de un videoscopio que se encuentra interconectado a un computador portátil; mediante este dispositivo se captura una secuencia de imágenes que posteriormente se unen para generar una imagen mosaico, a partir de la cual se pueden identificar las capas al aplicarle operadores de textura y así, estimar el espesor del pavimento. En la identificación de las capas, los usuarios del sistema pueden seleccionar entre el método de Otsu y los filtros de Gabor.

La metodología para el desarrollo del sistema inició con la revisión de las técnicas de visión artificial que permitieran diferenciar las capas asfálticas y base. De las técnicas identificadas se eligieron tres para ser implementadas, logrando mejores resultados iniciales mediante el uso de filtros de Gabor. A la par se desarrollaron los componentes hardware y software que permiten la captura controlada de las imágenes, la interfaz que permite la programación de los algoritmos y la generación de los reportes relacionados con la estimación de los espesores. Finalmente, se realizaron las pruebas de campo para verificar el correcto funcionamiento e integración de módulos y se generó la documentación relacionada con las pruebas funcionales y resultados en campo.

En los resultados experimentales de pruebas en laboratorio y campo se obtuvieron errores en la medida del espesor del pavimento de 5.03% y 11.3% respectivamente.

Abstract:

Public roads are an essential part of economic progress in any country, since they are fundamental for increasing the efficiency on transportation of goods, and they are a remarkable job source. However, Colombia has few statistics on road conditions. According with INVIAS the Colombian paved roads state can be summarized as follows: 21.1% are classified as "Very Good", 34.7% are classified as "Good" and 43.46% are classified as "Regular" or "Bad". Then, from pavement rehabilitation point of view, it is worth assuring the quality of those roads classified as Regular or Bad. Structural, appearance and comfort parameters are normally measured using Pavement Evaluation Systems; one of those structural important measures is pavement thickness. Pavement layer thickness is currently estimated using Geo Penetrating Radar systems, core extraction, or digging holes.

In this work, a system is proposed in order to estimate the pavement layer thickness



using image texture segmentation approaches. This system is composed by a vertical motion controlled unit, which introduces into a little hole on pavement a video-scope, then a sequence of images are captured by a laptop and stitched together, and finally this mosaic is processed using texture operators to estimate the pavement layer thickness. Users can select between the Otsu thresholding and Gabor filters methods to process the image data.

The results reported in this work include lab and field tests, which were performed showing errors of 5.03% and 11.3% respectively in the pavement thickness measures.

2. Síntesis del proyecto:

El proyecto surge de la necesidad de caracterizar el estado de las vías Colombianas de tal forma que se puede realizar apropiadamente la planeación de la restauración o mantenimiento de las vías. En ese sentido, de acuerdo con el INVIAS dio a conocer las tabla 1 sobre el estado de las vías; en donde se observa que casi la mitad (el 47.51%) de la red pavimentada está clasificada como Regular o Mala.

TOTAL RED NACIONAL	MB	B	R	M	MM	TOTAL
Longitud (Km)	1578.08	2705.43	2249.47	1715.95	97.13	8346.05
Porcentaje	18,91%	32,42%	26,95%	20,56%	1,16%	75,12%
TOTAL RED NACIONAL	MB	B	R	M	MM	TOTAL
Longitud (Km)	26,00	259,27	853,72	1.176,51	328,07	2.643,57
Porcentaje	0,98%	9,81%	32,29%	44,50%	12,41%	23,79%

Tabla 1. Estado de la red vial mediante criterio técnico a Julio de 2013 (INVIAS, 2013).

Esta clasificación permite identificar aquellas vías que requieren intervención, pero no provee información sobre el tipo de restauración que se le debe realizar; lo que se define mediante pruebas integrales del pavimento.

Uno de los aspectos involucrados en la evaluación integral de pavimentos es la estimación del espesor de las capas asfálticas y de base; aspecto en el que se centró el presente proyecto de investigación.

Para la estimación del espesor existen dos tendencias (Sanchez et al., 2008):

- Técnicas no destructivas
 - GPR o Radar de Penetración Terrestre (Morey, 1998).



- Técnicas destructivas
 - Extracción de núcleos (Sanchez et al., 2008).
 - Realización de apiques (Sanchez et al., 2008).

El GPR proveen información continua de la estructura interna del pavimento sin generar daño alguno al pavimento (Evans, Frost, Stonecliffe-jones, & Dixon, 2008). Sin embargo, el precio de un GPR está alrededor de los US\$60.000 (GSSI, 2013b), (Hugenschmidt & Fürholz, 2012). A este precio hay que adicionar el costo de una persona capacitada para extraer la medida de los espesores a partir del análisis de las lecturas (Pajewski et al., 2013), (Evans et al., 2008). Las técnicas destructivas como la extracción de núcleos y realización de apiques implican la intervención la vía, lo cual involucra el cierre parcial de tráfico, afectación local de la estructura del pavimento y demoras en la obtención de resultados (Sanchez et al., 2008).

Por lo anterior, el objetivo general de proyecto fue "Desarrollar un sistema de estimación local del espesor de las capas asfáltica y base usando visión artificial", y, para alcanzar dicho objetivo se propusieron los siguientes objetivos específicos y metodología:

Objetivo No. 1 – Una revisión del estado del arte que permita determinar las diferentes técnicas de análisis de imágenes para la extracción de características que permitan la diferenciación de las capas asfáltica y base.

- T1.1 – Estudio y clasificación de las técnicas de análisis de imágenes para la extracción de características que permitan la diferenciación de las capas asfáltica y base.
- T1.2 – Selección y especificación de las técnicas de análisis de imágenes.
- T1.3 – Generación de un reporte interno que consolide el estado del arte de las técnicas de análisis de imágenes.

Objetivo No. 2 – Diseño e implementación de las técnicas de análisis de imágenes para la diferenciación de las capas asfáltica y base.

- T2.1 – Definir los requerimientos técnicos detallados de las técnicas de análisis de imágenes.
- T2.2 – Implementar los módulos de análisis de imágenes.
- T2.3 – Desarrollar pruebas funcionales de los módulos de análisis de imágenes.
- T2.4 – Documentar las técnicas de análisis de imágenes y sus pruebas funcionales.

Objetivo No. 3 – Diseño e implementación del módulo de control de posición del sistema de adquisición de imágenes.

- T3.1 – Determinar las especificaciones y requerimientos del módulo de control de posición del sistema de adquisición de imágenes.
- T3.2 – Diseñar el hardware y software necesario para controlar el descenso del sistema de adquisición de imágenes.
- T3.3 – Implementar el hardware y software necesario para controlar el descenso



del sistema de adquisición de imágenes.

- T3.4 – Realizar las pruebas funcionales módulo de control de posición del sistema de adquisición de imágenes.

Objetivo No. 4 – Diseño e implementación del software para la integración de los módulos de adquisición de imágenes, análisis y generación de reportes.

- T4.1 – Determinar las especificaciones y requerimientos del software para la integración de los módulos de adquisición de imágenes, análisis y generación de reportes.
- T4.2 – Integrar los módulos de adquisición y análisis de imágenes a la interfaz de usuario.
- T4.3 – Diseñar e implementar el módulo de reportes e integrarlo a la interfaz de usuario.
- T4.4 – Realización de las pruebas funcionales de los módulos de adquisición y análisis de imágenes, así como el módulo de reportes.

Objetivo No. 5 – Realización de las pruebas y documentación de los resultados en campo.

- T5.1 – Seleccionar y obtener las autorizaciones necesarias para la realización las pruebas en pavimentos asfálticos.
- T5.2 – Realización de las pruebas de estimación de espesor local de las capas asfálticas y base en las ubicaciones seleccionadas.
- T5.3 – Documentación de las pruebas y resultados.

El sistema propuesto presenta varias ventajas frente a los métodos tradicionales:

- a) El costo del sistema podría estar alrededor de 8.400 US, lo que posibilita emplearla en las fases previas y posteriores a la intervención de la vía, trátase o no de grandes proyectos; más si se tiene en cuenta la alta portabilidad del sistema.
- b) Gracias al proceso de calibración que se realiza al inicio del procedimiento, los resultados entregados corresponden directamente al espesor de las capas sin la intervención de personal capacitado.
- c) Los resultados entregados son fiables, en las pruebas realizadas se encontró que la exactitud de las medidas entregadas son del orden de 94.97% y 88.7% para pruebas de laboratorio y de campo, respectivamente.



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES -
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

3. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de nuevos conocimientos				
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	1		1 (sometido)	
Artículo completo publicados en revistas B				
Artículo completo publicados en revistas C				
Libros de autor que publiquen resultados de investigación				
Capítulos en libros que publican resultados de investigación				
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados				
• Prototipos y patentes				
• Software				
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	0		1	
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	1	1	1
Semillero de Investigación	1		1	



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Estudiantes de maestría	1	1	1	1
Estudiantes de doctorado				
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales 1	No. de ponencias internacionales 0	No. de ponencias nacionales 3	No. de ponencias internacionales 0
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	

Tabla No. 2. Detalle de productos.

A continuación se relacionan los productos relacionados con la ejecución del proyecto:

Tipo de producto:	Artículo de Revista
Nombre General:	Revista Tecnura
Nombre Particular:	Sistema para la estimación del espesor de la capa de pavimento basándose en operadores de textura en imágenes
Ciudad y fechas:	Remitido el 10 de abril de 2016.
Participantes:	Brayan Barrios, Bladimir Bacca y Sandra Nope
Sitio de información:	Revista impresa y página web de la revista (http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura)
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Comentado [U1]: Cambiar por lo datos del artículo escrito por Bladimir para remitir a una revista tipo A



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

Tipo de producto:	Memorias de Congreso
Nombre General:	10CCC Congreso Colombiano de Computación
Nombre Particular:	Pavement and Base Layers Local Thickness Estimation using Computer Vision
Ciudad y fechas:	Bogotá, septiembre 21 al 25 de 2015.
Participantes:	Brayan Barrios, Bladimir Bacca y Sandra Nope
Sitio de información:	El CD del evento quedará en Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes. También estará disponible en la página web del evento (http://10ccc.sco2.org)
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Memorias de Congreso
Nombre General:	Tercer Congreso Internacional sobre Tecnologías Avanzadas de Mecatrónica, Diseño y Manufactura - AMDM 2016
Nombre Particular:	Texture Based Method to Estimate Local Thickness of Pavement Layers
Ciudad y fechas:	Cali, abril 12-15 de 2016
Participantes:	Brayan Barrios, Bladimir Bacca y Sandra Nope
Sitio de información:	El CD del evento quedará en Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes. También estará disponible en la página web del evento (http://amdm2016.univalle.edu.co/)
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico
Nombre Particular:	Estimación local del espesor de las capas base y asfáltica en pavimentos flexibles usando una técnica de visión artificial
Ciudad y fechas:	Aprobado el 17 sdejunio de 2015



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES -
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

Participantes:	Estudiante: Brayan Barrios Directores: Bladimir Bacca y Sandra Nope
Sitio de información:	Programa de pregrado en Ingeniería Electrónica
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Trabajo de investigación en profundización
Nombre Particular:	Sistema para la detección de la calidad de impresión basado en visión por computador
Ciudad y fechas:	8 de Octubre de 2015
Participantes:	Alexander Recalde Arboleda
Sitio de información:	Programa de posgrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Registro de Software
Nombre General:	Radicación No. 1-2016-26560
Nombre Particular:	E2CAV, Herramienta Software para la Estimación local del Espesor de la Capa Asfáltica usando Visión Artificial
Ciudad y fechas:	7 de Abril de 2016
Participantes:	Brayan Barrios, Bladimir Bacca y Sandra Nope
Sitio de información:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.



4. Impactos actual o potencial:

A continuación se describen los impactos esperados en:

Ámbito académico: El sistema desarrollado contribuye al desarrollo en las líneas de investigación del Grupo en Percepción y Sistemas Inteligentes, que no sólo se queda en la aplicación teórica de técnicas y métodos sino que confluye en un primer prototipo en el campo de aplicación de la Ingeniería Civil. Aunque no se desarrollan nuevas técnicas, la aplicación de las mismas para determinar el espesor de las capas asfálticas si es novedosa.

Las publicaciones contribuyeron a dar visibilidad a los desarrollos del Grupo PSI, y durante los congresos en los que se socializaron los resultados del proyecto, se realizaron contactos con personas de otras instituciones interesadas en el tema del proyecto.

Ámbito ambiental: La tecnología desarrollada no impacta el ambiente, por el contrario contribuye a su preservación en proyectos a pequeña y mediana escala en donde los métodos no destructivos no sean viables económicamente. En esta situación, los cierres a la vía para la toma de muestras son mucho más cortos, lo que tiene un impacto sobre la contaminación generada por los carros que permanecen prendidos durante los tiempos de espera y las posteriores congestiones a causa de las colas. De la misma manera, la puesta en funcionamiento es mucho más rápida, ya que para cerrar un hueco de este tamaño (~1/2 pulgada de diámetro) se puede sellar con productos como el Silka para concreto; esto sin contar con el desperdicio de material que se genera en pruebas como la extracción de núcleos.

Ámbito productivo: El sistema desarrollado contribuye con una solución propia y pertinente a las necesidades de nuestro país, en donde los recursos son escasos y hay un alto atraso en el desarrollo de la malla vial. De este modo, la academia se acerca al sector productivo evidenciando la posibilidad de estrechar lazos mediante proyectos de desarrollo.

Ámbito educativo: El proyecto contribuyó a la formación de los estudiantes a través del desarrollo de sus trabajos de grado y monitorias en áreas como la visión artificial, el diseño y desarrollo hardware, el diseño y desarrollo software, y la interdisciplinariedad que se logra al contribuir a otros campos del saber y la interacción con profesionales de otras disciplinas.

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones