

LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES EN LAS VÍAS SECUNDARIAS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

 JOHN MARIO GARCÍA GIRALDO¹
JAIME OSPINA GIRALDO²
EDIR AMPARO GRACIANO GÓMEZ³

RESUMEN

Las vías terrestres son la principal herramienta para el desarrollo comercial y económico de una región. La falla de un puente en un proyecto vial genera la interrupción total del tráfico de bienes en su superficie, produciendo cuantiosas e incalculables pérdidas mientras se restituye el normal flujo vehicular. Antioquia cuenta con una de las redes viales secundarias más extensas del territorio colombiano, y en ella hay un número importante de puentes que conforman su patrimonio vial. Gran porcentaje de estos puentes no han recibido un mantenimiento adecuado desde su construcción posibilitando la aparición de fallas en su estructura e incluso su eventual colapso. El inventario realizado a la totalidad de puentes de las vías secundarias del departamento de Antioquia identificó los principales parámetros físicos del puente, su tipología constructiva, el tipo de estructura y el nivel de daños presentado. Como resultado se observa que la tipología estructural más empleada es la de puentes de concreto reforzado, con una longitud de mayor repetición entre 5m y 10m, de los cuales el 11 % requiere una intervención inmediata por el nivel de daños presentados y el 48 % de ellos se encuentran funcionando adecuadamente.

PALABRAS CLAVES: puentes; red vial; infraestructura; departamento de Antioquia.

BRIDGE INFRASTRUCTURE IN SECONDARY ROADS OF ANTIOQUIA

ABSTRACT

The roads are the main tool for business and economic development of a region. Bridges failures generate the interruption in the normal traffic, producing many and incalculable losses while the normal traffic is restored. Antioquia is one of the longest road networks in Colombia with several numbers of bridges that conform its road infrastructure assets. Many of these bridges have not been properly maintained since its construction, which can cause structural failures and even its possible collapse. The inventory bridges made in every departmental road in Antioquia identified the main physical parameters of the bridge, the building type, the type of structure and the current level of damage.

¹ Ingeniero civil, Universidad de Medellín. MsC. en Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. PhD. (c) Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesor Asistente, programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.

² Ingeniero civil, Universidad Politécnica Jaime Isaza Cadavid. Profesional Universitario de la Secretaría de Obras Públicas del Departamento de Antioquia, desde el año 2006 hasta la fecha.

³ Ingeniera civil, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Especialista en Vías y Transporte, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Directora de Desarrollo Físico de la Secretaría de Infraestructura Física de Antioquia, desde el año 2008 hasta 2011. Consultora independiente.

 *Autor de correspondencia: García-Giraldo, J.M. (John Mario).*
Universidad de Medellín: Carrera 87 N° 30 – 65 (Antioquia, Colombia). Tel: (574) 3405333.
Correo electrónico: jmgarcia@udem.edu.co

Historia del artículo:
Artículo recibido:10-VII-2013 / Aprobado: 7-VII-2014
Disponible online: 30 de diciembre de 2014
Discusión abierta hasta diciembre de 2015

The inventory showed that reinforced concrete is the most common structural type used in bridges, with most common length between 5m and 10m, inventory also showed that 11 % of the bridges require immediately intervention due to several damages in their structure and 48 % of them are working properly.

KEYWORDS: Bridges; Roads; Infrastructure; Antioquia.

A INFRA-ESTRUTURA DE PONTES NAS ESTRADAS SECUNDÁRIAS DO DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

RESUMO

As estradas são a principal ferramenta para negócios e desenvolvimento econômico de uma região. O fracasso de uma ponte em um projeto de estrada gera o interrupção total do tráfego de bienes na sua superfície, produzindo grandes perdas e incalculáveis entanto que fluxo do tráfego normal é restaurado. Antioquia tem uma das maiores redes de estradas secundárias da Colômbia, e em ela há um número significativo de pontes que compõem seus ativos rodoviários. Uma grande porcentagem dessas pontes não foram devidamente mantidos desde a sua construção permitindo o aparecimento de falhas em sua estrutura e até mesmo seu possível colapso. O inventário feito na totalidade das estradas secundárias e das pontes do Departamento de Antioquia identificou os principais parâmetros físicos da ponte, seu tipo de construção, tipo de estrutura e nível de dano apresentado. O resultado mostra que o modelo estrutural mais utilizado é a ponte de betão armado com um comprimento maior sobreposição entre 5m e 10m, dos quais 11 % necessitaram de intervenção imediata pelo nível de danos produzidos e o 48 % de eles estão funcionando corretamente.

PALAVRAS-CHAVE: Pontes; Rede rodoviária; Infra-estrutura; Antioquia.

1. INTRODUCCIÓN

El desempeño comercial de cualquier región está directamente relacionado con el estado de sus vías de transporte y obras de infraestructura vial. Los puentes son estructuras que permiten salvar accidentes geográficos para dar continuidad y permitir eficazmente la comunicación entre dos regiones. Durante los crudos periodos de lluvia en Colombia, ocurridos entre los años 2010 y 2012, varios puentes colapsaron comunicando muchas de sus poblaciones periféricas e incluso algunas de sus capitales principales. El departamento de Antioquia no estuvo exento a este tipo de eventos, por el contrario, gran porcentaje de sus habitantes vieron como toneladas de sus productos se deterioraron como consecuencia de los taponamientos provocados por el colapso de los puentes y corredores viales, generando cuantiosas pérdidas económicas a sus habitantes y el detrimento a las finanzas del Estado.

Por otra parte, el escaso mantenimiento y la poca revisión que se realiza al sistema estructural de un gran número de puentes en el territorio colombiano,

incrementa la probabilidad de que se generen fallas por el deterioro de su estructura, que conduzcan posteriormente a su cierre parcial y, en casos más extremos, al colapso de su estructura.

Es por esta razón que con el apoyo de la Secretaría de Infraestructura Física del Departamento de Antioquia, se ha desarrollado un inventario general de todos los puentes pertenecientes a su red vial secundaria, con la finalidad de establecer una herramienta estadística que pueda servir de apoyo a los diferentes entes gubernamentales encargados del buen funcionamiento de este tipo de estructuras. De tal forma que esta información les permita conocer el estado actual de su infraestructura e implementar planes de mantenimiento preventivo y correctivo que mitiguen los principales problemas que presentan hoy en día este tipo de estructuras y se genere una política de inspección periódica con miras a conservarlas en buen estado en el departamento de Antioquia.

Esta investigación, desarrollada entre los años 2008 y 2012, hace un inventario completo de todos los puentes pertenecientes a la red vial secundaria del de-

partamento de Antioquia, donde se expone un análisis estadístico de las diferentes tipologías de los 1283 puentes auscultados que existen en esta red.

2. MARCO TEÓRICO

Desde el inicio de la humanidad el hombre ha visto la necesidad de salvar obstáculos como ríos, hondonadas u otros accidentes topográficos en el terreno. Para ello percibió el reto de construir sus primeros puentes primitivos con la ayuda de materiales como la madera, piedras, guadua, bejucos, entre otros. Es así como este tipo de estructuras es considerada una de las actividades de construcción más antiguas hechas por el hombre. Desde los puentes construidos con piedra, ladrillo y mortero en la civilización romana, siguiendo por los puentes suspendidos de cuerdas de la civilización Inca, hasta llegar al año 1840 en que se presencia un desarrollo rápido y amplio de la construcción de puentes en el mundo por la industrialización del acero, los puentes a lo largo del tiempo han desarrollado una importancia histórica en el progreso de las diferentes civilizaciones de la humanidad tanto en su desempeño económico como en el crecimiento social (Chinchilla, *et al.*, 2008).

Para el departamento de Antioquia, estructuras como el Puente de Occidente (**Figura 1**) han sido un hito histórico, cultural y comercial para el desarrollo del departamento y el país indicando la importancia que tiene este tipo de estructuras para el progreso de una región (Londoño, 2008).

Las carreteras en Antioquia comienzan a configurarse a paso lento entre los años 1915 y 1920, y con ello surge la necesidad creciente de construir puentes para dar continuidad a este tipo de caminos. Ya para el año 1935 existían cerca de 915 kilómetros de carreteras en Antioquia, la mayoría de ellas partían desde Medellín hacia las diferentes regiones del departamento (Gómez, 1991). Aunque estas primeras carreteras conformaban tramos sueltos, generalmente buscaban llegar a una estación de ferrocarril, ya que éste sistema era la columna central del transporte para la época en la región (Gómez, 1991).

La malla vial del departamento de Antioquia está constituida por 20.116 km, de los cuales 1.515 km (7.5 %) pertenecen a la red vial primaria, 4.822 km (24.0 %) conforman la red vial secundaria y 13.779 km (68.5 %) a la red vial terciaria (Secretaría de Infraestructura de Antioquia, 2011). Asimismo, la red vial colombiana para

Figura 1. Puente de Occidente, Antioquia-Colombia.



el año 2006, contaba aproximadamente con 166.233 km, de los cuales 16.575 km (10 %) constituyen la red primaria, 66.082 km (39,8 %) hacen parte de la red secundaria y 36.736 km (22,1 %) constituyen la red terciaria, adicionalmente, 34.285 km (20,7 %) a cargo del antiguo Fondo Nacional de Caminos Vecinales y 12.556 km no fueron clasificados (7,6 %) (Ospina, 2004). Como se puede observar, las vías secundarias ocupan un renglón importante dentro de la malla vial colombiana y con su correcta conservación y el mantenimiento adecuado de todas sus obras de infraestructura, se impulsarán el bienestar de las diferentes regiones e incrementarán la calidad de vida de gran parte de los colombianos.

Trabajos de Fedesarrollo en Colombia han indicado que: un aumento de 1 % en los kilómetros de carreteras está asociado a un incremento de 0,42 % en el Producto Interno bruto (PIB), una reducción de 1 % en los costos de transporte aumentaría las exportaciones en un 0,5 % y que la firma del Tratado de Libre Comercio (TLC) entre Colombia y los Estados Unidos puede generar un aumento de más del 40 % en los volúmenes del comercio bilateral (Caicedo, 2007).

En Colombia, desde el año 1996, existe un Sistema de Administración del Mantenimiento de Puentes (SIPUCOL) creado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) con la asesoría del Directorado de Carreteras de Dinamarca. Su creación fue propiciada para desarrollar el inventario, inspección, mantenimiento rutinario, control de presupuestos, control de avance de obra, diseño de obras de reparación y evaluación de

capacidad de carga de los puentes en todo el territorio nacional (Ruiz y Yamin, 2001).

Los alcances del sistema SIPUCOL son los siguientes (Muñoz, *et al.*, 2005):

1. Predicción de las necesidades de mantenimiento y de los fondos requeridos
2. Elaboración de listados de puentes por prioridades de rehabilitación
3. Identificación de puentes con restricciones o limitaciones de servicio
4. Búsqueda de la mejor alternativa de rehabilitación
5. Cuantificación de los costos de inversión por puente
6. Determinación de la capacidad de carga de los puentes y sus restricciones

Dentro de la inspección realizada para el año 1996 por SIPUCOL (1996) en 1958 puentes de longitud mayor a 10m de la red vial primaria en Colombia (Ruiz y Yamin, 2001), se obtuvo como resultado un valor estadístico sobre la tipología de puentes en todo el territorio nacional tal como se muestra en la **Figura 2**.

Estudios desarrollados por Muñoz, *et al.* (2004), años más tarde, determinan que para esta época, la variación de la tendencia constructiva de puentes en el territorio colombiano se ha mantenido respecto a los estudios iniciales desarrollados por SIPUCOL. Para el año 2004 la red vial de Colombia contaba con aproximadamente 2.100 puentes, de los cuales el mayor porcentaje (63 %) fueron construidos en concreto reforzado, 24 % en concreto preesforzado, 8 % con superestructuras tipo mixtas (acero y concreto) y 3 % con superestructuras en acero, tal como se observa en la **Figura 3**.

Los daños que se presentan comúnmente en las tipologías de puente más usadas en Colombia son (INVIAS, 2006):

- **Puentes en concreto reforzado:** fisuras, aplastamiento local, asentamientos, volcamiento, vibración excesiva, hormigueros, segregación, fisuración por retracción, problemas en las juntas frías, exposición del acero de refuerzo, eflorescencias, corrosión de la armadura, contaminación del concreto, fallas por impacto y socavación.

Figura 2. Estadísticas de la clasificación de los puentes según el tipo de material en la red vial colombiana (Ruiz y Yamin, 2001)



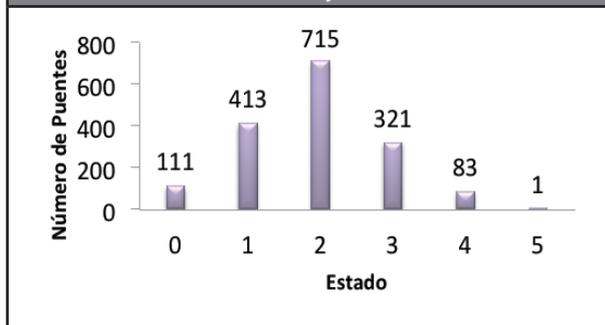
Figura 3. Distribución estadística de los puentes acorde a sus materiales de construcción (Muñoz, *et al.*, 2005)



- **Puentes en estructuras metálicas:** corrosión, deterioro de pintura, pérdida de recubrimiento en los cables, pérdida de tensión en los cables y pendolones, fisuras, pandeos, fallas por impacto, deflexiones excesivas, mal estado de conectores, aplastamiento, desgarramiento, fallas en la soldadura.

SIPUCOL maneja un parámetro de calificación para el estado en que se encuentran los puentes. Esta calificación varía entre 0 y 5, siendo 0 la que representa el menor daño y 5 el daño extremo, falla total o riesgo de falla total, considerando como buen estado las calificaciones 0, 1 y 2 respectivamente, condiciones regulares 3 y mal estado 4 y 5. La calificación final del puente se

Figura 4. Estado del puente, en la red vial colombiana (Ruiz y Yamin, 2001)



obtiene al seleccionar la mayor calificación obtenida dentro de la evaluación de sus componentes clasificados como estructurales (Muñoz, *et al.*, 2005).

La información obtenida por SIPUCOL para la red vial colombiana en puentes de concreto y acero se muestra en la **Figura 4**.

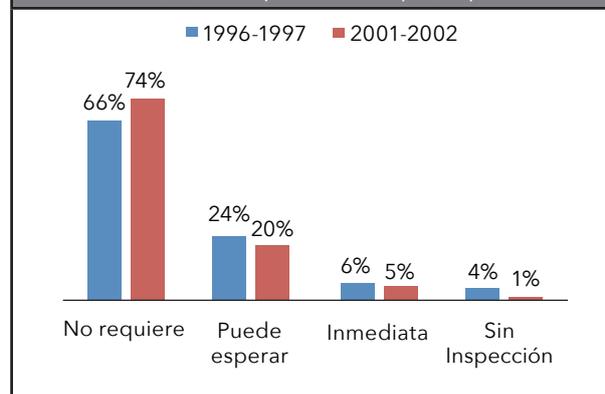
Dentro de las auscultaciones realizadas a sesenta y tres (63) casos de colapsos en puentes de la red vial de Colombia se encontró que el 14 % de los puentes fallaron por deficiencias estructurales, de los cuales la mayoría correspondían a puentes en acero (Muñoz, 2001).

Luego de haberse creado el sistema de administración SIPUCOL, en Colombia se han desarrollado dos periodos de observación del estado de los puentes en la red vial colombiana, uno entre 1996-1997 (Periodo 1) y otro entre el 2001-2002 (Periodo 2). Dentro de estos periodos se ha observado una evolución positiva de las condiciones funcionales del puente tal como se observa en la **Figura 5**.

Muñoz y Valbuena (2004) proponen los siguientes temas de investigación para mejorar el desempeño de puentes metálicos: corrosión en elementos a tensión, fatiga de elementos y uniones de acero, inspecciones visuales con equipos especializados, auscultaciones profundas de patología (Microscopio de detección de grietas, extensómetro, prueba de campo, prueba rápida de cloruros, carbonatación, equipo para monitoreo de grietas, equipos de ultrasonido para detectar recubrimiento y refuerzo, ensayos de adherencia, etc.) y estudios especializados de socavación.

3. METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Figura 5. Estado de los puentes en la red vial colombiana durante 2 periodos de medición SIPUCOL (Muñoz *et al.*, 2005)



La presente investigación se apoya en la recolección de la información entre los años 2009 y 2012 de los 1.283 puentes pertenecientes a las vías secundarias del departamento de Antioquia, cuyo mantenimiento y conservación se encuentra a cargo de la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Antioquia. Para la recolección de la información y con base a lo establecido por el SIPUCOL, personal de la Secretaría de Infraestructura diseñó la Ficha de Referenciación de Puentes como se puede observar en la **Figura 6**, cuyo objetivo primordial fue el de facilitar la recolección de la información más relevante sobre el estado de la infraestructura de puentes a cargo del Departamento de Antioquia.

Dentro de la información recolectada en la ficha para cada uno de los puentes se encontraba: municipio, subregión, nombre del corredor vial, abscisa, vereda o corregimiento donde se localiza cada puente, registro fotográfico, tipología del puente, longitud, ancho, número de luces, número de apoyos, altura de los estribos, nombre de la quebrada o río que atraviesa, gálibo, estado de la superestructura, estado de la subestructura, tipo de intervención requerida, responsable de la toma de datos y fecha de toma de la información.

Gran porcentaje de la información recolectada pertenece a valores cuantitativos del puente medidos en el sitio. Solamente se empleó como medida cualitativa el estado de los diferentes elementos estructurales que componen el puente y cuyos valores fueron asignados

Figura 6. Ficha para recolección de datos

FICHA REFERENCIACIÓN DE PUENTES

Antioquia para todos.
¡Manos a la obra!



GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
Secretaría de Infraestructura Física



Municipio: _____

Subregión: _____

Vía: _____

Abscisa: _____

Localización del puente vereda, corregimiento comunidad, caserío, otra-especificar:

Fotografía del puente:

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE O ESTRUCTURA

Tipo de puente o estructura:
 concreto reforzado concreto postensado Metálico Colgante
 Box-culvert otro-especificar _____

Longitud del puente o de la obra (en metros): _____ Ancho del puente (en metros): _____

Número de luces del puente : _____

Número de apoyos del puente : _____

ESTRIBOS

Margen derecha Margen Izquierda

Altura total (m)

Nombre de la quebrada o río

Galibo(m)

Estado de la superestructura
(fisuras, corrosión, acumulación de material, desplazamiento, fatiga, impacto, pérdida de apoyo, pérdida de sección, concreto en mal estado, acero expuesto)

Estado de la subestructura
(socavación, fisuras, desplazamiento, fatiga, desplome)

Intervención requerida escala de medición de 0 a 2 0 no requiere 2 inmediata
 0. 1. 2.

Responsable de la Toma de Datos

FECHA:

mediante una inspección visual detallada realizada por un profesional capacitado para dicha tarea. La evaluación final del puente se obtiene después de revisar la información recolectada y proponer el tipo de intervención requerida para cada uno de los puentes analizados acorde a la mayor calificación de los componentes evaluados (Muñoz, *et al.*, 2005).

La información recolectada en las fichas fue procesada estadísticamente, abstrayendo las variables que fueran más representativos para el seguimiento y control de este tipo de infraestructura, y que al mismo tiempo sirvieran de diagnóstico priorizado para las personas encargadas del correcto funcionamiento de los puentes a cargo de la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Antioquia.

Estos resultados servirán para tomar las medidas correctivas necesarias e implementar un sistema de mejoras a los futuros puentes a construir en el departamento de Antioquia. De igual manera, la información recolectada servirá de apoyo para definir la prioridad de inversión de los recursos en aquellos puentes que necesiten una intervención inmediata para evitar su posible colapso.

4. RESULTADOS

Luego de hacer una recolección detallada de cada uno de los puentes auscultados, se hace un análisis estadístico de las diferentes variables medidas y se tabulan los resultados de forma gráfica.

La tabulación de la información se desarrolla de tal manera que los gráficos muestren los parámetros estadísticos más relevantes para las diferentes variables analizadas.

4.1. Longitudes representativas de los puentes en las vías secundarias

Una de las variables más importante y que determina en gran porcentaje la tipología estructural a usar en la construcción de un puente es su longitud. La magnitud de esta variable depende principalmente del ancho del obstáculo a librar, que en su mayoría son cursos o corrientes de aguas naturales como ríos o quebradas. Por ser la longitud una variable de medición continua, se tomó la determinación de agrupar los valores de medición en espectros cada 5 metros. Para este rango de medición los resultados estadísticos obtenidos se observan en la **Figura 7**.

Aunque los puentes de longitud inferior a 5m son considerados por algunas normas como pontones o alcantarillas, en la estadística obtenida se incluyen dentro de la tabla de resultados ya que son un porcentaje importante dentro de la muestra recolectada (26.27 %) y su análisis puede ser de utilidad para futuras investigaciones en esta temática.

Se observa que gran porcentaje de los puentes son de corta longitud con luces inferiores a 15m, cuyo rango de mayor incidencia es para longitudes entre 5m y 10m. Estos resultados son de gran utilidad para determinar los sistemas estructurales que mejor relación costo/beneficio tienen para estas longitudes predominantes y al mismo tiempo para poder optimizar el diseño de este tipo de estructuras acorde a los materiales de las diferentes regiones del departamento.

4.2. Tipología de los puentes en Antioquia

Otra de las variables recolectadas dentro de la información para los puentes de las vías secundarias del departamento de Antioquia fue la tipología de su sistema estructural principal. Al evaluar las diferentes tipologías que presentan los puentes en las vías secundarias del departamento los resultados estadísticos obtenidos se observan en la **Figura 8**.

Figura 7. Estadística de puentes por longitud (unidades en metros)

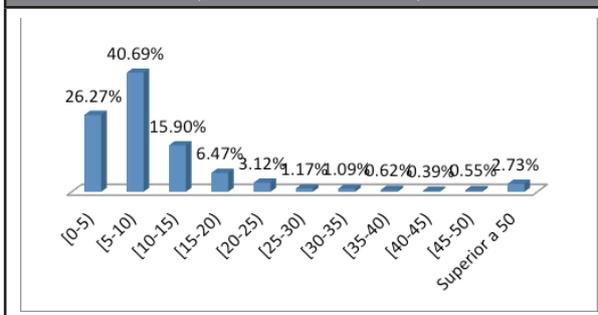
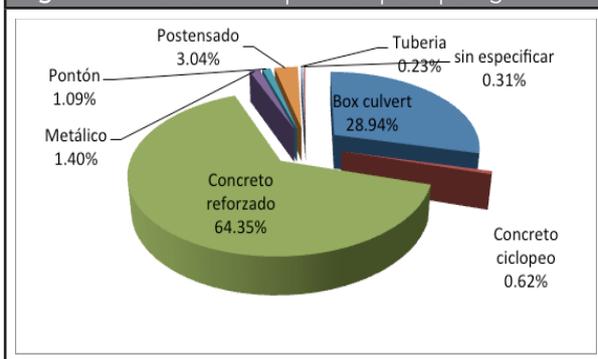


Figura 8. Estadística de puentes por tipología

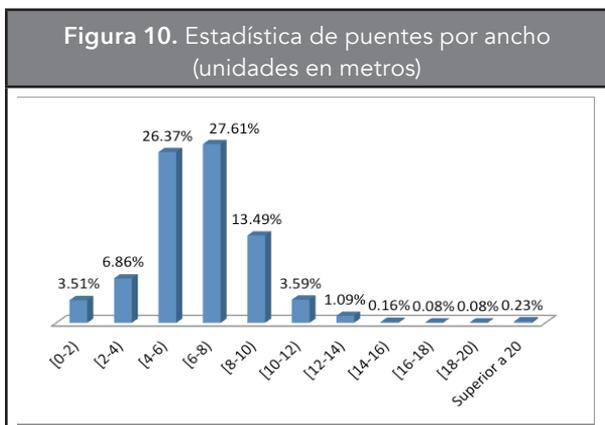
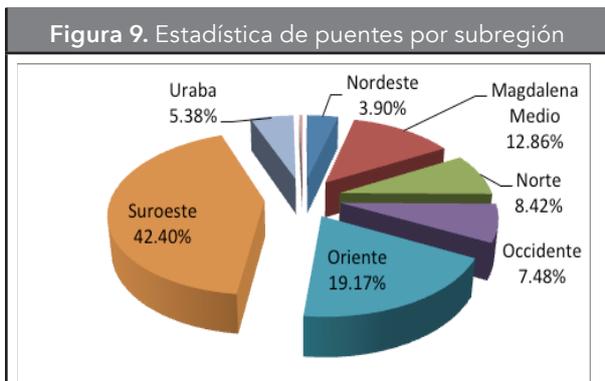


Por la longitud característica en gran porcentaje de estos puentes, las dos estructuras que más se acoplan a estas luces son las losas en concreto reforzado y los *box culvert*. Aunque también muchos de ellos por su antigüedad se erigieron con otras técnicas constructivas de mayor auge para la época, a pesar de que hoy en día hubiera sido más eficiente haberlos construido con técnicas de concreto postensado o estructura metálica.

4.3. Inventario por subregión

El departamento de Antioquia está dividido políticamente en nueve (9) subregiones a lo largo de toda su extensión. Esta subdivisión política fue otra de las variables involucradas dentro del proyecto de investigación, con la finalidad de establecer el patrimonio en la infraestructura de puentes de las principales subregiones y su distribución estadística a lo largo de todo el departamento. Los resultados estadísticos obtenidos se muestran en la **Figura 9**.

La distribución de la infraestructura de puentes a lo largo de todo el departamento de Antioquia,



además de servir como un referente estadístico de los puentes de la red vial secundaria en el departamento, sirve también como dato para indicar el porcentaje aproximado de la distribución de recursos para la supervisión, monitoreo, mantenimiento y reparación de estas estructuras en Antioquia; asimismo, para revisar las políticas de conservación de la infraestructura vial en las diferentes subregiones del departamento.

4.4. Ancho característico de los puentes del departamento

Otra de las dimensiones características dentro de la geometría de un puente es su ancho. Esta dimensión establece la capacidad vehicular sobre el puente y determina las condiciones de flujo de la vía. Los resultados estadísticos obtenidos se muestran en la **Figura 10**.

El ancho de puente predominante varía entre 4m y 8m, acorde a las especificaciones geométricas para vías de calzada simple con dos carriles, que son las que predominan en la red vial secundaria del departamento de Antioquia.

4.5. Luces entre apoyos

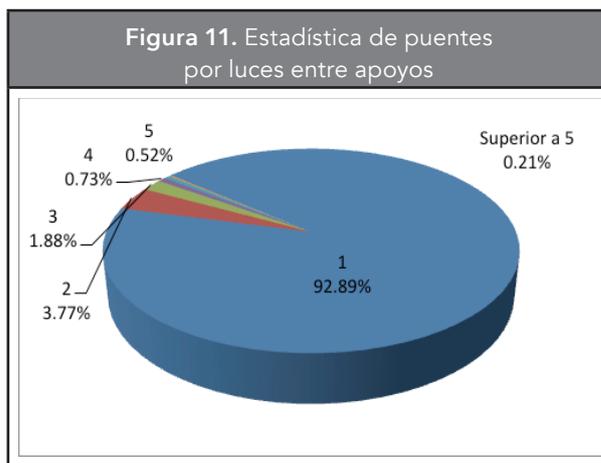
Acorde a la tipología estructural del puente y la longitud del obstáculo que debe sobrepasar, surge la necesidad de colocar apoyos intermedios que generen una mayor estabilidad a la estructura y disminuyan los costos del proyecto notablemente. Los resultados estadísticos para la medición de esta variable se pueden observar en la **Figura 11**.

Como se puede observar en la **Figura 11**, por ser predominantes, los puentes de corta longitud, el sistema de apoyo simple impera en casi la totalidad de puentes pertenecientes a la malla vial secundaria del departamento de Antioquia.

4.6. Altura de los estribos

Los estribos en un puente son las estructuras encargadas de transmitir las cargas externas del puente a la cimentación y de allí al suelo de soporte; de igual manera sirven como estructura de contención para el terraplén de acceso de la vía. La altura de los estribos es un parámetro geométrico característico de la estructura de un puente. Por ser la altura una variable que presenta un comportamiento continuo, los resultados estadísticos obtenidos se agruparon en rangos de 2 metros. Los resultados obtenidos se observan en la **Figura 12**.

Como resultado de las condiciones topográficas de los principales obstáculos que atraviesan los puentes pertenecientes a la red vial secundaria en el departamento de Antioquia, la altura característica de los estribos se enmarca entre 2m y 4m.



4.7. Gálbo característico de los puentes en las vías secundarias

El gálbo se conoce como la altura libre entre la parte inferior de la superestructura y el nivel de la máxima creciente conocida o el máximo obstáculo que debe atravesar el puente en toda su longitud. En la mayoría de las ocasiones el gálbo es un parámetro determinante para establecer la navegabilidad en el puente y, para la mayoría de los constructores, un parámetro importante para definir la tipología constructiva del puente, ya que esta determina su viabilidad económica para construir la obra falsa para el armazón del puente o genera la necesidad de implementar metodologías de lanzado o izado para su construcción. Al igual que otras variables medidas dentro de esta investigación, el gálbo presenta un comportamiento continuo, por ende los resultados estadísticos obtenidos se agruparon en rangos cada 2 metros. Dichos resultados se muestran en la **Figura 13**.

Similar a lo observado en la altura de los estribos, el gálbo característico de los puentes presenta un comportamiento estadístico análogo y el rango de mayor incidencia porcentual se enmarca entre 2m y 4m de altura.

5. ESTADO ACTUAL DE LOS PUENTES

El estado del patrimonio de los puentes en las vías secundarias de una región es una de las variables que interviene para el desarrollo de su economía y proporciona parámetros cualitativos sobre la movilidad en dicha región. Gran porcentaje de los productos que se consumen en las capitales de los departamentos de Colombia se movilizan por este tipo de vías. Cualquier daño o colapso que se produzca en un puente sobre estas vías generará grandes contratiempos en el desarrollo comercial de la regiones y el país, al igual que afectará la calidad de vida de un gran porcentaje de colombianos.

La globalización mundial determina que el mercado de Colombia no se hace solamente entre sus regiones sino que es un mercado abierto al mundo entero. Los tratados de libre comercio que impulsan actualmente el intercambio de productos entre Colombia y los diferentes países del mundo, entre ellos Estados Unidos, una de las grandes potencias mundiales, genera la necesidad a los organismos gubernamentales de preservar y hacer

Figura 12. Estadística de puentes por altura de los estribos (unidades en metros)

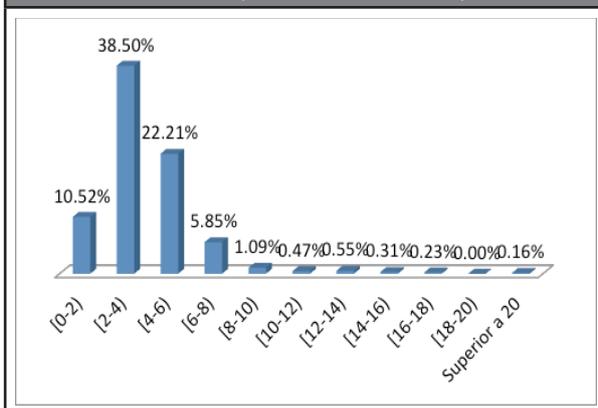
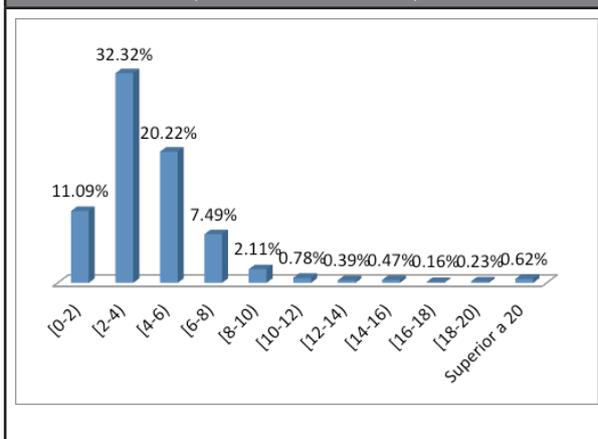


Figura 13. Estadística de puentes por gálbo (unidades en metros)



un mantenimiento adecuado a toda la red nacional de puentes, que generen el libre flujo de bienes y personas por el bienestar e incremento de la calidad de vida de todos los colombianos.

La información recolectada en esta investigación, sirve de apoyo a la Secretaría de Infraestructura del Departamento de Antioquia y a todas las personas responsables del buen funcionamiento de los puentes en esta región, para tomar medidas correctivas y establecer un programa de mantenimiento periódico que permita mejorar el comportamiento estructural de los puentes en las vías secundarias del departamento, y de esta forma garantizar el normal flujo de bienes y personas por todo el territorio Antioqueño.

5.1. Estado de la superestructura

La superestructura comprende todos los elementos del puente que se encuentran sobre sus elementos de soporte. Generalmente la conforman la superficie de rodamiento, las vigas y la losa superior. El reporte sobre el registro estadístico de las observaciones realizadas a las superestructuras de los puentes se puede observar en la **Figura 14**.

Aunque un porcentaje importante de las superestructuras de los puentes pertenecientes a la red vial secundaria del departamento de Antioquia se encuentra en buen estado, fueron varios los tipos de defectos funcionales encontrados, entre ellos, el desgaste normal por el uso y la acumulación de material, que son los factores más predominantes entre los defectos registrados dentro del inventario realizado.

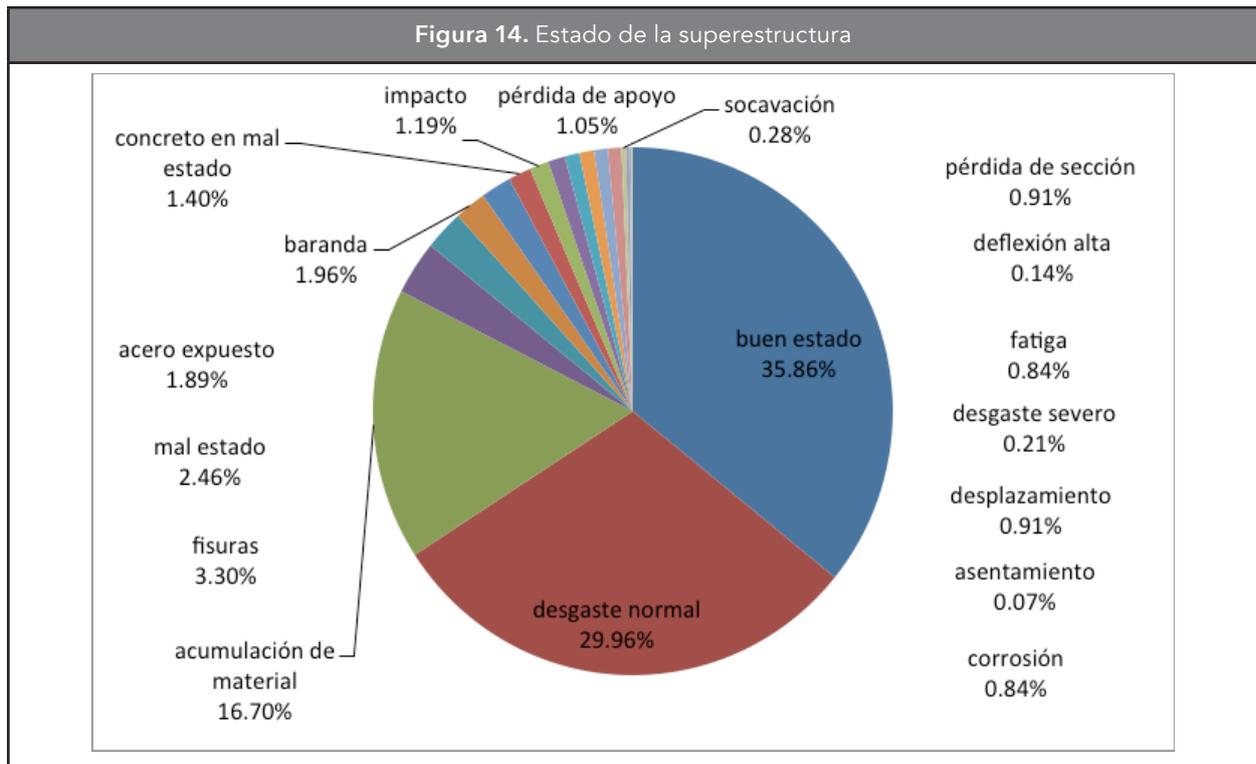
Un correcto mantenimiento preventivo de la superestructura, realizado de manera periódica, acompañado de brigadas de limpieza que eviten la acumulación de material y permitan la libre evacuación de las aguas de escorrentía, son dos herramientas fundamentales para garantizar el

adecuado funcionamiento de las superestructuras en los puentes de las vías secundarias del departamento de Antioquia.

5.2. Estado de la subestructura

Al igual que para la superestructura, se hizo un registro general del estado de la subestructura o el conjunto de elementos que requiere el puente para sustentarse y transmitir eficientemente las cargas al suelo de cimentación, dentro de las cuales se pueden mencionar: columnas, estribos, apoyos, pilas y cabezales del puente. En un alto porcentaje las subestructuras se encuentran en buen estado, aunque los dos principales defectos que se observaron fueron la presencia de fisuras y la socavación. El reporte sobre el registro estadístico de las observaciones realizadas a las subestructuras de los puentes se presenta en la **Figura 15**.

Aunque el porcentaje más alto de las subestructuras auscultadas se encuentra en buen estado, problemas como las fisuras, socavación y acumulación de material, tienen un grado de participación importante dentro de las mediciones realizadas, ofreciendo la posibilidad de generar nuevas metodologías más eficientes

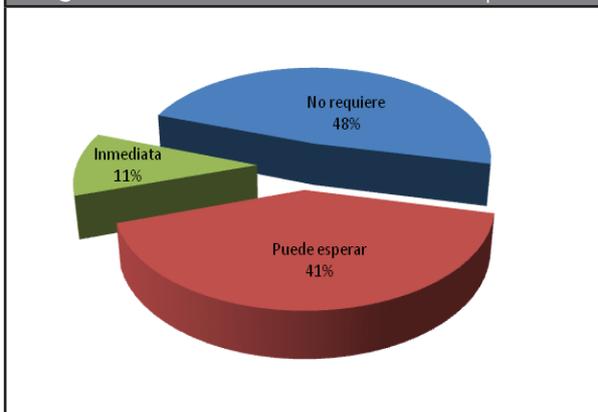


para la remediación de este tipo de problemas, y al mismo tiempo desarrollar investigaciones que generen una reducción en la aparición de los mismos para los futuros puentes a construir.

6. GRADO DE INTERVENCIÓN EN LOS PUENTES

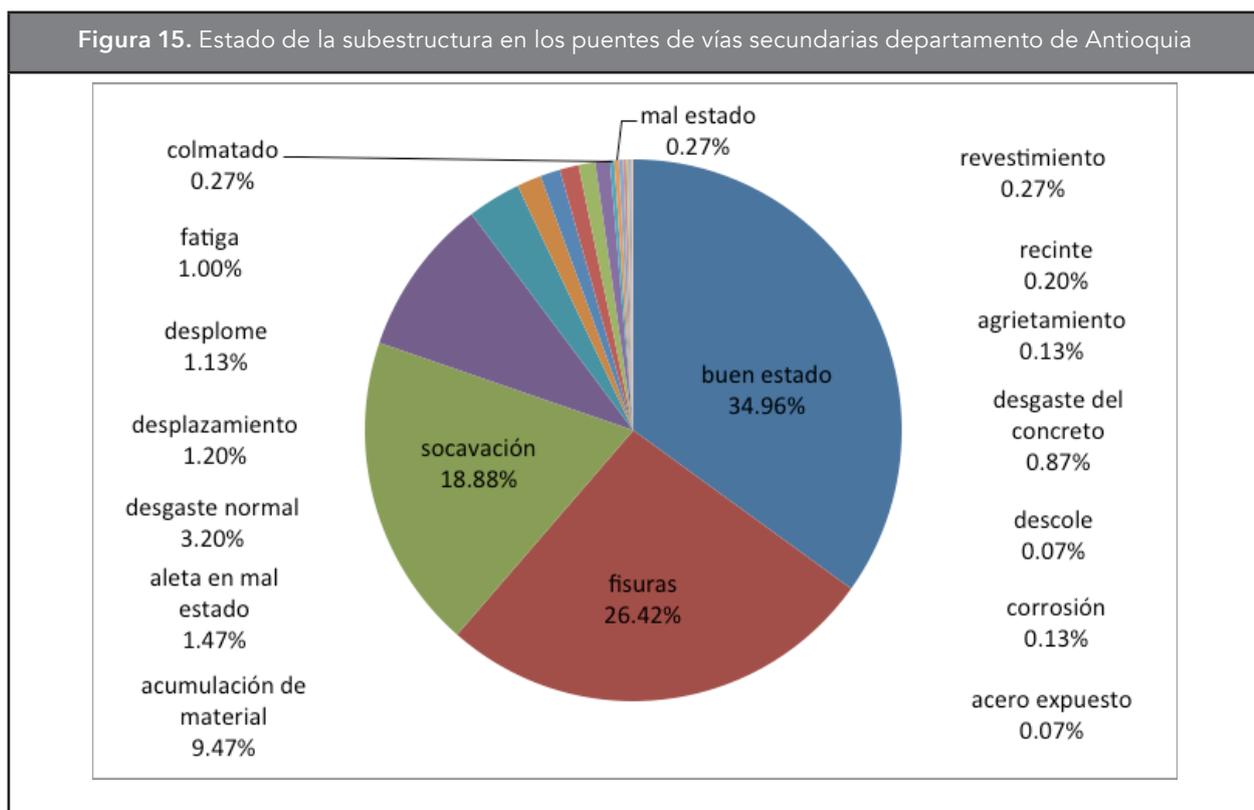
Como información final de cada inspección técnica realizada en cada uno de los puentes, y luego de correlacionar las diferentes variables medidas durante la inspección, se procede a determinar el grado de intervención final a realizar en cada puente. Este grado de intervención está acorde a la escala cualitativa propuesta por SIPUCOL (2004) y que en la actualidad es usada por el INVIAS. La escala cualitativa empleada en el inventario realizado resume el estado del puente en solo tres tipos, acorde a metodologías avaladas por SIPUCOL (2004). Los tres estados propuestos son: cero (0) si no requiere intervención, uno (1) si su intervención puede esperar y dos (2) si se necesita intervención inmediata. El resultado final de la inspección para los puentes pertenecientes a la red vial secundaria del departamento de Antioquia se puede observar en la **Figura 16**.

Figura 16. Grado de intervención de los puentes



Sobre los puentes que requieren de una intervención inmediata, se recomienda realizar una inspección especializada, con auscultaciones de la estructura que incluyan ensayos de campo y laboratorio, tanto destructivos, como no destructivos, para determinar exactamente el estado y las propiedades mecánicas de los materiales que lo componen y definir la mejor alternativa de repotenciación a utilizar en cada uno de ellos.

Figura 15. Estado de la subestructura en los puentes de vías secundarias departamento de Antioquia



Gracias a los resultados parciales de este inventario, a finales del año 2011, varios puentes de esta estadística que requerían intervención inmediata ya se han reparado y con recursos de Colombia Humanitaria se construyeron 11 puentes nuevos sobre la red secundaria.

7. CONCLUSIONES

Gran porcentaje de los puentes que pertenecen a la red vial secundaria del departamento de Antioquia son de corta longitud, predominantemente en el rango entre 5-10m con un 40,69 %, seguida de la longitud comprendida entre 0-5m con un 26,27 %.

La mayor tipología de construcción de los puentes en las vías secundarias de Antioquia son los puentes construidos en concreto reforzado con un 64,35 %, seguido de los *box culvert* con un 28,94 %.

Las regiones con el mayor porcentaje de la infraestructura de puentes en la red vial secundaria para el departamento de Antioquia son el Suroeste con el 42,40 % y el Oriente con el 19,17 %.

Más del 50 % de los puentes que pertenecen a la red vial secundaria del departamento de Antioquia requieren de algún tipo de intervención, observándose la necesidad de implementar nuevas técnicas de intervención y monitoreo que disminuyan este porcentaje en el tiempo y garanticen la estabilidad de este tipo de infraestructura durante su vida útil.

Las inversiones necesarias para construir un metro lineal de estructura de puentes son muy onerosas si se compara con el costo por metro lineal de otras tipologías de obras usadas frecuentemente en la infraestructura vial. Por tal motivo es de vital importancia para todos los organismos encargados del mantenimiento y construcción de este tipo de estructuras velar para que se planifiquen los mantenimientos adecuados y se garantice el correcto funcionamiento de estas obras durante su vida útil.

Tanto la altura de los estribos como el gálibo característico de los puentes, son variables estadísticamente dependientes y su mayor concentración para los puentes de la red vial secundaria del departamento de Antioquia se encuentra en el rango de 2-4m.

Los mayores defectos que presentaron las superestructuras de los puentes durante el inventario realizado fueron el desgaste normal con un 29,96 % seguido de la acumulación de material con un 16,70 %. Asimismo las subestructuras presentaron presencia de fisuras en un 26,42 % de los casos auscultados y la socavación de sus estribos con el 18,88 %.

La mayor enseñanza de la ola invernal durante los años 2010 a 2012 en Colombia, reside en la necesidad de adoptar correctivos que permitan mitigar y prevenir el impacto futuro de factores adversos sobre los puentes de la red de puentes a lo largo y ancho de la geografía nacional. Consecuente con lo anterior, es conveniente revisar los parámetros de diseño, consultar a las personas con experiencia en patología de puentes y demás temas relacionados, para que las variables de diseño se ajusten a los diferentes factores geológicos, hidráulicos, ambientales y sísmicos que inciden en la decisión del tipo de estructura a utilizar en la construcción de un puente, cotejando previamente variables como materiales y sistema estructural, versus costos de mantenimiento durante la vida útil de este tipo de estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores quieren expresar su agradecimiento a la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Antioquia por el apoyo para la recolección de la información, a la Universidad de Medellín por su constante apoyo al crecimiento de la ciencia y la libertad y a los estudiantes de la Especialización de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Medellín: Andrea Betancur, María Bedoya y Mónica Montoya por su apoyo en el procesamiento de la información recolectada.

REFERENCIAS

- Caicedo, J.M. (2007). *Infraestructura - El cuarto de hora*. Cámara Colombiana de la Infraestructura. Bogotá.
- Chinchilla, A.; Mejía, F.; Ramírez, V. (2008). *Análisis y diseño estructural de subestructuras para puentes de claros cortos según normas AASHTO*. Tesis de pregrado. Universidad de Oriente. El Salvador.
- Gómez Botero, F. (1991). *Las vías de comunicación y el Transporte. Historia de Antioquia*. Suramericana de Seguros, 293 p.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS) (1996). *Sistema de Administración de Mantenimiento de Puentes de Colombia (SIPUCOL)*.
- INVIAS, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (2006). *Estudio e Investigación del Estado Actual de las obras de la Red Nacional de Carreteras – Manual para la Inspección Visual de Puentes y Pontones*. Convenio Interadministrativo 0587-03. Bogotá.
- Londoño, J. (2008). *Un recorrido de 100 años a la historia del transporte en Antioquia*, Medellín.
- Muñoz, E.; Hernández, R.; Valbuena E.; Trujillo, L.; Santacruz, L. (2005). *Rehabilitación de los puentes de la Red de carreteras de Colombia, basados en inspecciones visuales, estudios especializados y estrategias de reparación*. *Revista Ingeniería de Construcción*, 20(1).
- Muñoz, E.; Valbuena, E. (2004). *Evaluación del estado de los puentes de acero de la red vial de Colombia*. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 4(2), 125-140.
- Muñoz Díaz, E.E. (2002). *Estudio de las causas del colapso de algunos puentes de Colombia*. *Ingeniería y Universidad*, 6(1), 33-48.
- Ospina, G. (2004). *Estudio de Apoyo Sobre el Sector Transporte en Colombia*. *Recent Economic Development in Infrastructure (REDI)*. Bogotá.
- Ruiz, M.; Yamin, L. (2001). *Vulnerabilidad sísmica de puentes en Colombia y estrategias para su rehabilitación*. *Revista de Ingeniería* editorial: Ediciones Uniandes, 13, pp.74-80.
- Secretaría de Infraestructura de Antioquia (2011). *Avance de la infraestructura física en el departamento de Antioquia*. I Seminario Internacional en Infraestructura y Sostenibilidad. Universidad de Medellín. Medellín.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

García-Giraldo, J. M., Ospina-Giraldo, J., Graciano-Gómez, E.A. (2014). *La infraestructura de puentes en las vías secundarias del departamento de Antioquia*. *Revista EIA*, 11(22) julio-diciembre, pp. 119-131. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.22.103-117>