

TECNOLOGÍAS PARA VÍAS TERCIARIAS: PERSPECTIVAS Y EXPERIENCIAS DESDE LA ACADEMIA

Technologies for tertiary roads: Perspectives and experiences from an academic approach

Silvia Caro¹ y Bernardo Caicedo²

1. Profesora Asociada, 2. Profesor titular

Grupo de Geomateriales y Sistemas de Infraestructura (GeoSI)

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes

Resumen

La selección de las tecnologías a emplear para la construcción y mantenimiento de vías terciarias es una actividad que debe tener en cuenta las condiciones particulares de cada proyecto. Esto incluye realizar una caracterización detallada de los suelos existentes en la zona - sobre los cuales se construirán las vías- y de las condiciones climáticas del lugar. Así mismo, se deben identificar las fuentes de materiales disponibles para la construcción de las estructuras de pavimento y se debe evaluar la posibilidad de modificar algunos materiales locales que no cumplen con las especificaciones técnicas vigentes, con el objetivo de transformarlos en materiales competentes. El objetivo inicial de este artículo es destacar algunos aspectos relacionados con la selección y empleo de tecnologías para vías terciarias que, desde el punto de vista de la academia, son prioritarios para garantizar el éxito de estas iniciativas. Adicionalmente, con el objetivo de resaltar el rol de la investigación en el desarrollo de este tipo de proyectos viales, el documento también describe dos trabajos realizados recientemente por la Universidad de los Andes en relación con el empleo de materiales no convencionales para la construcción de vías terciarias.

Abstract

The choice of technologies to be used for the construction and maintenance of tertiary roads needs to consider the specific requirements of each project. This includes undertaking a detailed characterization of the land in the areas in which the roads will be built and as well as the climatic conditions of the location. Moreover, the sources of materials available to construct pavement structures should be identified and the possibility of modifying some local materials that do not completely fulfill the current technical specifications should be evaluated in order to turn them into suitable materials. The initial purpose of this article is to highlight several features relating to the selection and use of technologies for tertiary roads that, from an academic perspective, are a priority to guarantee the success of these initiatives. Additionally, the document details two pieces of research that were recently undertaken by Universidad de los Andes addressing the use of non-conventional materials to construct tertiary roads in order to emphasize the role played by research in these types of road projects.

Introducción

La importancia de mejorar la cobertura y la calidad de las vías terciarias de un país es el rol que tiene esta red para el impulso del desarrollo socioeconómico de zonas rurales y de poblaciones que se encuentran apartadas de las grandes urbes. Sin embargo, para que este tipo de proyectos sea exitoso es necesario contar con buenos diseños geométricos y de pavimentos, así como con tecnologías apropiadas que se adapten simultáneamente a los estándares de calidad mundiales y a las realidades locales.

En este sentido, es relevante mencionar que existen múltiples experiencias de tecnologías desarrolladas específicamente para vías terciarias tanto a nivel nacional como a nivel internacional. Estas tecnologías incluyen, entre otras, técnicas de estabilización o mejoras de suelos existentes; el uso de materiales locales modificados con diversos aditivos para las capas intermedias de la estructura de pavimento (e.g. cemento, cal u otros componentes); el empleo de tratamientos o riegos de tipo superficial para la capa superficial del pavimento (i.e. mezcla de emulsiones asfálticas con agregados pétreos que se extiende sobre la parte superior del pavimento sin constituir una capa de tipo estructural), dentro de los que se destacan los tratamientos superficiales simples o dobles (TSS o TSD, respectivamente), las lechadas asfálticas y las microsúperficies; el uso de asfaltos naturales (i.e. productos asfálticos que han aflorado a la superficie y cuyos yacimientos se encuentran en diferentes zonas del país) para la conformación de diferentes capas de la estructura; o el uso del sistema de Placa Huella (i.e. sistema de losas de concreto reforzado ubicadas en las dos zonas donde circulan las llantas de los vehículos, las cuales se encuentran conectadas mediante unas vigas denominadas riostras y se complementa con 'piedra pegada' o concreto ciclópeo en la zona central de la vía), técnica que se ha implementado frecuentemente durante los últimos años principalmente en zonas montañosas en el país. En el caso de la rehabilitación de vías terciarias existentes, las tecnologías incluyen también el uso de técnicas de reciclado de los materiales existentes in-situ (e.g. full depth reclamation, FDR), las cuales típicamente comprenden la aplicación de

técnicas como los asfaltos espumados o de tecnologías en frío (i.e. uso de emulsiones asfálticas).

Dada la variedad de posibilidades disponibles, el primer paso a seguir en el desarrollo de grandes proyectos enfocados a la construcción o rehabilitación masiva de vías terciarias - como el que está contemplando el actual gobierno - consiste en realizar una completa revisión del estado del conocimiento en este campo. Dicho diagnóstico permitirá determinar, entre otras cosas, las condiciones bajo las cuales una metodología puede o no ser aplicable a un proyecto específico, así como reconocer las razones por las cuales el empleo de ciertas tecnologías específicas resultan en proyectos de baja funcionalidad o durabilidad. Así mismo, esta revisión permitirá identificar tecnologías que han sido exitosas en otros países y que podrían, luego de estudios técnicos específicos, ser empleadas de forma confiable en el país, así como de tecnologías incipientes cuya aplicación se podría consolidar luego de corroborar sus bondades y limitaciones a través de los resultados que arrojen programas de investigación sobre estos temas.

Indudablemente, los resultados de este diagnóstico constituyen información relevante y confiable para apoyar procesos de toma de decisiones relacionados con la selección de las tecnologías a utilizar en un proyecto vial en particular. En relación con este tema, la siguiente sección presenta algunas consideraciones técnicas básicas que son vitales para garantizar el éxito de dichos procesos de selección.

Consideraciones para la selección y empleo de tecnologías para la construcción de vías terciarias en el país

En términos generales, los siguientes son algunos principios fundamentales que se deben considerar en la selección y empleo de tecnologías para vías terciarias:

1. No existe una tecnología de empleo universal.

2. No existe tampoco un conjunto limitado de tecnologías (tres o cuatro, por ejemplo) que puedan ser aplicados de forma sistemática a las diferentes regiones del país. Esto se debe, principalmente, a la variedad de suelos y de climas que caracterizan el territorio Colombiano.

3. La selección de una o varias tecnologías debe resultar de un estudio cuidadoso de las condiciones específicas del proyecto. Dichas condiciones implican el estudio de los suelos de la zona, el estudio de las condiciones ambientales y climáticas de la región y de las condiciones proyectadas de carga que debe soportar la vía durante su vida útil de servicio.

4. Para garantizar que los proyectos sean costo-efectivos, las tecnologías seleccionadas deben adaptarse a las realidades locales de cada región. Esto significa, por ejemplo, hacer uso en lo posible de materiales locales.

5. El diseño y la construcción de una vía terciaria constituyen dos de las etapas iniciales en la vida del pavimento. Por esta razón, es necesario que desde la concepción del proyecto se planeen cuáles serán las metodologías de gestión y administración de la vía y cómo se van a implementar dichas metodologías dentro del contexto regional del proyecto (e.g. garantizar los recursos para la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y esporádico e involucrar a la población en actividades de mantenimiento rutinario).

6. Aunque la mayoría de vías terciarias en el país se caracterizan por tener bajos volúmenes de tráfico, existen casos especiales en donde el pavimento es sujeto a cargas significativas. Por lo tanto, el diseño, los materiales y las técnicas a emplear, deben ser consecuentes con el uso real esperado de la vía.

7. La investigación, entendida como la ejecución de estudios técnicos especializados por parte de universidades o centros de investigación en temas relacionados con materiales de carreteras, métodos de diseño, técnicas constructivas y/o técnicas de preservación y mantenimiento de vías, constituye una herramienta fundamental para garantizar la calidad final de los proyectos.

Estas consideraciones buscan enfatizar la necesidad que existe de tratar cada proyecto de vías terciarias de forma individual, tal como ocurre en el caso de las

vías primarias o secundarias. En este sentido, vale la pena mencionar que el hecho de que las vías estén catalogadas como "terciarias" o que sean pavimentos diseñados para bajos volúmenes de tráfico, no significa que éstas se puedan diseñar o construir siguiendo metodologías con bajos estándares de calidad, ni tampoco que sea posible aplicar de forma indistinta un grupo limitado de "diseños tipo" (i.e. estructuras de pavimento con materiales y espesores predeterminados). No obstante, una diferencia relevante entre las vías terciarias y otro tipo de obras de infraestructura vial, radica en la necesidad que tienen éstas de ofrecer alternativas técnicas apropiadas bajo condiciones económicas favorables que se ajusten a las posibilidades y restricciones locales. Este aspecto, que se relaciona con el cuarto y quinto punto del listado anterior, incluye la necesidad de identificar materiales locales que se puedan emplear en la construcción de las vías, así como de desarrollar e implementar programas de capacitación que promuevan la apropiación de estas obras por parte de la población, de tal forma que sea ésta la que se haga cargo de la futura conservación de vía.

Con respecto al primer aspecto, sin embargo, es relevante resaltar que una dificultad usual relacionada con el uso de los materiales locales en el país es que en muchas oportunidades éstos no satisfacen los requerimientos técnicos exigidos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). En la mayoría de estos casos, la solución más efectiva consiste en estudiar las propiedades del material con el objetivo de identificar cuáles podrían ser sus usos seguros (e.g. es posible que algunos materiales no se puedan emplear para la conformación de capas estructurales pero sí para las capas bajas del pavimento) o cuáles podrían ser las alternativas técnicas de mejoramiento que permitirían transformarlos en materiales competentes (e.g. estabilización de materiales mediante métodos mecánicos o químicos).

El desarrollo de estudios técnicos como los mencionados con anterioridad son un ejemplo de las actividades de investigación que pueden y deben acompañar estos proyectos viales. Como se ha demostrado a través de diversos trabajos realizados por diversas Universidades en el país, los resultados de proyectos de investigación relacionados con estos temas son vitales para garantizar que la selección de materiales, los diseños de pavimentos y las técnicas constructivas son los apropiados para garantizar la confiabilidad mínima en

el comportamiento del pavimento y su calidad a largo plazo (i.e. disminución del riesgo del proyecto).

A manera de ejemplo, la siguiente sección describe algunas experiencias de investigación realizadas en la Universidad de los Andes sobre materiales no-convencionales que podrían ser empleados en la construcción de vías terciarias. Estos estudios tienen como característica común la identificación y evaluación de las propiedades de materiales locales de una región para su uso en pavimentos, con el objetivo de ofrecer alternativas costo-efectivas para la construcción de vías terciarias de alta calidad.

Experiencias de investigación en uniandes en materiales para vías terciarias

Dentro de las investigaciones relacionadas con temas de infraestructura vial, la Universidad de los Andes, a través del grupo de Geomateriales y Sistemas de Infraestructura (GeoSI) del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, ha realizado varios proyectos relacionados con la caracterización de materiales convencionales y no convencionales para el empleo en vías terciarias. En el contexto de estos proyectos, se entiende como “caracterización de materiales” la ejecución de diversos tipos de ensayos de laboratorio y/o de campo que permiten cuantificar las propiedades fundamentales de los mismos (físicas, químicas y mecánicas), así como su desempeño esperado en campo. Algunos de estos trabajos se remontan al año 2000, en donde como parte del programa del gobierno ‘Vías para la Paz’, se estudiaron los suelos existentes en varias regiones del país, se propusieron alternativas de mejoramiento de dichos suelos y se presentaron posibilidades para la conformación de estructuras de pavimento para vías terciarias. En años más recientes, el grupo de investigación realizó dos proyectos relacionados con este tema, uno de los cuales incluyó la evaluación de una arena-asfalto natural de una mina ubicada en el Departamento de Caldas para su empleo en carreteras y el otro, realizado en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia, se enfocó en identificar, caracterizar y modificar materiales locales que podrían ser empleados en la construcción de vías terciarias en el Departamento de Vichada. A continuación se presenta una breve reseña de estos dos proyectos.

Caracterización de una arena-asfalto natural

Los asfaltos naturales reciben comúnmente los nombres de Material Pétreo Impregnado con Asfalto (MAPIA) o “asfaltitas”. En general, este material es una combinación de agregados pétreos de diferentes tamaños (e.g. arenas o gravas) que se encuentran impregnados de ligante asfáltico que ha sido destilado de forma natural. Se estima que en el país hay por lo menos 26 minas de estos materiales, la mayoría de ellas ubicadas en los Departamentos de Boyacá, Caldas, Caquetá, Cesar, Cundinamarca, Santander y Tolima. De este total, se tiene conocimiento de que al menos 5 de ellas se encuentran actualmente en explotación. La cantidad y calidad de asfalto presente en el material, así como los tamaños y propiedades de las partículas de agregados pétreos, cambian dentro de una misma mina en función de su ubicación (e.g. material obtenido a mayores profundidades tiende a presentar mayores cantidades de ligante) y, como es de esperarse, cambian radicalmente entre las diferentes minas.

De acuerdo con una reseña histórica sobre el empleo de asfaltos naturales en el país realizado en el año 2009 por Calderón (2009), la aplicación de estos materiales en la construcción de pavimentos para carreteras en Colombia se remonta al año 1928, en donde el geólogo Emil Grosses realizó un estudio preliminar sobre los yacimientos de asfalto en la región central de Boyacá. Estudios similares fueron realizados de forma intermitente en otras regiones durante los siguientes 40 años, lo que permitió que, por ejemplo, en el año 1968 el material de MAPIA de un yacimiento en el Departamento de Caquetá estuviera bien caracterizado y fuera empleado en la construcción de carreteras en esta región del país.

En el Departamento de Caldas, por su parte, el hallazgo del asfalto natural se remonta desde la época en la cual se construía la carretera Dorada – Sonsón en la segunda mitad del siglo pasado, aunque en la fecha se desconocía el adecuado uso del material. En la década de 1990, durante la construcción del proyecto Hidroeléctrico Miel I, se reanudaron los estudios sobre este material tipo MAPIA. Dichos estudios permitieron determinar los parámetros requeridos para el empleo de este yacimiento en el mejoramiento de las vías internas del proyecto, las carreteras intermunicipales cercanas y los accesos viales. Esta mina se conoce en la actualidad con

el nombre de Isaza, debido a su ubicación en cercanías al corregimiento de Isaza en cercanías a Norcasia y La Dorada, y el material extraído de la misma ha sido usado por más de 20 años en la conformación de estructuras de pavimento en vías secundarias o terciarias de la zona. La Figura 1 presenta una vía construida en el año 2011 en dicho Departamento, cuya capa superficial o carpeta de rodadura está constituida por este material.



Figura 1. Vía cuya capa superficial se encuentra conformada por el material de arena-asfalto natural de la mina Isaza.



Figura 2a. Mina Isaza de arena-asfalto natural en Norcasia, Caldas.

El interés por caracterizar este tipo de materiales no-conventionales y por identificar sus usos potenciales en la conformación de vías no ha pasado inadvertido en la academia. A nivel internacional, existen varias referencias

sobre estudios técnicos que se refieren al uso de este material (e.g. Samsonov, 2008; Widyatmoko and Elliott, 2008; Mehmet et al. 2011; Themeli et al., 2016, Themeli et al. 2017). En el país, diversas instituciones académicas, incluyendo la Universidad del Cauca, la Universidad Militar Nueva Granada, la Escuela Colombiana de Ingeniería, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad de Antioquia, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) de Tunja y la Universidad de los Andes, entre otras, han estudiado algunos de estos materiales durante las últimas dos décadas (e.g. Vásquez, 2002; Méndez y Núñez, 2008, Peña, J.J., 2010, Sánchez, 2012, Ruíz et al., 2013; Ruíz et al., 2014, Chaparro y Gómez, 2000; León y Elsy, 2012, Alarcón, 2014).

En el año 2011, el grupo de investigación GeoSI de la Universidad de los Andes realizó un nuevo estudio sobre el material de MAPIA de la Mina Isaza. El proyecto, que fue financiado por el consorcio Consol S.A., tenía dentro de sus objetivos realizar una caracterización completa del material para determinar la variabilidad del material y sus potenciales usos en diferentes tipos de proyectos viales. La Figura 2a ilustra un sector actual de la mina, mientras que la Figura 2b presenta un detalle del asfalto que aflora en el lugar.

Este material, que ha sido parcialmente caracterizado en el pasado (e.g., Vásquez, L.C., 2002; Peña, 2010; Arbeláez et al., 2011), es básicamente una combinación de arenas (i.e. partículas de agregados de tamaños iguales o inferiores a 4.76 mm) y asfalto natural. De allí que este tipo de MAPIA se denomine como una arena-asfalto natural. La figura 3 ilustra la consistencia y forma del material extraído directamente de la mina.

El estudio realizado por Uniandes consistió en recolectar y caracterizar 5 muestras diferentes obtenidas de un acopio donde, de acuerdo con el propietario de la mina, se deposita la arena-asfalto natural de mejor calidad. La caracterización de las muestras consistió en cuantificar sus propiedades físicas, químicas, reológicas y mecánicas, así como en evaluar la variabilidad de las mismas. La mayoría de los ensayos se realizaron en el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes, pero algunos ensayos especializados, en especial ensayos químicos, mineralógicos y termodinámicos, se realizaron en el Laboratorio de Química de la Universidad de los Andes, en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en el Laboratorio de Caracterización Avanzada de Materiales

de Infraestructura (ACIM Lab) de la Universidad de Texas A&M (Texas, Estados Unidos) y en el Centro para la Investigación de Asfaltos Modificados (MARC) de la Universidad de Wisconsin (Madison, Estados Unidos).



Figura 2b. Detalle del asfalto natural presente en las paredes de la mina.



Figura 3. Material de MAPIA o arena-asfalto de la Mina Isaza en Norcasia, Caldas.

Además de realizar ensayos básicos sobre los dos componentes del material (i.e. el asfalto extraído de la MAPIA y la arena resultante), este estudio contempló

un plan experimental de caracterización avanzada que incluyó la ejecución de ensayos estandarizados no requeridos por las especificaciones actuales para los materiales de vías en el país, así como el desarrollo de nuevos ensayos (no-estandarizados) para determinar las propiedades mecánicas de la arena-asfalto y su desempeño esperado en campo. Con respecto a los ensayos avanzados estandarizados avanzados, el estudio consideró, entre otros, la determinación de la energía superficial libre del asfalto y de la arena, el análisis reológico (i.e. comportamiento al flujo del material), mediante el empleo de un reómetro dinámico al corte del asfalto recuperado en diferentes condiciones que simulan la vida útil del ligante y ensayos para la caracterización química del asfalto recuperado (ensayo de composición tipo SARA, ensayo de análisis térmico diferencial y espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), entre otros).

Con respecto al desarrollo de nuevos ensayos, como parte de la investigación se estableció una nueva metodología para, por primera vez, determinar las propiedades reológicas y mecánicas de la arena-asfalto, las cuales son determinantes en el comportamiento del material en campo. Así, empleando una metodología de compactación diseñada por el grupo de trabajo, se prepararon muestras del material que fueron precalentadas a diferentes temperaturas antes de su fabricación (i.e. temperaturas de compactación de 25 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C y 140 °C). Estas muestras fueron ensayadas en un equipo de alta precisión para determinar las propiedades mecánicas del material y su resistencia a los procesos de deterioro a los que éste se vería sometido en campo.

Dentro de los principales resultados de este estudio, se encuentran los siguientes:

- La determinación de las propiedades de los materiales mostraron que existe una alta variabilidad entre las 5 muestras analizadas. Por esta razón, se recomendó realizar procesos de mezclado del material antes de su empleo, con el fin de promover su homogeneización. Seguir esta recomendación es importante ya que el empleo del material sin homogeneizar para la construcción de diferentes tramos de la vía aumenta la incertidumbre de su desempeño a lo largo de la misma (i.e. unos tramos podrían tener presentar menor durabilidad que otros).

- Debido a su condición de material natural, se encontró que los asfaltos son muy susceptibles a cambios químicos durante su vida útil. Por esta razón, es fundamental cuantificar sus propiedades luego de ser sometidos a procesos que simulan su envejecimiento, con el fin de predecir su comportamiento durante la vida de servicio de la carretera.
- Cuando el material se pre-calienta a temperaturas superiores a los 90°C, el módulo del material (i.e. la capacidad del material para soportar carga), puede aumentar en más 150%. Dadas las altas temperaturas en las zonas donde comúnmente se emplea este material, un aumento en el módulo es una condición deseable del material ya que permitiría controlar la aparición de deformaciones permanentes en el pavimento. Por esta razón, podría ser conveniente implementar procesos de pre-calentamiento antes de extender el material en la vía.
- En general, los resultados permitieron confirmar que el material se puede emplear para la conformación de capas superficiales en vías con bajos volúmenes de tráfico y que éstos se podrían utilizar también en la fabricación de concreto asfáltico para vías con mayores exigencias de carga.

Es de destacar que la importancia de estos estudios radica en que sus resultados permiten identificar las condiciones más apropiadas para el uso de este material local en obras de pavimentación. Estos esfuerzos son particularmente importantes dado que a la fecha no existen regulaciones o especificaciones del INVIAS sobre este tipo de materiales naturales.

Adicionalmente, vale la pena anotar que los resultados de este estudio fueron divulgados en diferentes eventos nacionales y regionales y fueron publicados en una revista internacional indexada especializada en el tema de pavimentos (Caro et al., 2012).

Estabilización de materiales granulares tipo lateríticos para la construcción de vías

La ausencia de materiales granulares de buena calidad que cumplan con las especificaciones técnicas exigidas por el INVIAS es uno de los principales problemas que existen en la construcción de proyectos de infraestructura de vías secundarias y terciarias en el país. Esta situación es particularmente delicada en algunos departamentos localizados en la región de la Orinoquia colombiana, como es el caso del Departamento del Vichada. Una solución parcial a esta problemática ha consistido en el transporte de materiales de mejor calidad desde otras regiones, lo cual ha encareciendo de forma significativa los proyectos viales.

Las redes de infraestructura vial existentes en el Departamento del Vichada son, en su mayoría, vías terciarias de comunicación departamental e interdepartamental. De acuerdo con el Plan Vial Departamental del Vichada para el periodo 2011-2019, en la actualidad se transportan aproximadamente 500 toneladas de carga pesada por mes (i.e., materias primas, materiales de construcción, entre otros) por las vías del departamento. No obstante, el estado actual de la malla vial terciaria de este departamento es



Figura 4. Panorámica de una vía construida con material granular tipo laterítico en el Departamento del Vichada.

bastante deficiente debido a la inclemencia del clima y al tipo de vehículos que circulan por estas vías.

Dentro de este contexto, es de vital importancia estudiar y caracterizar los materiales existentes de la zona (i.e., materiales locales), con el propósito de determinar si éstos cumplen con las especificaciones técnicas necesarias para la construcción de vías y, en caso que no satisfagan dichas especificaciones, para evaluar la posibilidad de emplear técnicas de mejoramiento o estabilización sobre los mismos. Este tipo de actividades se enmarca dentro del cuarto aspecto listado en la sección anterior, el cual resalta la importancia de emplear materiales locales para la construcción de vías terciarias, como una medida para contar con soluciones técnicas costo-efectivas para la región.

Mediante el Programa Nacional de Regalías, la Gobernación del Vichada realizó un contrato con la Fundación CEIBA (Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados) en el año 2015, mediante el cual la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional evaluaron la posibilidad de emplear suelos y materiales granulares que se encuentran en abundancia en dicho Departamento para la construcción de las vías terciarias de la región.

El equipo de trabajo incluyó la participación de más de 28 estudiantes de maestría de las dos universidades, lo que permitió realizar un estudio de caracterización completo sobre muestras de material recolectado en tres zonas diferentes del Departamento (La Primavera, Puerto Carreño, El Viento). Además de determinar las propiedades de los materiales recogidos en campo,



Figura 5. material laterítico estabilizado al 2% (derecha) y 4% de cemento hidráulico (izquierda).

el estudio incluyó la evaluación de procesos de modificación de las propiedades de dichos materiales con el objetivo de hacerlos competentes para su empleo en vías. Específicamente, se consideraron los siguientes procesos de mejoramiento o estabilización: 1) estabilización de suelos arcillosos con el empleo de ceniza que resulta del cuesco de la palma africana, 2) estabilización con cemento de materiales granulares tipo laterítico, y 3) evaluación del empleo de material laterítico en la fabricación de concreto asfáltico para carreteras. Adicionalmente, el estudio también incluyó el desarrollo de metodologías para otorgar características impermeables a los materiales que se emplean en la conformación de terraplenes para las vías del Departamento, con el objetivo de protegerlos de las frecuentes inundaciones que se presentan en la región. A manera de ejemplo de las actividades realizadas como parte de este proyecto, a continuación se resume la metodología y resultados del segundo esfuerzo mencionado previamente, el cual consistió en evaluar el efecto de la estabilización de materiales lateríticos mediante la adición de cemento hidráulico.

Los materiales tipo 'laterita' o 'lateríticos' consisten en materiales erosionados con altos contenidos de óxidos secundarios de hierro y/o aluminio. El material, caracterizado por un color naranja-rojizo (Figura 4), se encuentra únicamente en zonas tropicales y subtropicales, por lo que la mayoría de sus depósitos han sido identificado en África, India, el Sureste Asiático y Centro y Sur América (Osinubi y Nwaiuw 2006). Al igual que en la región de la Orinoquía colombiana, varios países de dichas regiones han evaluado el empleo de este material para la conformación de carreteras. La información reportada en la bibliografía ha demostrado que el éxito de varias de estas experiencias ha sido parcial.

Debido a la abundancia del material en el Departamento del Vichada, y dado que éste no cumple con algunas de las especificaciones exigidas por el INVIAS para su empleo en carreteras, era relevante evaluar la posibilidad de mejorarlo mediante técnicas de estabilización. Por esta razón, una etapa importante del proyecto consistió en estudiar el impacto que tiene la modificación con cemento de este tipo de material granular. Luego de realizar un estudio completo de las propiedades del material laterítico empleando como base los ensayos para materiales granulares estipulados por el INVIAS, se procedió a la fabricación de especímenes del material estabilizado al 2, 4 y 6% de cemento hidráulico.

A continuación se realizó un estudio completo para cuantificar las propiedades mecánicas del material estabilizado. La Figura 5 muestra el resultado de mezclar el material en dos de los porcentajes considerados.

En términos generales, los resultados de este estudio permitieron corroborar que el material estabilizado con cemento mejora significativamente sus propiedades mecánicas y que éste puede ser empleado en la conformación de capas de base de estructuras de pavimento. Por ejemplo, los resultados del módulo del material estabilizado con la menor dosis de cemento (i.e. 2%) mostró ser más de 20 veces superior, en promedio, al módulo del material sin estabilizar. Cuando se empleó un porcentaje de cemento del 6%, el módulo del material fue hasta 72 veces superior con respecto al material suelto o sin estabilizar. La mejoría del material con la estabilización a partir de cemento también se reflejó en la resistencia del material ante condiciones de compresión (i.e. aumentos de la resistencia de 1.3, 3.0 y 8.0 veces con respecto al material suelto) y tensión (i.e. aumento de 232% cuando se incrementa la adición de cemento de 2 a 4% y aumento de 33% cuando la adición de cemento aumenta de 4 a 6%). Adicionalmente, se comprobó que el material posee una buena resistencia al efecto repetido de carga (i.e. efectos generados por la circulación del tráfico). Estos resultados proveen información confiable sobre las condiciones bajo las cuales el material estabilizado puede ser empleado en vías y sobre el desempeño esperado del material a lo largo de la vida útil de la carretera.

Es de destacar que como parte de los resultados generales de este proyecto se desarrollaron metodologías específicas para el mejoramiento de los suelos naturales presentes en las zonas evaluadas, así como metodologías de diseño de las estructuras de pavimento para vías terciarias y secundarias de la región. La implementación de dichas metodologías permitirá un uso más eficiente de los materiales existentes en la zona y un uso más eficiente de los pavimentos. Estos dos aspectos, a su vez, le permitirán al departamento el desarrollo de vías con mejores niveles de servicio y de mayor durabilidad.

Conclusiones y reflexiones finales

Las vías terciarias son vitales para el desarrollo regional de un país. No obstante, el éxito de estos proyectos viales exige la ejecución de estudios específicos que

permitan seleccionar y aplicar las tecnologías más apropiadas para cada tipo de proyecto. En este sentido, y debido a la alta diversidad tanto en los suelos como en las condiciones climáticas que existen en las diferentes regiones del país, se debe reconocer que no existe una única técnica que pueda ser aplicada a nivel nacional.

De hecho, para que estos proyectos sean costo-efectivos, deben procurar hacer uso de materiales y tecnologías locales. Esto incluye, por ejemplo, el empleo de los diferentes yacimientos de asfaltos naturales o material tipo MAPIA que existen en el país, así como la estabilización de materiales locales (tanto de suelos como materiales granulares a emplear en otras capas del pavimento) en regiones donde éstos no satisfacen las especificaciones requeridas por el INVIAS para su uso en carreteras.

El papel de la academia como parte de estos procesos es fundamental, puesto que la ejecución de proyectos de investigación ofrece la posibilidad de contar con información confiable que garantice el uso responsable de materiales locales no convencionales, así como para identificar, adaptar y aplicar técnicas que se ajusten a las necesidades propias de cada proyecto.

REFERENCIAS

- Alarcón, L.F. (2014) "Uso de la Asfaltita para Pavimentos en Vías Terciarias en Boyacá y Cundinamarca en la República de Colombia". Monografía de Grado (Especialización en Ingeniería de Pavimentos), Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá (Colombia).
- Arbeláez, H., Henao, A., Zocattelli, L.A. (2011) "MAPIA, una Alternativa Competitiva y Ecológica en Carpetas Asfálticas (Arista Ingeniería)". Recuperado en Marzo de 2017 de: <https://es.slideshare.net/alex842003/presentacmapia-santa-marta>
- Calderón, B. (2009) "Consultoría para la evaluación, caracterización de obra y presupuesto de los trabajos para el mejoramiento y mantenimiento en "MAPIA" (Material Pétreo Impregnado de Asfalto) de la vía "La Esperanza – El Arbolito – Tabacal", municipio de

- Villamaría, incluido en el programa de pavimentación de la gobernación de Caldas". Gobernación de Caldas. Secretaría de Infraestructura.
- Caro, S., Sanchez, D., and Caicedo, B. (2015) "Methodology to Characterise Non-Standard Asphalt Materials Using DMA Testing: Application to Natural Asphalt Mixtures". *International Journal of Pavement Engineering*. Vol. 16(1), pp. 1-10.
- Chaparro, H., Gómez, S. (2000) "Utilización de una Mezcla Asfalto-Asfaltita" Tesis de Grado - Universidad Industrial de Santander: Bucaramanga (Colombia).
- León, Y., Elsy, A. (2012). "Mejoramiento del Comportamiento Mecánico del Asfalto Natural para Construcción y Mejoramiento de las Vías de San Vicente del Caguán-Caquetá". Tesis de Grado – Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá (Colombia)
- Mehmet, Y, Baha, V.K, and Necati, K. (2011). "Effects of using Asphaltite as Filler on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt". *Construction and Building Materials*. Vol.25, pp. 4279 – 4286.
- Méndez, A., y Núñez, J. (2008.) "Mezclas de Asfaltos Naturales con Asfaltos de Refinería para Producir Asfaltos Duros en la Elaboración de Mezclas con un Módulo Alto." Tesis de Grado- Universidad Industrial de Santander: Bucaramanga (Colombia)
- Themeli, A., Chailleux, E., Farcas, F., Chazallon, C., Migault, B., and Buisson, N. (2017) "Molecular Structure Evolution of Asphaltite-Modified Bitumens during Ageing; Comparisons with equivalent Petroleum Bitumens". *International Journal of Pavement Research and Technology*. Vol. 10(1), pp. 175-83.
- Themeli, A., Chailleux, E., Farcas, F., Chazallon, C., Migault, B., and Buisson, N. (2016) "Modeling the Linear Viscoelastic Behavior of Asphaltite-Modified Bitumens". *Rheologica Acta*. Vol. 55(1), pp. 969-981.
- Peña, J. J. (2010) "Los Morteros Asfálticos Naturales, Una Alternativa Ecológica para el Mejoramiento de la Red Vial: de lo Empírico a lo Técnico". *Memorias de las 4tas Jornadas Técnicas del Asfalto*. Cartagena (Colombia).
- Osinubi, K. J., & Nwaiuw, C. M. O. (2006) "Design of Compacted Lateritic Soil Liners and Covers". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 132, pp. 203-213.
- Samsonov, V.V. (2008) "Production of Asphaltite-Containing Road Bitumens" *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. Vol. 44(6), pp.393-397.
- Ruíz, J.C., Moreno, L.A., Reyes, O.J., (2014) "Estudio del comportamiento de asfaltos naturales en mezclas asfálticas fabricadas con asfalto AC-20 y granulometría MD-12". *Memorias del Congreso Internacional de Ingeniería Civil*; Tunja (Colombia).
- Ruíz, J.C, Reyes, O.J., y Moreno, L.A. (2013)" Estudio del Comportamiento de Asfaltitas Provenientes de Caquetá en Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa." *Memorias del XIX Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos*; Bogotá (Colombia).
- Sánchez, D. (2012) "Caracterización de un Material Arena-Asfalto Natural Colombiano". Tesis de Grado (Maestría en Ingeniería Civil) – Universidad de los Andes, Bogotá (Colombia).
- Vásquez, L.C. (2002) "Evaluación en Laboratorio del Comportamiento de un Asfalto Natural con la Adición de Gravas Trituradas". *Memorias de las Terceras Jornadas Internacionales del Asfalto*; Popayán (Colombia).
- Widyatmoko, I., and Elliott, R. (2008) "Characteristics of Elastomeric and Plastomeric Binders in Contact with Natural Asphalts". *Construction and Building Materials*. Vol. 22(3), pp. 239-249.