

Construcción sustentable del pavimento rígido Caso: Troncal Central del Norte

Nelson Gómez Beltrán

Ingeniero Civil, Universidad Distrital Bogotá, Colombia. Especialista en Geotecnia vial y pavimentos. Ingeniero Residente de Interventoría en la Troncal Central del Norte. nelsongomezbeltran@hotmail.com

Mario Calixto González

Ingeniero Civil, Universidad Antonio Nariño Bogotá, extensión Cúcuta. Especialista en Geotecnia vial y pavimentos. Ingeniero Residente de Interventoría en la Troncal Central del Norte.

mcingeneria@hotmail.com

Víctor Hugo Bravo Martínez

Ingeniero Civil, Universidad del Cauca Popayán, Colombia. Especialista en Geotecnia vial y pavimentos. Ingeniero Consultor. vihubrama@yahoo.es

Néstor Rafael Perico Granados

Ingeniero civil de la universidad Gran Colombia. Maestría en Educación, Universidad Santo Tomás Doctorando en Educación, Rudecolombia, UPTC. Docente investigador del grupo ACI, Universidad Santo Tomás. nperico@ustatunja.edu.co

Recibido: 31 de octubre de 2013 Aprobado: 10 de diciembre de 2013

Artículo de investigación, elaborado en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás Tunja. Grupo ACBI

Resumen

El presente artículo se refiere al proyecto de investigación aplicada, sobre la elaboración de los estudios, diseños y construcción del pavimento rígido en el tramo Pr 86+000 al Pr 88+000 de la Troncal Central del Norte. Así mismo, incluye unas reflexiones sobre la relación de estos pavimentos con el medio ambiente. Se intentó con la política del gobierno anterior generar trabajo con mayor cantidad de mano de obra no calificada y utilizar más productos para este tipo de pavimento como el cemento Portland tipo 1 y el acero de refuerzo. Para este proyecto se mejoró de manera fundamental el diseño geométrico, con base en el manual de Invias-2008, atendiendo las características de páramo del sector y en el proceso constructivo se amplió la calzada de cinco a siete metros con treinta centímetros. Se emplearon 3.380 metros cúbicos de concreto hidráulico con un módulo de rotura de 4.0 Mpa., y 6.400 metros cúbicos de material granular. Sin embargo, a pesar de las bondades presentadas se hacen reflexiones sobre los problemas de contaminación ambiental, los costos externalizados y otros efectos sobre la salud de las personas.

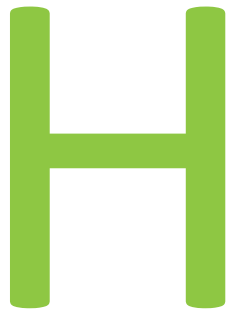
Palabras clave: Central del Norte, Mano de obra intensiva, Pavimento rígido, Capacidad de carga.

Abstract

This article refers to applied research project on the preparation of studies, designs and construction of rigid pavement on the section Pr 86 Pr 88 +000 to +000 of the North Central Core. It also includes some reflections on the relationship of these pavements with the environment. We attempted to previous government policy to create jobs as much unskilled labor and use more products for this type of pavement as Type 1 Portland cement and reinforcing steel. This will fundamentally improved geometric design, based on the manual Invias 2008, meeting the wilderness characteristics of the sector and in the construction process widened the road for five to seven meters and thirty centimeters. 3380 meters were used hydraulic cubic concrete with a modulus of rupture of 4.0 MPa., And 6,400 cubic meters of granular material. However, despite the benefits presented are reflections on the problems of environmental pollution, the externalized costs and other effects on the health of people.

Keywords: North Central, Labour intensive, rigid pavement, Capacity

I. INTRODUCCIÓN



Ha sido muy importante la vía de Bogotá, Tunja, Belén, Soatá, Málaga, Chitagá, Pamplona y Cúcuta desde la colonia y luego en la campaña libertadora, por donde hizo muchos viajes a lomo de mula

Simón Bolívar. Siempre ha sido vital para el comercio regional, nacional e internacional. El Presidente Tomás Cipriano de Mosquera construyó la carretera desde Bogotá hasta Tunja y luego Rafael Reyes la llevó hasta la ciudad de Santa Rosa de Viterbo. Hoy, en la segunda década del siglo XXI la vía no cumple las condiciones para las cuales se está usando, ya que el ancho de calzada es de 5 metros y la estructura del pavimento es una base de 20 centímetros, con una rodadura en doble riego y por ella se está transportando la mayor parte de carga hacia Venezuela.

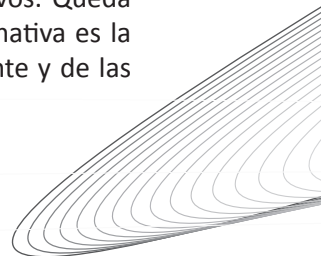
El Instituto Nacional de Vías, por concurso de licitación abierta, le entregó al Consorcio San José de Miranda, la Troncal Central del Norte desde el sitio La Palmera en el Municipio de Capitanejo (Santander) hasta el sitio denominado Presidente, del Municipio de Chitagá (Norte de Santander), para que se adelantaran los estudios, diseños y construcción del tramo en mención. Se presentó como solución pavimentar la vía en un soporte de base estabilizada, en los sectores de altas temperaturas y una base abierta sin estabilizar, en los sectores de páramo. En este caso se decidió colocar un pavimento rígido. La mayoría de los diseñadores proponen la utilización de pavimentos en concreto asfáltico, por diferentes razones, entre ellas la del menor costo.

En este tramo de vía se utilizó la propuesta de pavimento rígido por la generación de empleo y por la alta resistencia al tráfico. Este pavimento resiste los esfuerzos normales y tangenciales, transmitidos por los neumáticos. Una característica es que

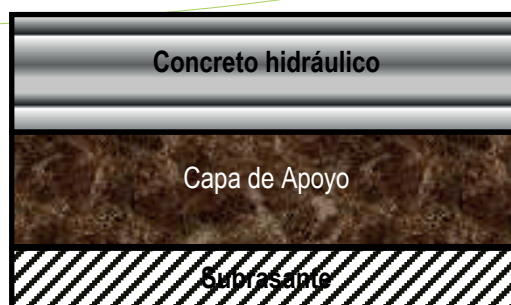
tiene una gran resistencia a los esfuerzos de flexión, a los de tracción, a la fatiga y tiene un elevado módulo de elasticidad. Con el espesor adecuado sólo transmite esfuerzos débiles al suelo de fundación y cada nivel estructural será apto para absorber los esfuerzos a los que está sometido. El método utilizado fue cuantitativo, resultado de la recolección de datos de campo, de la utilización de elaboración de memorias de cálculo con muchas cifras y por el manejo estadístico producido.

Estos procedimientos se llevaron a cabo con base en los criterios técnicos, utilizando las normas y especificaciones constructivas de la entidad contratante: Invías 2007 y Ministerio de Transporte 2004. Se observa que este tipo de pavimento rígido es una solución de larga durabilidad, que obedece al tiempo de servicio que se espera, comparado con pavimentos de concreto asfáltico. En un principio se intentó trabajar con el pavimento larga vida, construido con vigas longitudinales, pero por diferentes circunstancias, finalmente se decidió hacerlo con pavimento rígido normal. Sin embargo, esta estructura presenta el inconveniente del bajo rendimiento de instalación y los altos costos finales. Sobre ella no se pueden transitar durante el tiempo de curado y sólo se puede hacer hasta cuando cumplan la resistencia de diseño, de manera natural o utilizando acelerantes.

De otro lado, con una disminución de cantidades de materiales y una mayor duración del pavimento se están haciendo reflexiones en este siglo sobre si cumple como una construcción sustentable, especialmente en las cantidades de materias primas, para la producción del cemento y del hierro. No se pagan los costos externalizados por la alta contaminación del aire, de la tierra, del agua, por utilización de mano de obra de menores, en casos de explotación del carbón y por la intoxicación paulatina de las personas que manipulan los procesos productivos. Queda pendiente por resolver qué alternativa es la mejor para el ser humano presente y de las siguientes generaciones.



Entre los objetivos de la investigación estaba el de elaborar los estudios, diseños y seguimiento a la construcción del pavimento rígido, que se cumplieron a cabalidad. Sin embargo, se adicionó el de revisar, a partir de reflexiones con los resultados la parte ambiental, para intentar hacer visible la contaminación que el “progreso genera” y que normalmente perjudica a los más vulnerables que son las personas campesinas y estratos inferiores de la población.



GRÁFICA 1. ESQUEMA TÍPICO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO.
Fuente: Autores.

II. ESTUDIOS Y DISEÑOS

Se pretende destacar lo relevante durante el proceso correspondiente a la etapa de estudios y diseños. Se determinó el lugar de investigación, se precisó el método, se caracterizó la población servida, se hizo la recolección de información, se hicieron los trabajos de campo, se analizó y procesó la información y se elaboraron los diseños finales del tramo. Finalmente se hizo seguimiento a la construcción.

A. Pavimentos rígidos

Estos pavimentos cumplen con resistir los esfuerzos normales y tangenciales transmitidos por los neumáticos. Así mismo, su constitución estructural, bien construida, permite una gran resistencia a la flexotracción, a la fatiga y tiene elevado módulo de elasticidad. Los pavimentos deben tener el espesor suficiente que permita introducir, en los casos más desfavorables, solo depresiones débiles a nivel del suelo del terreno de fundación. Cada nivel estructural debe ser lo suficientemente apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido. Así mismo, debe cumplir con satisfacer también las características principales del Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH), como el estar previstas para un período de servicio largo y prever un bajo mantenimiento (Mora, 2006; Montejo, 2010).

B. Capa de apoyo del pavimento rígido

Es la parte estructural de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica o a una losa de concreto hidráulico. Así mismo, soporta las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediatamente inferior y previene la migración de finos hacia las capas superiores. Por su gran rigidez las losas de hormigón reparten mejor las cargas del tráfico, transmitiendo a la base de apoyo y al terreno subyacente, presiones inferiores a las de cualquier otro tipo de pavimento. Por lo tanto, tiene mucha menos importancia la base que en los pavimentos flexibles. Bastará para ello con una capa homogénea bien nivelada y protegida contra posibles cambios por humedad pero sin gran resistencia ni espesor. En muchos casos, para tramos de tráfico no excesivamente pesado, bastará con una explanación mejorada, o sea el propio suelo bien estabilizado mecánicamente o con adición de cemento o betún, si no reúne condiciones de plasticidad o granulometría para conseguir el grado necesario de compactación. Todo ello se traduce en economía de la obra al reducir la importancia de la base. En el caso de que ésta se cuide por intensa compactación y adición de ligantes, el

aumento de capacidad resistente de esta capa permitirá reducir el espesor de las losas hasta en 5 centímetros. Así se genera ahorro al reducir el volumen de estos hormigones caros, de muy esmerada fabricación (Sánchez, 1999; Montejo, 2010).

C. Evolución de los pavimentos rígidos

En los países desarrollados, como expone Montejo, (2010) los métodos de ejecución de pavimentos rígidos, con las grandes instalaciones de fabricación y los equipos de puesta en obra, manejados por personal especializado, juntamente con exigentes normas de inspección y control, han permitido obtener calzadas de hormigón que pueden competir con las flexibles de mejor calidad. Todo ello ha permitido una notable evolución en lo que se refiere a las juntas, explanaciones, vibración del hormigón, empleo de aditivos que mejoran su calidad, regularidad y rugosidad de la superficie de rodadura.

El fracaso de los pavimentos rígidos del que hubo muestras con bastante profusión, no se debe a la estructura en sí, sino a la ejecución defectuosa y principalmente a las malas condiciones de la explanación y de resistencia insuficiente y no uniforme y al gran desarrollo del tráfico que desbordó toda previsión.

D. Acciones ejecutadas

Los estudios y diseños se desarrollaron en la carretera "Troncal Central del Norte" localizada en el Nororiente del país, correspondiente al tramo entre PR86+000 al PR88+000, ubicado en la Región Andina sobre la Cordillera Oriental, en el Departamento de Santander, municipio de Cerrito, entre los meses de noviembre de 2012 a marzo de 2013. El método utilizado fue el cuantitativo, resultado de la recolección de datos de campo. Además, se tuvo en cuenta el método cualitativo de la información tomada de experiencias vividas por usuarios de la vía y habitantes de la zona de influencia directa del proyecto (Cerdea, 1998).

E. Caracterización de la población servida

1) Zonas urbanas de influencia

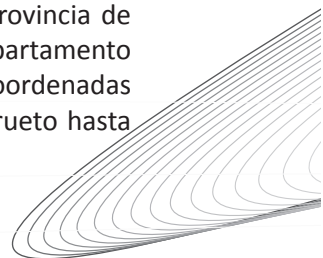
Se relacionan los principales municipios que se están sirviendo de la construcción de la carretera y se hacen notar los rasgos de su naturaleza, que hacen ver la importancia de la ejecución en pavimento rígido, en este sitio.

a) Municipios de Capitanejo, Málaga, Concepción, Cerrito y Chitagá

La cabecera municipal del primer municipio se localiza a los 6° 32' de latitud Norte y a los 72° 42' de longitud al Oeste del meridiano de Greenwich. La precipitación promedio es de 950 milímetros anuales. El municipio posee una topografía desde plano y semi plano hasta muy escarpado. Dentro de los principales accidentes geográficos cabe citar el Morro de Sebaruta, La Chorrera y La Mesa, sitios donde nacen las principales micro-cuencas del municipio. Capitanejo, se encuentra localizado en el extremo sur de la provincia de García Rovira y limita al Norte con los municipios de San José de Miranda y Enciso, al Oriente con San Miguel y Macaravita, al Sur con el río Nevado y al Occidente con el departamento de Boyacá, con los municipios de Covarachía y Tipacoque, después del río Chicamocha.

Málaga se localiza sobre la cordillera Oriental y se sitúa en el extremo meridional (borde oriental) del Macizo de Santander, en la parte Sur del páramo del Almorzadero. Málaga comparte linderos mediante accidentes geográficos (ríos, quebradas, filos, divisoria de aguas) o límites prediales con cuatro municipios de la Provincia de García Rovira: Por el Oriente con el Enciso, por el Occidente con Molagavita y San Andrés, por el Norte con Concepción y por el Sur con San José de Miranda.

Concepción está ubicado en la Provincia de García Rovira, al Oriente del departamento de Santander. Se localiza en las coordenadas 6°41' 49" en la quebrada de Barrueto hasta



los 6° 54' 27" de latitud Norte en la cuchilla Las Preciosas, y desde los 72° 29' 55" en el cerro Caracol hasta los 72° 45' 42" de longitud Oeste, en el cerro del Duende. Limita con los municipios de El Cerrito, Carcasí, Málaga, Enciso y San Andrés.

Cerrito se localiza en el sector Nororiental del Departamento de Santander, en límites con el Departamento de Norte de Santander. Limita al Norte con este Departamento, al Oriente con parte del Departamento de Arauca, al Suroriente con el Municipio de Concepción y al Occidente con los municipios de San Andrés y Guaca. Ofrece una gran variedad de costumbres y está rodeado de una gran riqueza tanto natural como cultural.

Chitagá se encuentra situado en la cordillera Oriental sobre gigantescas arrugas. Su terreno es quebrado y la cabecera municipal se encuentra rodeada de cumbres majestuosas. Si se mira hacia el Sur y en época de verano cuando está despejado, en la distancia se levanta la loma desafiante del Almorzadero a una distancia de más o menos 42 kilómetros. Éste a menudo permanece envuelto en niebla, por cuya pendiente como hilos de plata resbala el agua dándole una vistosidad especial. Luego se tienen los Páramos del Buitre, El Morro y Las Lajas hasta encontrar la cordillera de Hoya Grande, la cual atraviesa el Municipio de Suroeste a Noroeste. Chitagá limita al Norte con los municipios de Cámeta, Labateca y Pamplona, por el Sur con el Departamento de Santander (municipios de Concepción y Cerrito), por el Oriente con el Municipio de Toledo y el Departamento de Boyacá y por el Occidente con el Municipio de Silos.

F. Herramientas y su utilización

Entre las herramientas que se utilizaron están los equipos de topografía como dos GPS, una estación total, un nivel de precisión y herramientas menores. En los laboratorios se utilizó el cono dinámico, moldes de CBR, tamices, moldes para proctor, máquina universal y cazuelas de Casagrande. Los transportes se llevaron a cabo en una

camioneta y en la oficina se utilizaron tres computadores, dos impresoras, un escáner y un ploter.

El trabajo de campo consistió en la recolección de datos en las áreas de topografía, geotecnia, tránsito e hidráulica a fin de establecer los parámetros de entrada para la elaboración de los diseños. Las actividades en cada una de las áreas estuvieron asesoradas por especialistas y personal calificado en la materia, acordes a metodologías que permitieron avanzar organizadamente en la recolección de información. Se debe destacar el trabajo de campo realizado minuciosamente, que permitió contar con la información necesaria para el análisis de cada una de las áreas. El procesamiento de la información consistió en la sistematización y análisis de la recolectada en cada área, tarea que se realizó paralelamente a la revisión de la bibliografía disponible. A esta fase corresponden la recopilación y evaluación de la información básica disponible y el análisis de éstas para plantear los diseños favorables, desde el punto de vista costo beneficio.

En esta fase final se elaboraron los planos de diseño e informes de cada una de las áreas en geotecnia, pavimentos, geometría de la vía e hidráulica. Así se obtuvieron los diseños de cortes de taludes, resistencia de la subrasante, espesores de la estructura de pavimento para el período de diseño, geometría de la vía y obras de drenaje. En esta fase del proyecto de mejoramiento del tramo de vía, se obtuvo todo lo correspondiente a la parte de los estudios y diseños del tramo de vía de la Troncal Central del Norte.

Entonces, se hizo el recorrido de inspección y auscultación mediante el método empleado por el Instituto Nacional de Vías del tramo de vía existente y sobre el cual se hizo el mejoramiento. Se llevó la comisión de topografía con sus equipos, de buena tecnología y precisión, con el fin de hacer el levantamiento altimétrico y planímetro del corredor vial existente. Los puntos están amarrados a coordenadas geográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

(IGAC). Con esto se puede mejorar el diseño geométrico, haciendo aplicación del Manual del Instituto de Vías, para este tramo en estudio.

Luego, se envió el equipo de laboratorio de suelos y los laboratoristas para tomar las muestras de suelo, según las especificaciones y normas del contratante y así realizar la caracterización del suelo. El propósito fue el de determinar los parámetros de diseño. Se hicieron los estudios de tránsito para determinar el parámetro de diseño en el número de ejes de 8.2 toneladas, en el carril de diseño y en el período de diseño, con una proyección de 20 años. Para cumplir el objetivo principal de elaborar el pavimento rígido, se determinó el método de diseño y se elaboraron las memorias de cálculo y planos correspondientes. Como etapa final de esta fase se hizo la entrega del informe final, con sus registros fotográficos y planos topográficos.

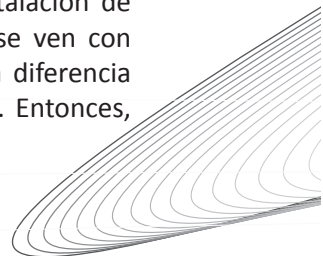
G. Construcción y análisis

Para su construcción se emplearon 3.380 metros cúbicos de concreto hidráulico con un módulo de rotura de 4.0 Mpa. En caso de ser concreto asfáltico se habrían instalado 2.000 metros cúbicos lo que equivale a una diferencia de 1.380 metros cúbicos de más en pavimento rígido. Sin embargo, se justifican al tener las características de un pavimento de larga vida porque tiene una gran favorabilidad al clima del sector (alta pluviosidad).

Para la construcción de los 3.380 metros cúbicos de concreto hidráulico se emplearon cuatro cuadrillas de 12 personas cada una, para un total de 48 personas. En cambio si se hubiera hecho en concreto asfáltico para la instalación de 2.000 metros cúbicos, se hubiera empleado solamente una cuadrilla con 8 personas. El resultado final es que con la instalación de concreto hidráulico hay una mayor generación de empleo, de mano de obra no calificada, de hasta 6 veces más que en el concreto asfáltico.

En la construcción del concreto hidráulico se colocó una capa de apoyo con material granular de especificación para sub-base granular tipo 1 norma Invías (SBG-1), con un espesor de 0.40 metros, para un total de material instalado de 6.400 metros cúbicos. Si se hubiera construido una estructura para soportar un concreto flexible se habrían instalado 6.723 metros cúbicos de SBG1 y 4.316 metros cúbicos de base granular tipo 1 norma Invías (BG1). Adicionalmente, se debería desarrollar un mejoramiento de subrasante de 6.400 metros cúbicos de material granular. Se observa que para concreto hidráulico se utilizaron 6.400 metros cúbicos de material granular; mientras que para la construcción de la estructura del concreto asfáltico se utilizarían 17.349 metros cúbicos de material granular. Esta alternativa es bastante desfavorable debido a la gran cantidad de material que se tendría que extraer, causando daños ambientales mayores, ya que, esta es una zona de más de 3.000 metros de altura (zona de páramo). Entonces, se tomó una buena determinación al desarrollar un diseño de un pavimento en concreto hidráulico (pavimento rígido), por sus condiciones climáticas y ambientales de favorabilidad.

Durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2012 se tomó como referencia las losas 27, 28, 60, 85 y 106, las cuales tuvieron problemas constructivos. Entre estos están los de mal vibrado, cortes de juntas a destiempo, tiempos cortos de curado, poca o nada protección solar y desencofrados con bajo tiempo de curado del concreto hidráulico. Estas losas presentan fisuras y mala textura. Los errores fueron cometidos por la cuadrilla 3, la cual presentó bastantes cambios de personal por mal comportamiento. De otro lado, las losas no mencionadas y construidas por las cuadrillas 1, 2, 4 y algunas por la cuadrilla 3, conservaron un lineamiento constructivo de acuerdo a las normas de instalación de concreto hidráulico. Estas losas se ven con buenos acabados y sin grietas, a diferencia de las mencionadas inicialmente. Entonces,



se concluye que en el seguimiento que se hizo a los procesos constructivos de las losas por cada una de las cuadrillas se encontró que una de las posibilidades del fracaso de los pavimentos rígidos del que hubo muestras con bastante profusión no se debe a la estructura en sí, sino a la ejecución defectuosa o errores cometidos por emplear tiempos bajos, con el fin de aumentar los rendimientos.

Del seguimiento a las losas de concreto hidráulico y verificando que la capa de apoyo presentó resultados de laboratorio, con respecto al proctor modificado, superiores al 95%, acompañados de una buena calidad del material granular, durante el mismo tiempo y con base en diferentes inspecciones oculares se dedujo que una buena capa de apoyo permite disminuir de forma importante el fenómeno de Alabeo, que da origen a desniveles entre losas contiguas. Estos fenómenos se pueden agravar con el paso del tráfico hasta producir la ruina del pavimento en las proximidades de las juntas (Montejo, 2010; Higuera, 2011).

Con el fin de comprobar la seguridad al tránsito vehicular se encontró que se disminuyeron los accidentes en un 80%. Este resultado tuvo como origen la forma de acabado de la textura de las losas de concreto hidráulico, o sea que funciona bien para la seguridad de los usuarios ya que la superficie antideslizante, tanto en estado seco como en estado húmedo, genera mayor estabilidad. La rugosidad del concreto con base en su proceso constructivo de rayado final, con base en pequeños canales, dan buen drenaje transversal y mayor adherencia del vehículo al pavimento.

Estos concretos, también denominados “larga vida”, pueden llegar a tener un tiempo de servicio estimado en treinta años y con tendencia a aumentar con el perfeccionamiento en los estudios y los diseños. Se puede incrementar su gran resistencia, con buena calidad de materiales y buena capa de apoyo y con un buen proceso constructivo (Montejo, 2010)

Su color claro asegura una buena visibilidad nocturna y con mayor razón diurna, con ausencia de peligrosos reflejos durante la noche. Es muy relevante con respecto al pavimento asfáltico, ya que la visibilidad juega un papel decisivo en la seguridad de la carretera y para la visibilidad es muy importante el color del pavimento. El color claro favorece al contraste de los objetos fijos y móviles que pueden interferir en la calzada. Cuanto más oscuro es el pavimento mayor es el mimetismo de los objetos situados en el campo visual del conductor.

III. RELACIÓN CON EL AMBIENTE

A. Desarrollo sustentable

Son importantes las bondades que se observan en los estudios, diseños, construcción y mantenimiento de los pavimentos rígidos, como su vida útil, que comparada con la del flexible y del articulado, normalmente es un poco más amplia. Sin embargo, es fundamental revisar, así sea de manera general unos elementos importantes de la relación de éstos con el ambiente y con el desarrollo sustentable. El propósito es establecer la posibilidad de encontrar un punto medio entre el uso de elementos para el desarrollo de las personas, que contaminan y su utilización proporcionada. Al respecto, está por desarrollar o por lo menos no se conoce la investigación que estudie el número de toneladas necesarias de carbón, de piedra caliza, de puzolana o arcilla, de yeso y en todos los casos el número de ellas, de estériles que se generan, para producir una tonelada de cemento. Tan solo para producir una tonelada de carbón, que solamente es un insumo para la producción del cemento, se necesitan extraer de cuatro a cinco toneladas de estériles, en promedio. La contaminación es realmente muy elevada la que se genera por estas causas (Ávila y Soto, 2012).

Así mismo, es muy alta la cantidad de energía que se requiere en todo el proceso, desde la

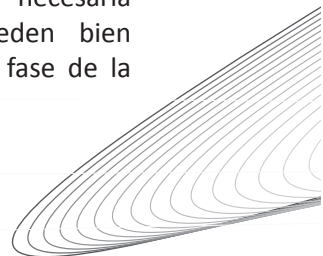
explotación de los materiales, el transporte y la mezcla de ellos. Tan sólo para procesar un gramo de clinker es superior a 1700 julios, lo cual genera una gran cantidad de dióxido de carbono, que contribuye en mucho al efecto invernadero y al cambio climático. De la misma manera, no son fácilmente cuantificables los efectos dañinos que se producen por el calor que se desprende y los gases que se derivan del curado del concreto. Finalmente, son muchos los tóxicos que se presentan por la manipulación, durante el proceso de explotación de materias primas e insumos al producir pavimentos rígidos, de los cuales se resaltan el mercurio, uranio, arsénico, dióxido de carbono y metano. Del primero se presentan en abundancia en la explotación de las materias primas y de los insumos, especialmente del carbón, para la transformación de los minerales. El mercurio se puede ir acumulando y produce principalmente problemas neurológicos y hormonales en el cuerpo humano (Leonard, 2011, p. 82).

Está en boga la tesis, promovida por la acción neoliberal, que sostiene que el proceso tecnológico y la explotación de minerales, aunque contamine es un mal necesario porque genera desarrollo, crecimiento económico y aumento del empleo. No precisan que produzca un mejoramiento en el desarrollo humano. Dentro de las acciones productivas, están las extractivas, que se puede resumir como la minería de todo tipo. Sin embargo, la minería y especialmente la del carbón y de los materiales que se requieren como materia prima para el cemento, no mejoran la calidad de vida de quienes se encargan de su explotación, de los mineros y de quienes derivan su sustento de ella. Existen investigaciones que de manera comprobada plantean en diferentes sitios del planeta que incluso en sus alrededores las personas en general viven en circunstancias muy deplorables, comparables con las menos desarrolladas del universo (Leonard, 2011, p. 83).

Casi siempre los materiales, producto de la rotura de las losas fracturadas se utilizan con más facilidad en terrenos de baja capacidad portante como afirmado. Cuando estos procesos no son posibles, entonces se dejan a la vera del camino generando daños ambientales de diversa índole (Gómez y Vázquez, 2001; Leonard, 2011, pp. 156-157). De otro lado, cuando se fractura una losa de concreto la reparación debe hacerse en la totalidad de ella, adicionando y compactando los materiales que se hayan lavado o perdido. No es fácil reparar sólo el área fracturada. Se conocen proyectos de investigación que se han dedicado a obtener concretos producto del reciclado y presentan buenos resultados. Sin embargo, el proceso de cribación resulta costoso y a veces los constructores prefieren por menores costos utilizar los materiales de la región (García, 2009).

Adicionalmente es muy importante estudiar la incidencia de los costos externalizados en el proceso productivo. Se requiere profundidad en la investigación para establecer la relación con la explotación de la piedra caliza, el carbón, el yeso y la arcilla o puzolana, en el transporte y procesamiento, en donde no se reflejan en los precios del cemento los costos que no se involucran allí como los salarios bajos, sin prestaciones sociales legales, sin pagos de horas extras ni dominicales. En ocasiones no se afilia a los trabajadores a una empresa prestadora de salud, para evitar esos costos. No se relacionan los altos costos de la intoxicación progresiva, la alta contaminación que se genera (disminución del aire limpio, disminución de fuentes de agua por la construcción de túneles y la minería en general). Merece especial atención la presencia diaria de niños trabajando, especialmente en los socavones del carbón, con los riesgos que conlleva (Parra, 2001; Leonard, 2011).

Normalmente en los estudios y en los diseños existe la rigurosidad necesaria para que los pavimentos queden bien construidos. Sin embargo, en la fase de la



construcción se pueden presentar desfases como disminución en las cantidades de materiales que se requieren para cumplir con los diseños o a veces no se cumple con la calidad, con o sin el consentimiento de la interventoría. Entonces, la duración del pavimento disminuye y encaja dentro de la obsolescencia programada porque al tener menos vida útil podría existir más trabajo para los constructores. En este caso es posible que los encargados de la supervisión del contrato no estén cumpliendo con sus responsabilidades. El ritual del consumo hace que se utilicen cada vez más elementos, que el mercado se encargue de promover su utilización, que no permiten ver la cantidad de residuos que se generan para producir cualquier objeto. Esto mismo es predicable para la producción del cemento con el que se construye el pavimento rígido (Parra, 2001; Leonard, 2011).

Entonces se deberían pagar los costos externalizados, para recuperar el ambiente que sea autosustentable. Aunque suban un poco los costos, deben llevar involucrado el pago de lo que vale recuperar el ambiente que se está dañando por esas acciones. Debería tener en ellos el pago adecuado de los salarios para preservar la salud de los trabajadores. Debería tener prevista la disminución de los tóxicos que se generan para disminuir la afectación a las personas que están involucradas y debería equilibrar la explotación con un desarrollo realmente sostenible (Gómez y Vázquez, 2001; Leonard, 2011).

IV. CONCLUSIONES

La diferencia de 1.380 metros cúbicos de más en pavimento rígido, frente al asfáltico, se puede justificar porque es mejor su comportamiento en el clima de páramo, con alta pluviosidad y genera casi seis veces más empleo de mano de obra no calificada.

Se ahorran cerca de once mil metros cúbicos de material seleccionado para mejoramiento

y subbase granular, frente a la estructura del pavimento flexible, que es muy importante, dado que es el sitio una zona de páramo. De estos pisos térmicos, legalmente no es fácil explotar esos materiales y su transporte de las canteras posibles sería muy costoso.

La alta rotación de las personas, la mala ejecución en la construcción del pavimento y la aceleración en los tiempos de fabricación de la estructura son unas de las principales causas de la mala calidad en la estructura de las losas.

Se encontró que las densidades fueron superiores al 95% del proctor modificado, en la subbase, lo que permite ver un buen proceso de compactación. Con la buena estructura y acabados, con la superficie antideslizante, del concreto permitió en los primeros sondeos verificar una disminución de los accidentes en un 80%.

El pavimento rígido con el perfeccionamiento en estudios, diseños y ejecución, con buena calidad de materiales para el concreto y buena capa de apoyo, su tiempo de servicio se estima en más de veinte años y con tendencia a aumentar. Igualmente el color claro asegura una buena visibilidad nocturna y diurna, a diferencia del pavimento asfáltico, que refracta la luz y disminuye la capacidad óptica. Éste a su vez permite mayor mimetismo de los objetos situados en el campo visual del conductor.

Es indispensable iniciar estudios que permitan establecer las cantidades de residuos que se generan en su totalidad, en todo el proceso, los costos ambientales y en general los costos externalizados, en la producción del pavimento rígido, para hacerlo comparable con los servicios que presta y sus bondades. Igualmente se requieren los estudios para observar la cantidad de insumos que se utilizan, como la energía, los gases que se producen en la producción, los tóxicos que se desprenden y utilizan y los daños que de allí se derivan.

REFERENCIAS

- Ávila, E. y Soto, A. (2012). “Los estériles del carbón para concreto hidráulico”, Tesis de grado, Tunja: Universidad Santo Tomás.
- Cerda, H. (1998). *Los elementos de investigación*, Bogotá: Códice.
- Colombia, Ministerio de Transporte. (2004). *Manual de Señalización Vial*, Bogotá: Ministerio de Transporte.
- Colombia, Instituto Nacional de Vías, Invías. (2007). *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*, Bogotá: Ministerio de Transporte.
- Consorcio San José de Miranda. (2010). Estudios y diseños, gestión social, predial, ambiental y mejoramiento del proyecto “Troncal Central del Norte” La Palmera PR-00 (K2+260.00) Presidente PR102+350 (K102+347.81) Volumen II – Diseño Geométrico.
- García, C. (2009). “Características mecánicas de concretos reciclados”, Tesis de grado, Xalapa, México: Universidad Veracruzana.
- Gómez, T. y Vázquez, E. (2001). *Hormigón con áridos reciclados. Una guía de diseño para el material*, Barcelona: Cimne.
- Higuera, C. (2011). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras para pavimentos para carreteras, Volumen II, Teoría, métodos de diseño y ejemplos de aplicación*, Tunja: UPTC.
- Leonard, A. (2011). *La historia de las cosas*, Bogotá: Fondo de cultura
- Montejo, A. (2010). *Ingeniería de pavimentos*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Mora, S. (2006). *Pavimentos de Concreto Hidráulico*, Bogotá.
- Parra, J. (2001). “Caracterización de RCD de la comunidad de Madrid, como áridos para la fabricación de hormigón”, Tesis doctoral, Madrid.
- Sánchez, F. (1999). *Diseño de pavimentos*, Bogotá: Universidad Gran Colombia.

