

**Ing. Civil. Carlos Russi Peñarete**  
Esp. (c) Geotecnia vial y pavimentos, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja  
carupe10@gmail.com

**Ing. Transportes y Vías.**  
**José Ferney Moreno Bautista**  
Esp. (c) Geotecnia vial y pavimentos, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja  
femójo74@hotmail.com

# Rediseño Geométrico

y diseño de pavimentos de la vía variante de entrada municipio de Ráquira

## RESUMEN

Se hace la presentación y desarrollo de los criterios técnicos y económicos fundamentales que se tienen en cuenta al realizar el rediseño geométrico y diseño de pavimentos de la vía variante, así como el análisis y selección de una alternativa de solución con base en la normatividad vigente del Instituto Nacional de Vías-Invias. Se exponen aspectos como el tránsito, factores climáticos y ambientales y características geotécnicas de los suelos de subrasante, con el fin de obtener un diseño óptimo y adecuado de pavimentos utilizando las metodologías del Invías y del Instituto del Asfalto. El propósito de este proyecto es brindar una solución técnica y económica favorable a los intereses de la comunidad de Ráquira que permitan mejorar las condiciones actuales de la vía existente.

Palabras clave: diseño de pavimentos en ráquira, rediseño geométrico variante, variable de tránsito de diseño en Boyacá.

## ABTRAC

It is the presentation and development of key technical and economic criteria taken into account in the redesign geometric and pavement design of the track variant, and the analysis and selection of an alternative solution based on the regulations force of the National Roads Institute-Invias. Exposed areas such as traffic, weather and environmental factors and geotechnical characteristics of subgrade soils in order to obtain an optimal design of pavements using appropriate methodologies and Invias Asphalt Institute. The purpose of this project is to provide a technical and economical solution favorable to the interests of the community Ráquira to improve the current condition of the highway.

Keywords: Ráquira design of pavements, geometric redesign variant design variable traffic in Boyacá.

# I. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye un aporte en el campo de la ingeniería de carreteras para el desarrollo de la infraestructura en el departamento de Boyacá. Se ha elaborado de manera técnica con los conceptos teóricos y la normatividad vigente en Colombia, así como la utilización de bibliografía especializada de los diferentes temas para el desarrollo de cada uno de los capítulos que lo integran.

Este trabajo contiene trece capítulos, que tratan los aspectos referentes a los estudios topográficos, estudios de suelos y geotécnicos, análisis de tránsito, condiciones ambientales, análisis y diseño del pavimento y costos del proyecto, aspectos básicos para la obtención del resultado final del diseño de la infraestructura vial.

De igual manera, en el presente trabajo se muestra un análisis y un desarrollo técnico favorable, ya que se constituye en un proyecto donde se entrega el rediseño geométrico de la vía y el diseño de la estructura del pavimento. Se contemplan las variables de diseño necesarias utilizando la metodología base y acorde con la normatividad vigente para Colombia como es el Instituto Nacional de vías-Invias, así como los criterios técnicos profesionales de los autores.

El objetivo principal en la elaboración del proyecto es determinar las condiciones geométricas, geotécnicas, comportamiento de los suelos y de drenaje existente con el propósito de obtener un diseño óptimo, adecuado y económico, tanto a nivel geométrico como de la estructura del pavimento. Este fue el

producto de investigación hecha con el concurso de aportes técnicos y teóricos básicos para cumplir con los objetivos trazados inicialmente y se desarrolló en un tiempo de seis meses.

La vía variante fue construida básicamente con el fin de recibir el tráfico pesado que ingresa y sale del municipio como el tráfico interurbano, de paso a los diferentes municipios y veredas. En su estado actual es una vía con una capa de material granular en regular estado. Tiene una longitud aproximada de 1.1 Km.

Dentro de las limitaciones en la elaboración del proyecto, está la poca información de los procesos de construcción y mantenimiento efectuados. Sin embargo, en la toma de datos de campo se obtuvo dicha información, necesaria para el análisis y procesamiento.

Con la realización de éste proyecto se pretende hacer un aporte al desarrollo de la infraestructura vial del municipio, así como de los municipios circunvecinos, ya que con la rectificación del diseño geométrico y de la estructura del pavimento se busca mejorar las condiciones actuales de la variante en los aspectos de seguridad, comodidad y disminución de los costos de operación.

De igual manera, con la pavimentación de la vía se hace un aporte al mejoramiento de la imagen de esta población que es atractivo turístico. Por otra parte, se brinda comodidad a los vehículos que transiten y que no sufran las consecuencias de una vía en mal estado.



## II. ANTECEDENTES

Ráquira es un municipio colombiano ubicado en el Departamento de Boyacá. Su nombre proviene de la lengua muisca-chibcha, significa “ciudad de las ollas”, está situado a 63 kilómetros de Tunja, la capital del departamento de Boyacá.

El acceso al municipio también se efectúa en el desvío donde se encuentra el K0+000 del proyecto, pero hacia el margen izquierdo atravesando un puente metálico ubicado sobre el río Dulce, con capacidad de 4 toneladas.

Entre sus principales factores de ingreso económico se encuentra la alfarería y la producción artesanal, la explotación ganadera y agrícola en los alrededores y márgenes de la laguna de Fúquene, junto con la explotación minera de carbón en las veredas de Firitas y Gachaneca. Estos elementos constituyen la base principal de sus ingresos económicos.

En épocas de invierno se puede observar que esta vía presenta deterioro significativo por efecto de las lluvias, y en época de verano se presentan emisiones de partículas volátiles que contaminan el medio ambiente del sector y en general del municipio.

El ancho de la vía variante actual es de 7 metros en una longitud aproximada de 700 metros a partir del K0+000 y de 5 metros en un tramo más corto de 400 metros hasta el K1+100.

Para el proyecto actual se recoge información existente aportada por la secretaría de Planeación de Ráquira y por los habitantes vecinos de la obra. Con esta información se determina la existencia de variante, la cual fue construida hacia el año de 1992, y de algunas alcantarillas de 36”, además de la existencia de alcantarilla doble ubicada en el primer tramo de acceso hacia el municipio por esta vía. Su estado de mantenimiento es regular.

No se obtuvo información precisa sobre el mantenimiento efectuado en la vía desde el momento de su construcción.

## III. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

### A. Aproximación al concepto de diseño geométrico

La pavimentación de una vía constituye un factor importante para mejorar las condiciones de transitabilidad, seguridad, confort, disminución en los tiempos de viaje y operación, durabilidad y economía para los usuarios. Para determinar las condiciones topográficas y geométricas se requiere hacer los estudios topográficos detallados existentes de la variante, tanto en planta como en perfil.

El diseño geométrico de una carretera es la ordenación de sus elementos físicos: alineamiento horizontal y vertical, distancias de visibilidad, peralte, ancho del canal, etc. Geométricamente una carretera queda definida por el trazado de su eje en planta y por la subrasante en perfil (Bravo, 1996).



## B. Variante

Es la desviación de un trecho de carretera o de un camino con el fin de impedir el acceso o ingreso de automotores, siendo el propósito efectuar el recorrido en forma rápida en un tramo más largo. Una carretera de Circunvalación, ronda, variante o anillo periférico es una autopista, carretera o avenida que circula alrededor o dentro de una ciudad ó área metropolitana, rodeándola total o parcialmente, con el fin de evitar que los vehículos que realicen una ruta, sin intención de entrar en ella, eviten atravesarla.

Para realizar estos estudios existen varias metodologías, entre las que se adoptan para Colombia, se cuenta con los Manuales de Diseño geométrico de carreteras para bajos, medianos y altos volúmenes de tránsito del (Invías, 2008).

## C. Laboratorio de pavimentos

Es oportuno señalar la importancia que tiene el estudio, evaluación y entendimiento de las características físicas y el comportamiento mecánico de los suelos y materiales en un proyecto de pavimentación. Los ensayos de laboratorio, en ese sentido permiten medir, evaluar y entender el comportamiento mencionado.

De acuerdo con el diseño de pavimentos, un suelo es aquel agregado de partículas minerales que se pueden separar utilizando medios mecánicos de poca intensidad. Sánchez (1985), expresa que siendo el suelo elemento determinante en todos los diseños de pavimentos, el conocimiento de su origen y procesos de formación constituye una herramienta indispensable para quienes deben trabajar con él.

## D. CBR

El concepto de CBR, es una medida de la resistencia de los suelos de subrasante, al ser sometido a una carga correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración expresada en por ciento en su valor estándar. Higuera (2010), expresa que el CBR se define como la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado de 3 pulg<sup>2</sup> dentro de una probeta de suelo de 6 pulgadas de diámetro y 5 pulgadas de altura, con una velocidad de 0.05 pulg/minuto y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón de piedra triturada.

## E. Diseño de pavimentos

Para determinar el diseño de un pavimento se requiere hacer evaluación de las condiciones topográficas, geotécnicas, climatológicas y de los estudios de tránsito inherentes a la vía objeto del estudio. Sánchez (1985), expresa que el pavimento es una capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento o rasante. El pavimento tiene como funciones proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito y del clima, así como transmitir en forma adecuada los esfuerzos generados por las cargas del tránsito.

Los pavimentos están formados por una carpeta asfáltica apoyada sobre una vía ó varias capas de gran flexibilidad (admiten grandes deformaciones sin rotura bajo la aplicación de la carga) que transmiten los esfuerzos al terreno de soporte repartiéndolos mediante un mecanismo de disipación de tensiones, los cuales van disminuyendo paulatinamente con la profundidad (Garcés y otros, 1997).





#### IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

Para hacer el diseño geométrico de la vía variante se llevó a cabo un recorrido previo de reconocimiento con la ayuda de GPS, para hacer una evaluación preliminar. Además, de la toma de fotografías de la vía del proyecto, con la información obtenida se definieron los primeros parámetros visibles por tener en cuenta para programar las actividades de toma de información topográfica básica para el rediseño geométrico de la vía, así como un análisis preliminar de las condiciones geotécnicas apreciables para la programación de los estudios geotécnicos necesarios.

Una vez hecha esa evaluación, se contrató una comisión de topografía con equipo consistente en una estación y herramienta menor para la toma de información existente. Obtenidos los datos topográficos se alimentó en un programa y mediante análisis de la información, se obtuvo el diseño geométrico computarizado.

Posteriormente, sobre el diseño obtenido y características geotécnicas apreciables de la vía, se determinaron y ubicaron los puntos de sondeos y apiques por realizar. Estos se ubicaron cada 300 metros dentro del abscisado, donde se efectuaron a una profundidad de 1.40 metros cada uno.

Para la toma de información, realización de los sondeos y apiques, y posterior entrega de los resultados concernientes a las características geotécnicas y de resistencia de la subrasante, se contrató con un laboratorio de suelos especializado. Con los datos obtenidos y el análisis hecho sobre los mismos se determinó la caracterización de la subrasante, parámetro fundamental para el diseño del pavimento.

También, se efectuaron aforos vehiculares y de origen y destino en ambos sentidos durante los días

representativos de los flujos vehiculares: miércoles, sábado y domingo. El domingo corresponde al día de mercado. Con los datos obtenidos se determinó el tránsito diario promedio semanal TPDS. Para la toma de información se clasificaron los vehículos por tipo y características de peso por eje.

Los conteos se realizaron durante 16 horas durante tres días, a partir de las 05:00am a hasta las 9:00pm., iniciando el día 17 y concluido el día 21 de noviembre de 2010. Con el análisis por las cargas del tránsito y su proyección se determinó el número de ejes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

De igual manera, se solicitaron datos al Ideam sobre la temperatura y precipitación de la zona para determinar los datos promedio más importantes de la zona del proyecto y definir la categorización de la zona por este factor.

Con los resultados obtenidos de los parámetros como son la caracterización de la subrasante, categorización por influencia del medio ambiente y del tránsito, se procedió a efectuar el análisis de las alternativas de diseño de una estructura óptima de pavimentos, basados en consideraciones económicas y de disponibilidad de materiales que cumplan la normatividad vigente para Colombia.

De igual manera, se visitaron previamente las fuentes de materiales granulares para determinar la composición, calidad y cumplimiento de las especificaciones propias para el diseño de pavimentos. De la misma forma, se visitaron plantas de producción de asfalto más próximas, con el fin de determinar las características y su viabilidad económica más factible y óptima para el proyecto. Con los datos obtenidos se realizó el presupuesto y cantidades de obra basados en los costos de ítems para el año 2010.

## V. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS

Debido a que el Ideam sólo posee la estación meteorológica más cercana al proyecto en el Municipio de Villa de Leyva, con la información requerida para los análisis climáticos y del medio ambiente, se tomaron los datos de esta estación correspondiente a temperaturas y precipitaciones de los últimos 10 años.

### A. Hidrología y Temperatura

Con base en los datos de las precipitaciones de los últimos 10 años (2000-2009), se obtuvo la precipitación media anual de diseño (PMA)= 1028 mm/año, en el sector del proyecto, como puede verse en el cuadro I y Figuras 1 y 2. La Figura 1 muestra el comportamiento de la precipitación media mensual para los años de la serie histórica considerada en el análisis.

Con la serie de datos de temperaturas medias mensuales de los últimos 10 años (2000-2009), se obtuvo la temperatura media anual ponderada del proyecto (TMAP)= 16.5°C, como puede verse en el Cuadro II Figuras 3 y 4. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la temperatura media mensual (TMM) de la serie histórica escogido para el municipio de Ráquira.

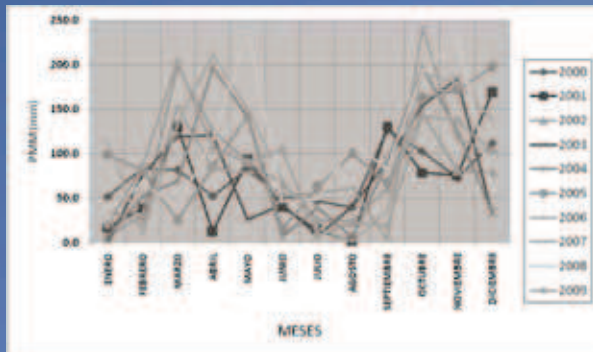


FIGURA 1. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (PMM) DE RÁQUIRA. Fuente: Autores del proyecto

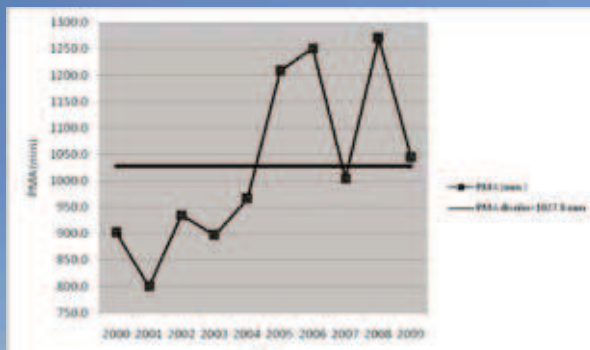


FIGURA 2. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE DISEÑO (PMA) Fuente: Autores del proyecto

### B. Región climática

En resumen, para el municipio de Ráquira, entre los años 2000 y 2009, se tiene una temperatura media anual ponderada de diseño: TMAP diseño=16.5°C y una precipitación media anual de diseño: PMA diseño= 1028 mm/año.

Con base en la TMAP diseño y la PMA diseño, se determinó la región climática para el diseño del pavimento, la cual corresponde a una región R2 (región templada seca y templada semihúmeda). Para la determinación de la región climática se basó en el cuadro de regiones climáticas según la temperatura

AÑO	PMA (mm.)
2000	901.9
2001	799.4
2002	935.3
2003	896.7
2004	966.4
2005	1208.3
2006	1251.5
2007	1004.4
2008	1269.9
2009	1044.1
Total	10277.9
PMA de diseño (mm.)	1027.8

y precipitación indicadas en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito del Invías (Invías, 1998).

CUADRO I  
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA) DE RÁQUIRA  
Fuente: Autores del proyecto.

Año	Fp Promedio	TMAP (°C)
2000	0.598	15.6
2001	0.642	16.0
2002	0.673	16.5
2003	0.698	16.9
2004	0.678	16.7
2005	0.695	16.8
2006	0.669	16.4
2007	0.675	16.6
2008	0.651	16.3
2009	0.700	17.0
Total		164.8
TMAP de diseño (°C)		16.5

CUADRO II. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE DISEÑO DE RÁQUIRA. Fuente: Autores del proyecto

## VI. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

Para la proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño (N) y con base en la información disponible, se determinó el uso del nivel 1 para el pronóstico del tránsito (ejes equivalentes acumulados en el período de diseño). Para este caso se requirió conocer el tránsito promedio diario, el porcentaje de vehículos comerciales y el factor de equivalencia de carga global para el año inicial del proyecto, así como la tasa de crecimiento.

### A. Aforos vehiculares y tránsito promedio diario

Como no se pudo obtener series históricas de tránsito, la cuantificación del tránsito se obtuvo realizando aforos vehiculares consistentes en toma de información a partir de conteos por tres días en períodos de 16 horas/día, teniendo en cuenta el día representativo de más alto volumen y el día promedio representativo entre semana. Con los datos obtenidos de los aforos vehiculares se determinó el tránsito promedio diario semanal (TPDs) = 823 vehículos (día), como puede verse en el cuadro III.

### B. Período de diseño para pavimentos flexibles

El período de diseño estructural está definido como el período durante el cual está previsto, con

Fecha: Nov-17-2010	Autos	Buses	Busetas	Camiones		Motos	TPD(veh/día)
				C2	C3		
Totales	486	10	44	97	1	245	638
Fecha: Nov-20-2010	Autos	Buses	Busetas	Camiones		Motos	TPD(veh/día)
				C2	C3		
Totales	719	52	62	144	1	353	978
Fecha: Nov-21-2010	Autos	Buses	Busetas	Camiones		Motos	TPD(veh/día)
				C2	C3		
Totales	1396	54	52	90	0	468	1592
				TPDs=	823	veh(día)	

CUADRO III RESULTADOS TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL DE LOS AFOROS VEHICULARES

Fuente: Autores del proyecto

alto grado de confiabilidad, que no se requerirá ningún mantenimiento estructural. Para satisfacer este objetivo de diseño en términos de valor de costos globales, de forma que el pavimento se desempeñe en condiciones óptimas en el período de análisis, se hace la selección del período de análisis y el período del diseño estructural.

Con base en el cuadro de categorías de las vías del Invias, indicados en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito (Invias, 1998), se clasificó la variante como categoría III (para vías de caminos rurales con tránsito mediano, caminos estratégicos), de tipo poco importante, para tránsito promedio diario (TPD) con valor menor de 1000.

El período de análisis según el cuadro de períodos de análisis (PA), en años recomendados del manual mencionado del Invias, se encontró un rango entre



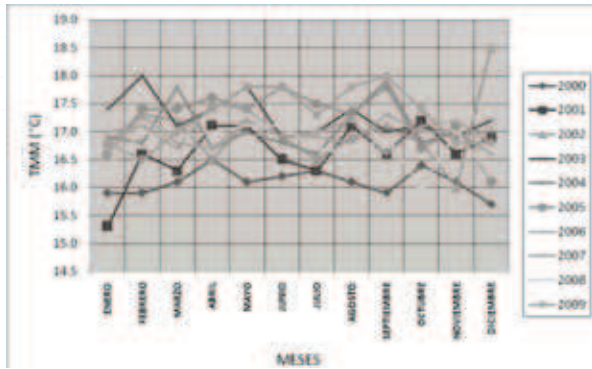


FIGURA 3. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (TMM) DE RÁQUIRA  
Fuente: Autores del proyecto

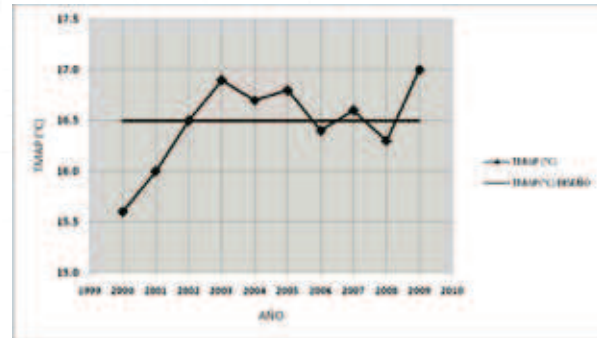


FIGURA 4. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE DISEÑO (TMAD)  
Fuente: Autores del proyecto

10 y 30 años para la categoría III de la vía. Teniendo en cuenta posibles variaciones en la vida geométrica por la situación de tránsito cambiante así como la carencia de fondos a corto plazo para su mantenimiento. El período de diseño estructural (PDE), de acuerdo con el cuadro de períodos de diseño estructural recomendados por el Manual del Inviás para la categoría III de la vía, se determinó en 15 años para un rango comprendido entre 10 y 20 años.

### C. Factor de equivalencia global y tasa de crecimiento

Para determinar el valor del  $F_{cg}$ , para el año indicado se consultó el Manual de diseño de pavimentos asfálticos del Inviás para medios y altos volúmenes de tránsito (Inviás, 1998). El valor del factor global obtenido fue de 1.44.

Según el cuadro de la tasa de crecimiento del Manual de diseño de pavimentos asfálticos del Inviás para medios y altos volúmenes de tránsito (Inviás, 1998). Se adoptó un valor de tasa de crecimiento del 6% para valores de TPDs entre 500 -1000 para vehículos comerciales.

### D. Factor de proyección y distribución direccional, factor de distribución para el carril de diseño

El valor obtenido de factor de proyección para un período de diseño de 15 años y una tasa de crecimiento del 6%, fue de 23.967. La distribución direccional y por carril ( $F_d$ ) de vehículos pesados se adoptó para los vehículos comerciales del 50% en cada dirección. Para la corrección de los vehículos comerciales en cada dirección con el factor de distribución para el carril de diseño ( $F_{ca}$ ) se tomó el valor sugerido por la Aashto presentados en el del Manual de diseño de pavimen-

tos asfálticos del Inviás para medios y altos volúmenes de tránsito (Inviás, 1998). Correspondió a ( $F_{ca}$ )= 1.0, en función del número de carriles en cada sentido.

### E. Número de ejes equivalentes en el período de diseño

Para los siguientes factores se obtuvo el valor del número de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y período de diseño:

### F. Corrección y rango de tránsito

Para garantizar una confiabilidad del 90% en la determinación de los ejes, se obtuvo el siguiente resultado:

$N_{8.2t} = 1.261.658$  ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y en el período de diseño, que corresponde al tránsito proyectado.

n	= 15 años (período de diseño)
	%vehículos comerciales= 21
$F_{cg}$	= 1.44 (factor de equivalencia de carga global)
$F_p$	= 23.6967 (factor de proyección)
$F_d$	= 50% (factor de distribución)
$F_{ca}$	= 1.0 (factor de distribución para el carril de diseño)
$N_{8.2t}$	= 1.088.575 ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y en el período de diseño.

Se estableció como un T2 según los rangos establecidos en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos del Inviás para medios y altos volúmenes de tránsito (Inviás, 1998). Este valor se utilizará para el diseño de la estructura del pavimento flexible.



## VII. CARACTERÍSTICAS DEL REDISEÑO GEOMÉTRICO

### A. Topografía

La variante, construida con material granular comprende los siguientes sectores: Puente – Plaza de Mercado – Puesto de salud y Cementerio de Ráquira, iniciando en el K0+000 al K1+100.

De los datos recogidos, tanto en planta y perfil, después de ser procesados y analizados con sus respectivos ajustes a las coordenadas, niveles y demás información obtenida en campo, se pudieron establecer los resultados de diseño geométrico siguiendo las pautas consideradas en el Manual de Diseño geométrico de carreteras para bajos, medianos y altos volúmenes de tránsito del Invías.

### B. Diseño Horizontal

La clasificación de la vía en cuanto a su competencia corresponde a una carretera de tipo municipal, siendo una vía de tipo urbano a cargo del municipio de Ráquira. En cuanto a su característica, corresponde a una calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y accesos directos desde sus márgenes, del tipo CC. En cuanto al tipo de terreno (plano) y por su competencia se clasificó como una carretera de tipo secundario según Fuente: Tabla 1.1 y Tabla 1.2 del Manual de diseño geométrico del Invías. La velocidad de diseño corresponde a 40KPH según Tabla 3.1.1 para carreteras secundarias y tipo de terreno (plano) según Fuente: Manual de diseño del Invías.

Según su función, se clasificó como una vía que une cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una principal. Para el diseño en planta se tuvo en cuenta el criterio de coeficiente de fricción lateral dado en la Tabla 3.3.2 de Manual de diseño del Invías, donde para una velocidad de diseño de 40 kilómetros por hora el valor del coeficiente es corresponde a 0.172. El valor máximo del peralte adoptado es del 0.08 correspondiente al de vías de tipo rural.

De acuerdo con el criterio observado en la Figura 3.1.1.2 del Manual de diseño del Invías, los sobre anchos obtenidos para el diseño en planta, se obtienen para las curvas C5 y C6 con valores de 1.39 y 0.28, respectivamente.

En el diseño geométrico horizontal se obtuvieron tres curvas de radio mayor a 200 metros, dos curvas con radio mayor a 100 metros y una curva con radio igual a 23 metros, para un total de 6 curvas horizontales. Esto indica un diseño suave con presencia de alineamientos largos y rectos entre curvas en la mayoría de la longitud del proyecto, presentándose sólo una curva de radio menor en el sector entre el K0+860 y el K0+920, donde se encuentra ubicado el puesto de salud, hacia el margen izquierdo de la vía.

En este diseño se trabajó con curvas circulares, teniendo presente que el TPD de la variante es de 823. El Cuadro IV muestra los resultados obtenidos para las curvas horizontales después de procesada, analizada la información topográfica, y efectuados los diseños geométricos de planta.

### C. Diseño Vertical

La pendiente máxima longitudinal del diseño en perfil corresponde al último alineamiento del proyecto en el sector del cementerio, con un valor de 9.9%. Este valor se comparó con el criterio dado en la Tabla 3.4.1 del Manual de diseño del Invías, donde para una velocidad de diseño de 40 kilómetros por hora, la pendiente máxima es del 11% para terreno ondulado y tipo de vía secundaria.

La inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la calzada no será menor al 0.5% y en cuanto al drenaje, la inclinación mínima para la capa de rodadura pavimentada es del 2%.

En el diseño en perfil de la vía se obtuvo un total de 6 curvas verticales donde a partir del K0+000 hasta el K1+100 el proyecto contempla 5 curvas con pendiente positiva y sólo una curva con pendiente negativa. La

Cuadro de Curvas Horizontales					
Curva	Delta	Radio	Tangente	Cuerda	Área bajo cuerda
C1	07°27'27.33"	424	27.7	55.2	33.1
C2	21°30'14.83"	160	30.4	59.7	111.8
C3	17°39'42.36"	350	54.3	107.4	297.0
C4	16°5'52.89"	261	36.9	73.2	125.7
C5	154°11'3.07"	23	100.4	44.8	596.6
C6	36°32'7.84"	115	37.9	71.9	27.0

CUADRO IV ELEMENTOS DE LAS CURVAS HORIZONTALES  
Fuente: Autores del proyecto

pendiente menor del 0.7% en el sentido longitudinal del alineamiento vertical. El Cuadro V muestra los resultados obtenidos para el diseño vertical.

### D. Sección transversal

El ancho mínimo que se adoptó para la zona del derecho de vía con base a la Tabla 3.5.1 del Manual de diseño es de 20 metros. Para el valor del bombeo se obtuvo un valor del 2% de acuerdo con las condiciones de la superficie de rodadura muy buena, proyectada en concreto asfáltico. El ancho de corona de

la vía para las condiciones existentes es de 8 metros; el ancho de calzada según la recomendación de la Tabla 3.5.3 del Manual del Invías fue de 7 metros con carriles de 3.50 metros para carreteras de tipo secundaria y terreno plano-ondulado.

El ancho mínimo recomendado para la berma, según Tabla No 3.5.4 del Invías es de 0.50 metros para vías secundarias, con velocidad de diseño de 40 KPH y terreno plano. El talud para corte adoptado es de ½ a 1 y para terraplén de 1 ½ a 1. La rectificación del diseño geométrico consistió en la definición con criterios técnicos ajustados según el Manual de diseño geométrico de carreteras del Invías para vías secundarias, para una velocidad de diseño de 40KPH.

Curva	Longitud	Pendiente %	Longitud entre PIVS	Abscisa PCV	Abscisa PIV	Abscisa PTV
C1	30	3.2	100.00	K0+085.00	K0+100.00	K0+115.00
C2	40	8.8	100.00	K0+180.00	K0+200.00	K0+220.00
C3	40	0.7	100.00	K0+280.00	K0+300.00	K0+320.00
C4	80	-4.8	100.00	K0+360.00	K0+400.00	K0+440.00
C5	60	2.4	480.00	K0+850.00	K0+880.00	K0+910.00
		9.9	200.00			

CUADRO V DISEÑO DEL PERFIL Y ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES  
Fuente: Autores del proyecto.

Sondeo No	Abscisa	Profundidad	Ubicación
1	K0 + 350	1.40 m	Lado Izquierdo eje vía
2	K0 + 650	1.40 m	Lado Izquierdo eje vía
3	K0 + 950	1.40 m	Lado Derecho eje vía

CUADRO V DISEÑO DEL PERFIL Y ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES  
Fuente: Autores del proyecto.

## VIII. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y DE LOS SUELOS

### A. Exploración y muestreo

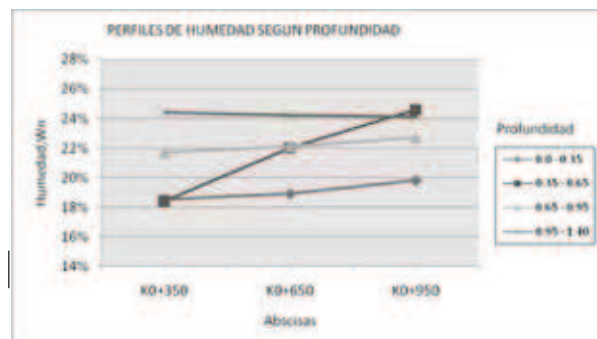
Se determinaron las abscisas y se llevaron a cabo los sondeos. Se realizaron 3 con una distancia entre ellos aproximada de 300 metros, a una profundidad de 1.40 metros y en forma alternada. En el Cuadro VI se muestra la localización y número de sondeos.

### B. Contenido de humedad, límite líquido, plástico e índice de plasticidad

Con base en la norma I.N.V. E-122-07, se obtuvieron valores de humedad bajos, que oscilan entre 20 y 22.

Abscisa Sondeo	I.C.	Wn %	LL	LP	IP	Granulometría			U.S.C.S.	A.A.S.H. T.O.
						Pasa # 4	Pasa #40	Pasa # 200		
K0+350	1.35	18.5	44.9	25.3	19.6	18.5	9.0	0.6	GP-GC	A-2-7
	1.26	21.7	50.7	27.6	23.1					
K0+650	1.38	18.9	55.6	29.1	26.5	14.2	11.0	0.9	GP	A-2-7
	1.27	22.0	67.7	28.4	39.3					
K0+950	1.37	19.8	60.9	30.9	30.0	13.8	12.6	1.0	GP	A-2-7
	1.21	24.6	72.2	29.4	42.8					

CUADRO VII RESUMEN DEL ANÁLISIS DE SUELOS. Fuente: Autores del proyecto.



El valor del nivel freático a la profundidad del sondeo es igual a cero, no se encontró NF. En el cuadro VII se muestran el valor de las humedades y en la Figura 5 se muestra su comportamiento y su valor promedio.

De acuerdo con la norma I.N.V. E-125,126-07, se obtuvo un límite líquido entre 48 y 62, un límite plástico entre 27 y 29, y un índice plástico entre 21 y 33. En el Cuadro VII se muestra el valor discriminado de los límites y en la Figura 6 se muestra el comportamiento de estos parámetros.

### C. Índices de consistencia, granulometría y clasificación de suelos

Los valores obtenidos varían entre 1.26 y 1.21, lo que indica que el suelo presenta una consistencia sólida de buena resistencia. En el Cuadro VII se muestra su valor discriminado.

Con base a la norma I.N.V. E-123,124-07, se obtuvieron resultados para cada sondeo. La clasificación se realizó teniendo en cuenta la norma I.N.V.E 102-07, y por los métodos SUCS y la Aashto. En el Cuadro VII se muestran los valores representativos obtenidos para la granulometría y la clasificación de los suelos.

### D. Ensayos de compactación, CBR y categorización de la subrasante

Se efectuaron los ensayos de compactación de acuerdo con la norma I.N.V. E-142-07 y de CBR inal-

terado. En el cuadro VIII se muestran las características geotécnicas de los suelos y de la caracterización de la subrasante. Con base en estos resultados en el mismo cuadro se observa la categorización obtenida para la subrasante.

Con los resultados obtenidos en la caracterización y categorización de la subrasante se deduce que estos suelos corresponden a unas gravas del tipo (GP-GC y GP), con plasticidad intermedia y alta, con valores de consistencia mayores que uno, lo que determina suelos de consistencia sólida. Los valores de CBR inalterado obtenidos entre 17 y 22% indican

Capa	Parámetro	Valor Servicio	Valor Admisible	Solicitud (%)
Modelo Multicapa	Asfáltica	$\epsilon_r$	$1.55 \times 10^{-4}$ < $2.750 \times 10^{-4}$ (IA)	56
		$\epsilon_z$	$2.51 \times 10^{-4}$ < $4.579 \times 10^{-4}$ (IA)	55
	Subrasante	$\delta_z$	$0.507 \text{ kg/cm}^2$ < $1.162 \text{ kg/cm}^2$ (D-K)	44
		$\delta_z$	$0.507 \text{ kg/cm}^2$ < $2.271 \text{ kg/cm}^2$ (CRR)	22
Estructura	$\Delta z$	0.251 mm	< 0.902 mm (IA)	28

CUADRO IX: PARÁMETROS DE CHEQUEO Y PORCENTAJE DE SOLICITACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO. Fuente: Autores del proyecto

que corresponden a un suelo de tipo Regular y Bueno, aptos para el uso de subrasante sin necesidad de utilizar estabilizaciones para incrementar su resistencia. De igual manera, con los datos obtenidos en campo sobre el nivel freático cero en cada uno de los sondeos permite deducir que no se requiere el diseño de drenaje (filtros).

Características Geotécnicas	Unidad de diseño 1	Unidad de diseño 2
Abscisas	K0+000 – K0+650	K0+650 – K1+100
Suelo Predominante Sistema SUCS	GP-GC	GP
Suelo Predominante Sistema AASHTO	A – 2-7	A – 2-7
Humedad Promedio (W%)	20.8	22.3
Límite Líquido Promedio (LL%)	47.8	64.1
Límite Plástico Promedio (LP%)	26.5	29.5
Índice Plástico Promedio (IP%)	21.4	34.6
CRB de la unidad de diseño (CBR%)	22	17.1
Módulo Resiliente de diseño (Mr Kg/cm <sup>2</sup> )	2200	1710
Categoría de subrasante (S) (pavim. Flexible)	S5	S5
Categoría de la subrasante (S) (pavim. Rígido)	S5	S4
Plasticidad	Intermedia	Alta
Recomendaciones de diseño	Condición de Subrasante (BUENA)	Condición de Subrasante (REGULAR)

CUADRO VIII CARACTERIZACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA SUBRASANTE Fuente: Autores del proyecto

## IX. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA VÍA VARIANTE

En el presente proyecto se adopta el diseño desarrollado por el Invías, que es aplicable a pavimentos de carreteras interurbanas de dos o más carriles y abarca todas las gamas posibles de tránsito. Este método es importante en el medio debido a que el procedimiento de diseño adoptado nació de una combinación de métodos existentes, la experiencia, la teoría del comportamiento estructural y los mate-

riales disponibles. Sin embargo, esto no quiere decir que se deban excluir otros métodos para los fines propuestos y tipo de proyecto. Otro método aplicado para el presente estudio es el del Instituto del Asfalto, con el propósito de analizar sus resultados y establecer diferencias que enriquezcan el contenido y definir la opción más cercana a los usos en la práctica local.

Item	Descripción	Unidad	Cantid.	Valor unitario	Valor total
1	Explanación, excavaciones a máquina	M3	1139	\$ 5.472.00	\$ 6.232.608.00
2	Explanación, terraplén compensado, compactado	M3	3248	\$ 7.300.00	\$ 23.710.400.00
3	Conformación de la subrasante	M2	8640	\$ 377.00	\$ 3.257.280.00
4	Subbase granular, tipo SBG-1	M3	1549	\$ 100.000.00	\$ 154.900.000.00
5	Base granular, tipo BG-2	M3	1500	\$ 140.000.00	\$ 210.000.000.00
6	Carpeta asfáltica MDC-2	M3	616	\$ 535.579.00	\$ 329.916.664.00
7	Sumideros de reja horizontal	UND	8	\$ 550.140.00	\$ 4.401.120.00
8	Bordillos	ML	2000	\$ 63.255.00	\$ 126.510.000.00
				Valor Total	\$ 858.928.072.00

CUADRO X PRESUPUESTO Y CANTIDADES DE OBRA TOTALES PAVIMENTACIÓN INCLUYENDO OBRAS Fuente: Autores del proyecto

## X. DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA VARIANTE

### A. Método de diseño Invías

Con base en los resultados obtenidos de condiciones climáticas (R), niveles de tránsito (T), resistencia de los suelos de subrasante (S) y características de los materiales para cada una de las capas, se entra a determinar la carta de diseño dentro de los rangos contemplados en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito (Invías, 1998). Los siguientes son los parámetros de diseño: región climática R2, resistencia de la subrasante S5 y el rango de tránsito T2. La carta de diseño determinado para las alternativas de diseño es la No 2.

La selección de la alternativa obedeció a las condiciones de disponibilidad de materiales de la zona y al respectivo análisis económico de las mismas. Ingresando a la Carta de diseño No 2 se determinó dentro de las tres alternativas posibles indicadas por el Método del Invías, la opción óptima. En la Figura 7 se muestra el modelo estructural obtenido.

### B. Método de diseño del Instituto del Asfalto

Los siguientes son los parámetros de diseño: módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ ) ( $lb/pulg^2$ )= 24429, ( $M_r$ ) ( $Kg/cm^2$ )= 1710, para CBR=17.1 (condición más crítica). Tránsito de diseño método Invías =  $1.2 \times 10^6$  ejes acumulados de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el período de diseño.

De igual manera, para la selección de alternativa de diseño, ésta se ha basado en el criterio de disponibilidad de materiales en la zona del proyecto y a consideraciones económicas del diseño. Se determinó trabajar la alternativa con un modelo multicapa.

El diseño obtenido corresponde a una capa granular compuesta por una capa de subbase tipo SBG-1 con espesor de SBG= 15.0 cm, una capa de base tipo BG-2, con espesor de BG=15.0 cm y una capa asfáltica tipo MDC-2 con espesor de 10.0 cm. En la Figura 8 se muestra el

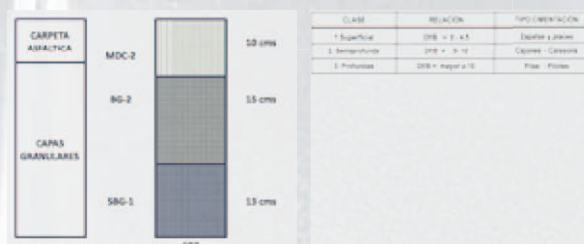


FIGURA 7. ALTERNATIVA DE DISEÑO MÉTODO INVÍAS

Fuente: Invías. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Popayán, 1998. p. 79-82.

FIGURA 8. ALTERNATIVA DE DISEÑO MÉTODO INSTITUTO DEL ASFALTO

Fuente: Sánchez Sabogal, Fernando. Tomo I. Bogotá, D.C., 1984. p.158.

modelo estructural obtenido en la selección de la alternativa óptima.

### C. Chequeo del modelo estructural

Utilizando el programa Depav, se realizó el chequeo de los parámetros de esfuerzos, deformaciones y deflexión del modelo estructural. En el Cuadro IX se muestran los resultados obtenidos frente a los valores admisibles y el porcentaje de las solicitaciones.

De acuerdo con los valores obtenidos, la estructura cumple con los criterios de deformación admisible de tracción en la base de la capa asfáltica y deformación vertical sobre la subrasante, ya que el porcentaje de las solicitaciones no supera el 100% de lo admisible. Por lo tanto, el dimensionamiento de la estructura de pavimento flexible es adecuado.

### D. Selección de alternativa óptima de diseño

Teniendo en cuenta las consideraciones económicas y el cumplimiento de los parámetros exigidos con la normatividad vigente en Colombia, se escogió como alternativa óptima de diseño la dada por el del método del Instituto Nacional de Vías – Invías, con los siguientes datos del modelo estructural: capa asfáltica tipo (MDC-2) de 7.5 centímetros, base granular tipo (BG-2) de 15.0 centímetros y subbase granular tipo (SBG-1) de 15.0 centímetros.

## XI. MATERIALES DE CANTERAS Y DE LA MEZCLA EN CALIENTE

Después de haber efectuado visitas a los sitios de explotación y producción de fuentes de materiales más cercanos a la zona del proyecto y que cumplieran con las especificaciones exigidas por las normas de construcción del Inviás, se escogieron los siguientes sitios como los más favorables desde el punto de vista económico y de calidad para beneficio de Ráquira, para la ejecución del proyecto.

Para materiales granulares de subbase y base la cantera ubicada en Cucaita (Boyacá), de propiedad del Señor Obdulio Larrotta y la cantera ubicada en el municipio de Simijaca (Cundinamarca), cuyo propietario es el Señor Julio Pérez. Para materiales de mezcla asfáltica se recomienda la fuente de producción ubicada en Simijaca, también de propiedad del Señor Julio Pérez.

## XII. CANTIDADES Y PRESUPUESTO DE OBRA

Con las cantidades de obra de cada uno de los materiales utilizados en los diseños se estableció el presupuesto de obra, basados en los costos asociados a la producción e instalación en obra de los mismos (subbase, base granular y mezcla asfáltica). No se incluyen los aspectos de mantenimiento futuro, ni se analiza el costo residual de la obra, al término de su vida útil. Los cálculos se hicieron con valores del año 2010, considerando sólo la inversión inicial de construcción.

Los datos básicos del proyecto para tener en cuenta son: longitud de la carretera = 1080 metros, ancho de calzada = 7.00 metros, vía bidireccional

de dos carriles ancho= 3.50 metros, ancho de berma= 0.50 metros, ancho total a pavimentar incluyendo bermas= 8.0 metros y el área a pavimentar=  $1080 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} = 8640 \text{ m}^2$ .

En el cuadro X se presentan los valores de las actividades descritas para la construcción, incluyendo los costos de transporte e instalación. Los valores usados son típicos para las carreteras rurales, localizados a distancias menores de 40 km de los centros de producción. Se asumen condiciones normales de construcción y se incluyen costos de algunas obras complementarias.



### XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La vía variante de Ráquira se constituye como la principal vía de acceso que utilizan tanto el tráfico pesado como el tránsito normal de pasajeros, para dirigirse desde y hacia el municipio de Ráquira. De igual manera, es utilizada por el tráfico de paso para acceder a las ciudades, regiones circunvecinas y sectores veredales.

El diseño geométrico horizontal y de perfil obtenido para la vía variante arrojó un diseño suave y adecuado conforme a la velocidad de diseño de 40 KPH obtenido y demás especificaciones acordes con la categorización de la vía tipo secundario interurbano y vecinal. Esto indica un resultado ajustado a las necesidades de la comunidad y usuarios de la vía con el objeto de poder utilizarla en condiciones óptimas de confort, comodidad, visibilidad, seguridad y economía.

Según los datos obtenidos en los estudios de suelos y geotécnicos adelantados, se determinó que la subrasante posee muy buenas condiciones de resistencia con categoría tipo S5, excelentes para utilizarla como capa base para las capas que conforman la estructura de un pavimento flexible. Este resultado proporciona la información suficiente para poder determinar que no es necesario realizar ningún tipo de diseño para estabilizar y/o incrementar la resistencia del material del suelo de subrasante, lo cual permite utilizarla con confianza en la parte constructiva del proyecto y contribuye con el crecimiento económico del municipio.

De igual manera, con los resultados en los estudios de suelos y análisis de los datos aportados por las humedades en promedio de 21% para ambas unidades de diseño y un nivel freático igual a cero encontrado para cada sondeo, permite concluir que no es necesario efectuar diseño de drenaje subterráneo. Esto indica la economía para el proyecto en su aspecto constructivo y de vida del pavimento, siempre y cuando prevalezcan estas condiciones.

Los datos obtenidos en la evaluación y análisis del tránsito con un TPDs= 823 y un N8.2t= 1.2 x 106, junto con la información topográfica del eje del proyecto, permitieron definir el tipo de vía, clasificación y su categorización. Estos resultados indican que la variante pertenece a un tipo de vía secundaria interurbana y vecinal, siendo conforme a las características que se pueden apreciar por el servicio que presta y el tipo de usuarios encontrados.

Los resultados arrojados en los estudios y análisis de las condiciones ambientales, permiten observar que la región climática de la zona del proyecto es del tipo R2, corresponde a una zona templada seca y se-

mihúmeda. Este dato es uno de los parámetros básicos para conocer las condiciones que se presentan en este sector y para ser utilizado con confianza posteriormente en el diseño de la estructura del pavimento.

De acuerdo con las alternativas de diseños de pavimentos flexibles obtenidos basados en los métodos del Invías y del Instituto del Asfalto, se puede apreciar mediante el chequeo de sus parámetros de diseño, que estos cumplen con los requerimientos mínimos exigidos en cuanto a los valores admisibles de deformaciones actuantes o de servicio. Dentro de los de los valores admisibles para las deformaciones se tienen: para la capa asfáltica es de  $2.5 \times 10^{-4}$  y el valor de servicio de  $1.4 \times 10^{-4}$ , para la subrasante de  $4.6 \times 10^{-4}$  y el valor de servicio de  $2.31 \times 10^{-4}$ . El valor de la deflexión admisible de la estructura es de 0.90 mm y el de servicio de 0.24 mm. Estos resultados aseguran la obtención un diseño óptimo, adecuado, útil y económico, conforme a las necesidades buscadas por el municipio y de beneficio para los usuarios.

El valor total de \$ 858.928.072.00 obtenido en el análisis para el presupuesto de obra dadas las cantidades obtenidas en los diseños geométrico y de pavimentos, permiten deducir que este proyecto representa una opción económica para los intereses del municipio y su comunidad, con base a los precios unitarios del año 2010.

Se recomienda, por consideraciones económicas para el proyecto de la vía variante, adoptar la alternativa dada por el método del Invías con espesores de capa asfáltica de 7.5 cms, base granular de 15 cms y subbase granular de 15 cms. Este diseño brinda las exigencias mínimas requeridas para una estructura acorde con los parámetros que influyen en la escogencia de una alternativa de diseño óptima. Su implementación indica un nivel de confianza aceptable dadas las experiencias, tanto a nivel local como nacional y conforme a las especificaciones y normatividad exigida por esta misma entidad.

Se recomienda utilizar las fuentes de producción para las capas granulares, las canteras ubicadas en Cucaita (Boyacá) y de Simijaca (Cundinamarca), ya que por la disponibilidad de los materiales, calidad, cumplimiento de especificaciones de construcción y cercanía a la zona del proyecto, permiten brindar condiciones de economía favorables para la ejecución del mismo. De igual manera, para el material de mezcla asfáltica se recomienda utilizar la fuente ubicada en Simijaca, dadas las condiciones de cercanía, economía, cumplimiento de especificaciones y disponibilidad cerca a la zona del proyecto.



Fuente fotográfica: [http://empresarial.universia.com/informacion/sectores\\_profesionales/construccion\\_inmobiliaria/construccion/](http://empresarial.universia.com/informacion/sectores_profesionales/construccion_inmobiliaria/construccion/)

## XIV. REFERENCIAS

Bravo, P. (1976). Trazado y localización de carreteras. Bogotá: Carvajal S.A.

Higuera, C. (2010). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras. Tunja: UPTC publicaciones.

Instituto Nacional de Vías – Invias. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá.

Instituto Nacional de Vías – Invias. (1998). Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Popayán.

Montejo, A. (1998). Normalización del diseño de pavimentos flexibles en Colombia. Popayán: Universidad Católica de Colombia.

Montejo, A. (1998). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Reyes, F. (2005). Diseño racional de pavimentos. Bogotá: Editorial Ceja.

Sánchez, F. (1983). Manual de laboratorio de pavimentos. Bogotá: Universidad la Gran Colombia.

Sánchez, F. (1985). Pavimentos-Fundamentos teóricos, guías de diseño. Bogotá: Universidad la Gran Colombia.

Pavimentos-Materiales para la construcción, evaluación de pavimentos en servicio, diseño de obras de mejoramiento. (1985). Bogotá. Tomo II. Especificaciones generales de construcción de carreteras. (1998). Bogotá.

Normas de ensayos para materiales de carreteras. (2007). Bogotá.

Nociones sobre diseño de pavimentos para carreteras. Guías de clase. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Santo Tomás. (2010).Tunja.

Universidad del Cauca. (1985). Programa INPA-CO-PDC. Popayán.