

# Definición de alternativas de diseño del pavimento vía Arauca – Caracol, municipio de Arauca\*

Nevis Elena Rodríguez Yanez\*\*

Fabio Arnold Torres Pabón\*\*\*

Alba Rocío Arias Melo\*\*\*\*

Recibido: 19 de abril de 2012 Aprobado: 13 de junio de 2012

L'esprit Ingénieux Tunja - Colombia V 3 pp. 104 - 113 enero - diciembre 2012

## Resumen

*El documento contiene inicialmente las bases teóricas en las que se fundamenta el diseño, luego se muestra la información de campo tomada referente a características geológicas, geotécnicas, climatológicas y meteorológicas necesarias para llevar a cabo el análisis de las condiciones actuales del corredor vial Arauca – Caracol y las posibles alternativas viables para el mejoramiento de dicha vía mediante el diseño de la estructura de pavimento flexible.*

*Palabras claves - Diseño de pavimentos  
Resistencia de la subrasante  
Características físicas de los materiales  
Vía Arauca-Caracol*

## Abstract

*The document initially contains the theoretical basis on which to base the design, then shows the measured field information concerning geological, geotechnical, climatological and meteorological necessary to carry out the analysis of current conditions in the corridor Arauca - Snail and any feasible alternatives for the improvement of this route through the design of flexible pavement structure.*

*Keywords— Pavement design  
Subgrade strength  
Physical properties of materials  
Via Arauca- Caracol.*

\* Artículo de investigación, como producto final del proyecto de investigación del mismo nombre.

\*\* Ingeniera Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos.  
neviselenarodriguezyanez@gmail.com

\*\*\* Ingeniero Civil, Universidad La Gran Colombia, especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos.  
torresingenieros@gmail.com

\*\*\*\* Ingeniera en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos.  
rocio8419@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

**E**ste documento contiene diferentes alternativas para el diseño del pavimento flexible de acuerdo a la reglamentación vigente en el país, soportado con un completo estudio geotécnico y geométrico para la Vía Arauca – Caracol, Municipio de Arauca, departamento de Arauca.

Dentro de los aspectos que se tuvieron en cuenta se definieron las alternativas más viables para el diseño del pavimento incluyendo el conocimiento de los tipos, materiales y propiedades de los diferentes métodos de diseño de pavimentos flexibles apoyados en software para cálculos.

Los Estudios que se tuvieron en cuenta fueron:

### A. Criterios generales de clasificación:

#### 1) *Estudio geotécnico de la subrasante y determinación de su resistencia.*

El estudio geotécnico permite establecer las unidades de diseño homogéneas clasificadas de acuerdo a las características geológicas, geotécnicas, topográficas, de drenaje, estabilidad volumétrica y ambientales del suelo de subrasante de la zona.

#### 2) *Estudio de factores ambientales y climáticos*

Ubicación de la zona de estudio y establecimiento de características como clima, geología, geomorfología.

#### 3) *Estudio de diseño de rectificación geométrica.*

Contempla el levantamiento topográfico de la vía en estudio y la rectificación de alineamientos horizontales y verticales.

#### 4) *Estudio de tránsito de diseño y determinación del período de diseño*

Determina el número de ejes equivalentes de 8,2 Toneladas en el período de diseño y por el carril de diseño.

#### 5) *Diseño de la estructura del pavimento*

Se presenta el diseño de la estructura de pavimento flexible empleando el método

Aashto 1993, el método Invías para medios y altos volúmenes de tránsito. Apoyados además en el método Racional mediante el chequeo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles.

## II. DESARROLLO DEL PROYECTO

### A. Descripción del problema

El Departamento de Arauca es catalogado como una de las principales zonas productivas del país en aspectos relacionados con la industria ganadera, pesquera y petrolera. Sin embargo, el deterioro de sus vías de comunicación con el resto del país lo ha mantenido aislado, afectando de manera sustancial la integración al sector económico. El problema en análisis se presenta en la vía Arauca – Caracol del Municipio de Arauca en el departamento de Arauca, la cual actualmente no presenta características técnicas adecuadas generando esto múltiples problemas tanto en el diseño geométrico como en el estado de la superficie de rodadura.

### B. Antecedentes

Colombia cuenta con una red de carreteras alrededor de 164.000 kilómetros, aproximadamente, representados así: 10% en la red primaria a cargo de la Nación a través del Invías y del INCO. 90% red secundaria y terciaria a cargo de los departamentos, Municipio, Invías (red terciaria y férrea),



privados. En cuanto a la red secundaria y terciaria, ésta se encuentra en su mayoría en afirmado, pero existe un buen número de kilómetros pavimentados y la tendencia generalizada es hacer intervenciones de mejoramiento de las mismas, hasta llevarla a este tipo de superficie de rodadura. Durante años esta infraestructura ha significado para las comunidades de las diferentes regiones del país una gran posibilidad de desarrollo tanto social como económico, ya que no solo permite su interacción con otras poblaciones sino que además facilita el intercambio económico y la comercialización de los productos propios de cada zona. (Wikipedia, 2012).

Con el presente trabajo se proponen alternativas de diseño para pavimento flexible en la vía Caracol-Arauca del Municipio de Arauca, Departamento de Arauca. En esta zona del país se tiene una gran afectación de las variables anteriormente descritas por las características específicas de la región como: topografía, clima y ubicación. El proyecto está basado en la información de campo obtenida mediante pruebas de laboratorio, el procesamiento de dicha información, el empleo de software en los cálculos y el planteamiento de las diferentes alternativas de diseño.

### C. Estado actual

Esta vía es la principal alternativa de movilidad de las veredas El Peligro, Punto Fijo, Maporita, Barranca Amarilla, Villanueva, El Vapor, Bogotá, Feliciano, Cabuyare, La Panchera, Los Arrecifes, Mate Piña, Los Caballos y Grimonero que requieren comunicación con la capital del Departamento y con el interior del país para comercializar sus productos especialmente los relacionados con la ganadería. Esta vía transporta un alto porcentaje de la producción ganadera del departamento, lo cual representa una de las principales fuentes de ingreso en la región. Al mejorar las condiciones de transitabilidad de la vía se facilita el transporte adecuado

de productos especialmente ganado y arroz, mejorando así las condiciones de vida de la comunidad.

De ahí, la importancia de elaborar las alternativas de diseño que permitan el mejoramiento de la capa de rodadura de la vía, analizando las características técnicas actuales a nivel de estructura de pavimento, utilizando materiales convencionales existentes en la región lo cual por sus características sería necesario estabilizar y plantear técnicas de construcción que garanticen la estabilidad de la obra durante el período de diseño. Por otra parte, la ejecución del proyecto abrirá las puertas para que habitantes de otras regiones visiten esta zona del departamento y viceversa, situación que se verá reflejada en el crecimiento social y cultural no solo del municipio de Arauca sino del departamento en general.

### D. Método de estudio

Para el desarrollo del presente artículo se siguió un proceso práctico utilizando la siguiente metodología: se inició con la toma de información de campo mediante la realización de apiques para toma de muestras de suelo, toma de información del tránsito mediante conteo semanal, localización y toma de muestras de las fuentes de materiales existentes en la región y toma de información topográfica. Luego se realizó el análisis de muestras en laboratorio y el análisis de propiedades físico-mecánicas de los materiales a utilizar. Finalmente con todas las variables obtenidas se llevó a cabo el cálculo de las alternativas de diseño del pavimento de la zona objeto de estudio.

#### 1) Resultados de pruebas de campo

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio se estableció que la resistencia de la subrasante es baja, entre 2.72% y 7.86%. Se definió una unidad de diseño a lo largo del tramo a intervenir debido a la similitud de los datos de CBR. El CBR de diseño fue de 3.4%

### 2) Determinación del tránsito de diseño

Se utilizó el método manual empleando 2 aforadores en turnos de 12 horas, cada día. La medición se realizó para cada sentido de la vía. Mediante reconocimiento directo de campo sobre el área de influencia del proyecto, se identificaron los puntos sobre el corredor vial para la medición de los volúmenes vehiculares en el sector. El sitio elegido corresponde al PR0+000 de la vía Arauca – Tame y Arauca – Caracol. Los períodos de conteo corresponden a conteos cada 15 minutos que se realizaron las 24 horas del día durante 7 días de la semana. Siguiendo el procedimiento establecido en el *Manual de diseño de altos y medios volúmenes del Invías* se obtuvo un  $N' = 2,5 * 106$  ejes equivalentes de 8,2 Ton. en el período de diseño y en el carril de diseño.

### 3) Materiales disponibles en la región

En la región existen dos fuentes de suministro de material pétreo de base, subbase y afirmado, ubicadas en los municipios de Saravena y Tame.

### E. Planteamiento de alternativas de diseño

De acuerdo con las características físico-mecánicas de la vía se plantearon las

alternativas de diseño a las cuales se les hizo un análisis técnico para determinar cuál es la alternativa de diseño más viable:

### 1) Diseño de pavimento flexible por el método Aashto 1993

Los parámetros de diseño que considera el Método Aashto son: El tránsito (número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño en el período de diseño). El nivel de Confianza R (%). Error normal combinado (tiene en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación de la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción).

También se tiene en cuenta el nivel de servicialidad (se parte de un valor inicial para pavimentos flexibles de  $Po=4.2$  y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento), módulo resiliente de la subrasante. El número estructural del pavimento (es un número abstracto que representa la resistencia total del pavimento para unas determinadas condiciones de subrasante, tránsito, índice de servicio

y condiciones ambientales), calidad de drenaje (los coeficientes de drenaje  $m_2$  y  $m_3$  para las capas de base y subbase de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación).

### FORMULA BASICA DE LA AASHTO

$$\text{Log}N_{80,2N} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta IPS}{4.2 - 1.5}\right)}{\left(0.40 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)\right)} + 2.32 \text{Log}(Mr) - 8.07$$

Donde:

$N_{8.2 \text{ Ton}}$  = Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

$Z_r$  = Desviación normal estándar

$S_o$  = Error normal combinado de la previsión del tránsito y del comportamiento.

$\Delta IPS$  = Diferencia entre el índice de servicialidad inicial  $P_o$  y final  $P_t$ .

$Mr$  = Módulo resiliente de la subrasante. Lb/pulg<sup>2</sup>

$SN$  = Número estructural indicativo del espesor total del pavimento.

Otros parámetros son los módulos dinámicos de las diferentes capas de la estructura de pavimento, con los módulos dinámicos se obtienen los coeficientes estructurales de cada capa con los nomogramas de las Aashto.

### 2) Diseño de pavimentos flexibles por el método del Instituto Nacional de Vías

El Invías tiene un Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito partiendo desde un tránsito de diseño de  $0.5 \times 10^6$  ejes equivalentes hasta  $40 \times 10^6$  ejes equivalentes. Éste está basado en cartas de diseño preestablecidas teniendo en cuenta la siguiente información: condiciones climáticas (R), niveles de tránsito (T), condiciones de resistencia de los suelos de subrasante (S), y características de materiales definidos para cada capa.

### 3) Chequeo de la estructura de pavimento y análisis de resultados

El chequeo de la estructura se realiza por el método Racional, con el fin de cumplir los criterios de control de fatiga, control de ahuellamiento y control de deflexión. Se verifican los esfuerzos, deformaciones y deflexión actuantes o de servicio con respecto a los valores admisibles.

Para esto se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

$E_1$  = Módulo dinámico de la capa asfáltica en  $Kg/cm^2$

$E_{sub}$  = Módulo resiliente de la subrasante en  $Kg/cm^2$

$V_b$  % = Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla

$N_{dis}$  = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el período de diseño

$K$  = Coeficiente de Calage

$NC$  % = Nivel de confianza

$CBR$  = Capacidad de soporte de la subrasante, %

Utilizando el criterio de fatiga, la deformación admisible de tracción en la base de la capa de asfáltica según el método de la Shell es:

$$\xi_{r adm} = (0.856 * V_b + 1.08) E_1^{-0.36} (N/K)^{-0.20}$$

Teniendo en cuenta el criterio de ahuellamiento o deformación se tiene la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante de acuerdo al método utilizado por la Shell el cual se define mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \xi_{z adm} &= 2.8 * 10^{-2} N^{-0.25} & NC = 50\% \\ \xi_{z adm} &= 2.1 * 10^{-2} N^{-0.25} & NC = 85\% \\ \xi_{z adm} &= 1.8 * 10^{-2} N^{-0.25} & NC = 95\% \end{aligned}$$

Por otra parte, el esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante según el criterio de Dórmon – Kerhoven se define:

$$\sigma_{z adm} = \frac{0.007 E_{sub}}{(1 + 0.7 \text{Log}N)}, Kg/cm^2$$

Utilizando también el criterio de la CRR de Bélgica el esfuerzo vertical admisible de compresión es igual a:

$$\sigma_{z adm} = \frac{0.9607 CBR^{1.2}}{N^{0.229}}, Kg/cm^2$$

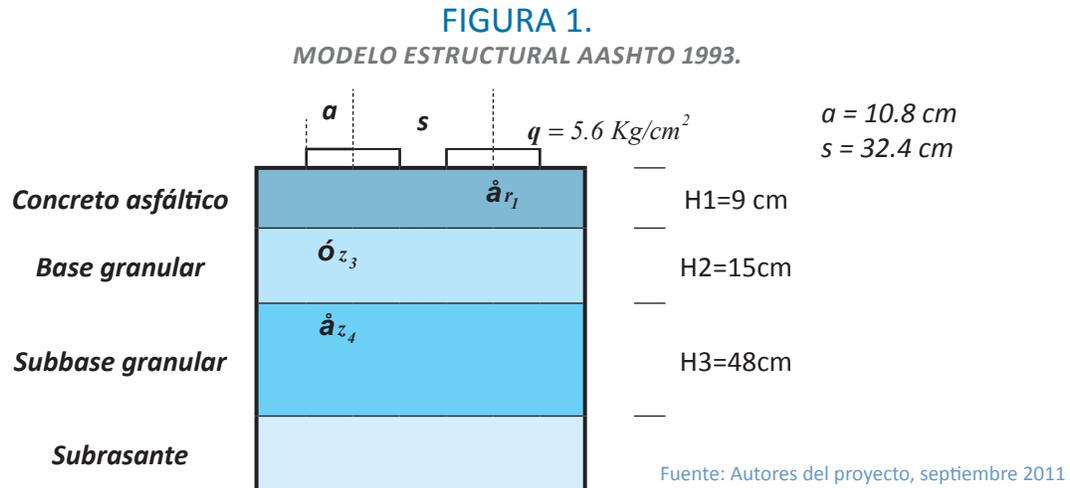
Teniendo en cuenta el criterio de deflexión según Yang H. Huang se tiene:

$$\Delta_{adm} = 26.32202 * N^{-0.2438}, mm$$

## III. RESULTADOS

### A. Diseño de pavimento flexible por el método Aashto 1993

Una vez realizado el diseño del pavimento por el método Aashto 1993 se encontró la siguiente estructura:



**TABLA I**  
**TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURA AASTHO**

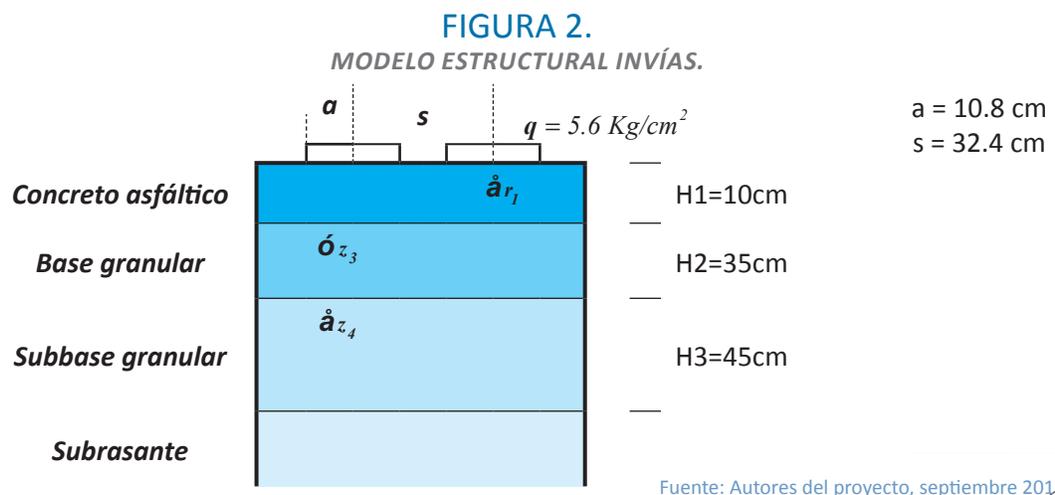
Capa	Parámetro	Valor de servicio	Valor admisible	Vservicio /Vadmisible (%)
Capa asfáltica	$\epsilon_{radm}$	$2,63 \times 10^{-4}$	$2,89 \times 10^{-4}$	91%
Subrasante	$\epsilon_{zadm}$	$3,72 \times 10^{-4}$	$5,28 \times 10^{-4}$	70%
Subrasante	$\sigma_{zadm}$	0,139	0.4342	32%
Subrasante	$\sigma_{zadm}$	0,139	0.141	98.6%
Estructura	$\Delta adm$	0,7273	0.7253	100%

Fuente: Autores del proyecto, septiembre 2011

Se comprobó que la estructura presentada cumple con los criterios de deformaciones y esfuerzos admisibles. Pero algunos criterios no cuentan con reserva mínima del 15%, por lo que es necesario replantear el modelo.

*B. Diseño de pavimentos flexibles por el método del Instituto Nacional de Vías.*

Una vez realizado el diseño del pavimento por el del Instituto Nacional de Vías se encontró la siguiente estructura:



**TABLA II**  
**TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURA INVÍAS**

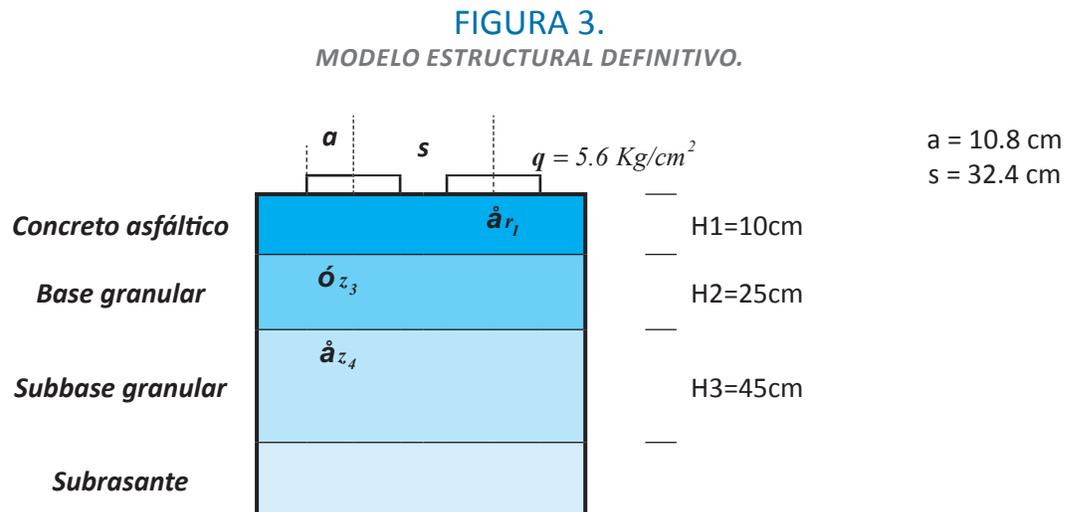
Capa	Parámetro	Valor de servicio	Valor admisible	Vservicio /Vadmisible (%)
Capa asfáltica	$\epsilon_{radm}$	$1,88 \times 10^{-4}$	$2,89 \times 10^{-4}$	65%
Subrasante	$\epsilon_{zadm}$	$2,20 \times 10^{-4}$	$5,28 \times 10^{-4}$	42%
Subrasante	$\sigma_{zadm}$	0,0799	0.4342	18%
Subrasante	$\sigma_{zadm}$	0,0799	0.141	57%
Estructura	$\Delta adm$	0,5422	0.7253	75%

Fuente: Autores del proyecto, septiembre 2011

Se comprobó que la estructura presentada cumple con los criterios de deformaciones y esfuerzos admisibles, además que se tiene un amplio rango de reserva. Esto permitió replantear el modelo disminuyendo espesores.

*C. Evaluación de alternativas de diseño.*

Al hacer varios chequeos se toma la siguiente estructura



Fuente: Autores del proyecto, septiembre 2011

Con ayuda del software Depav se realiza la modelación estructural

**FIGURA 4.**  
**EVALUACIÓN DEPAV ESTRUCTURA FINAL**

Título del Trabajo : <b>DISEÑO VIA CARACOL INUIAS</b>					
Número de Capas : <b>4</b>			Alternativa : <b>1</b>		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
1ª	0.00	2.2900E-04 B	1.5907E+01 B	-1.3900E-04 C	5.5982E+00 A
	10.00	-2.1100E-04 B	-1.1013E+01 B	2.1600E-04 B	1.6417E+00 B
2ª	10.00	-2.1100E-04 B	2.2841E-01 B	5.1800E-04 B	1.6417E+00 B
	35.00	-2.2100E-04 C	-6.1896E-01 C	3.3500E-04 C	4.5377E-01 C
3ª	35.00	-2.2100E-04 C	-7.0665E-02 C	4.5000E-04 C	4.5377E-01 C
	80.00	-1.4800E-04 C	-1.9476E-01 C	2.3600E-04 C	1.0605E-01 C
Deflexión		=	62.070 mm/100		
Radio de Curvatura		=	197.420 m		

Título del Trabajo : <b>DISEÑO VIA CARACOL INUIAS</b>					
Número de Capas : <b>4</b>			Alternativa : <b>1</b>		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
4ª	80.00	-1.4800E-04 C	7.0665E-03 C	2.8600E-04 C	1.0605E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión		=	62.070 mm/100		
Radio de Curvatura		=	197.420 m		

Fuente: Depav. Septiembre 2011

**TABLA III**  
**TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURA FINAL**

Capa	Parametro	Valor de servicio	Valor admisible	Vservicio /Vadmissible (%)
Capa asfáltica	$\epsilon_{radm}$	$2,11 \times 10^{-4}$	$2,89 \times 10^{-4}$	73%
Subrasante	$\epsilon_{zadm}$	$2,86 \times 10^{-4}$	$5,28 \times 10^{-4}$	54%
Subrasante	$\sigma_{zadm}$	0,106	0.4342	24%
Subrasante	$\sigma_{zadm}$	0,106	0.141	75%
Estructura	$\Delta_{adm}$	0,6207	0.7253	85%

Fuente: Autores del proyecto, septiembre 2011

Se comprobó que la estructura presentada cumple con los criterios de deformaciones y esfuerzos admisibles, además que se tiene un rango mínimo de reserva del 15% según lo requerido.

### III. CONCLUSIONES

Analizados cada uno de los factores propios de la región y que interviene directamente en el estado de la red vial del Departamento se pudo definir que la estructura a construir en el tramo estudiado cumple con los valores admisibles de esfuerzos y deformaciones. Se compone de 10 cms. de carpeta asfáltica, 25 cms. de base granular y 45 cms. de subbase granular, por lo cual se espera que haya una vida útil de 20 años mínimo.

De la calidad de la subrasante depende en gran parte el espesor del pavimento. La estructura actual está conformada por una subrasante de media capacidad (CBR de 3.4%) bajo una capa de base conglomerática (grava y finos) con medianas deformaciones, la cual transmite las tensiones presentes de la superficie de rodadura a la subrasante, en consecuencia el espesor de diseño es alto.

De acuerdo a los apiques realizados a lo largo del tramo analizado se puede decir que la subrasante está conformada por arcillas limosas y arcillas de plasticidad media con índice plástico máximo del 10%. No se registró nivel freático, que pueda afectar la estructura planteada. Sin embargo, en época de lluvias se espera una saturación que puede generar deformaciones.

Para el tramo en estudio no es necesaria la construcción de alcantarillas ya que las 21 existentes son suficientes y adecuadas para la funcionalidad de la vía. Por otra parte

se propone la construcción de cunetas en concreto a ambos lados de la vía con lo cual se espera un adecuado manejo de las aguas de escorrentía.

Después del análisis realizado a los materiales de cantera disponibles en la zona se puede concluir que dichos materiales cumplen con la mayoría de las especificaciones del Invías para materiales de este tipo, excepto con el desgaste en la máquina de los Ángeles, por lo que se debe mezclar con materiales que permitan su cumplimiento en este aspecto.

La vía Arauca – Caracol, es una vía de tercer orden cuya composición general del tránsito es cerca del 48% de autos, 4% de buses y 48% de camiones, con un tránsito promedio diario de 127 vehículos. Lo anterior indica que aunque es bajo el TPD el % de camiones es alto y afecta notablemente la estructura vial.

Los análisis y conclusiones indicados en este informe se basan en las observaciones de campo, exploración del suelo a nivel puntual y resultados de laboratorio obtenidos de las muestras ensayadas, por lo que cualquier cambio en las condiciones del subsuelo no previstas en el presente documento deben ser informadas al diseñador de la estructura del pavimento y obras de arte complementarias para establecer los correctivos o procedimientos del caso.

Los métodos constructivos así como las especificaciones técnicas que deben cumplir las capas de pavimento a conformar son las que corresponden a la normatividad del Instituto Nacional de Vías Invías.

La zona a intervenir corresponde a un sector con problemas de orden público lo cual limitó la ejecución de las pruebas y trabajos necesarios para el desarrollo de los cálculos.

#### IV. REFERENCIAS

Higuera C. (2007). Manual práctico para la utilización del programa Bisar 3.0 y Depav para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones en estructuras de pavimento. Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Higuera C. (2009). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de Pavimentos para carreteras - Volumen 1. Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Higuera C. (2009). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de Pavimentos para carreteras - Volumen 2. Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Instituto Nacional de Vías (2007). Especificaciones generales de construcción de Carreteras. Bogotá.

Montejo A (2008). Ingeniería de Pavimentos, Bogotá: Panamericana

Sanchez F. (1984). Pavimentos: fundamentos teóricos. Bogotá.

