

DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE IMPLEMENTANDO UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE EN EL K0+000 – K5+082 EN LA VEREDA LA ZURIA, MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO-META

DESIGN OF A FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURE IMPLEMENTING A DOUBLE SUPERFICIAL TREATMENT IN THE K0 000 – K5 082 ON THE LA ZURIA VEREDA, MUNICIPALITY OF VILLAVICENCIO-META

Cristian Leonel Galeano García

Estudiante de la facultad de Ingeniería Civil, código 2193654, cristiangualeano@usantotomas.edu.co

Resumen: La vía de estudio en la vereda la Zuría ubicada en el municipio de Villavicencio del departamento del Meta, conecta el barrio La Madrid con el Corredor Ecológico, se encuentra en mal estado por los agentes del intemperismo, por lo cual esta vía requiere una alternativa de mejoramiento, que comprenda un diseño de pavimento viable. Esto, mediante un tratamiento superficial doble, se logre establecer la mejor alternativa, en materia de costos, eficacia y durabilidad; importante para el servicio esperado de una vía. De modo que, esta vía tenga un eficaz funcionamiento, contribuyendo al desarrollo socioeconómico del sector rural.

Palabras clave: Subrasante, tránsito, clima, pavimento, seguridad.

Abstract: The study route on the La Zuría vereda located in the municipality of Villavicencio of the department of Meta, connects the La Madrid neighborhood with the Ecological Corridor, is in bad condition by the agents of the intemperism, so this route requires an alternative of improvement, understand a viable pavement design. This, through a double surface treatment, will be achieved the best alternative, in terms of costs, effectiveness and durability; important for the expected service of a route. So this path will work effectively, contributing to the socio-economic development of the rural sector.

Keywords: Subgrade, transit, climate, pavement, security.

1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial en Colombia enfrenta día a día nuevos desafíos y está en un proceso de desarrollo con respecto a la implementación de nuevas tecnologías como solución de los problemas de movilidad que presenta el país, esto quiere decir que, Colombia sigue atrasada a nivel de conectividad vial.

El 67% de la red vial del país corresponden a las vías terciarias, [2] de las cuales, un gran porcentaje presenta fallas relacionadas con el deterioro de la vía, de aquí la importancia de generar soluciones óptimas, como lo es el tratamiento superficial doble como mejoramiento de la infraestructura vial de la zona.

La alternativa que se propone es el mejoramiento de la vía existente, la cual va desde K0+000 (cruce Corredor Ecológico) hasta el K5+082 (cruce sector barrio La Madrid) en la vereda La Zuria del municipio de Villavicencio, en el departamento del Meta; mediante la implementación de un tratamiento superficial doble; que consiste en la aplicación estratificada y compactada de un producto bituminoso y agregado pétreo, que garantiza la impermeabilización y estabilización de la capa de rodadura, esto de manera separada dependiendo el número de capas que se apliquen, que, para este caso serán dos capas de riego que se aplicarán, el cual está descrito y normalizado por el INVIAS en el capítulo 4 – pavimentos asfálticos, artículo 431 – 13. [3]

1. DESARROLLO

2.1 Descripción de la problemática existente

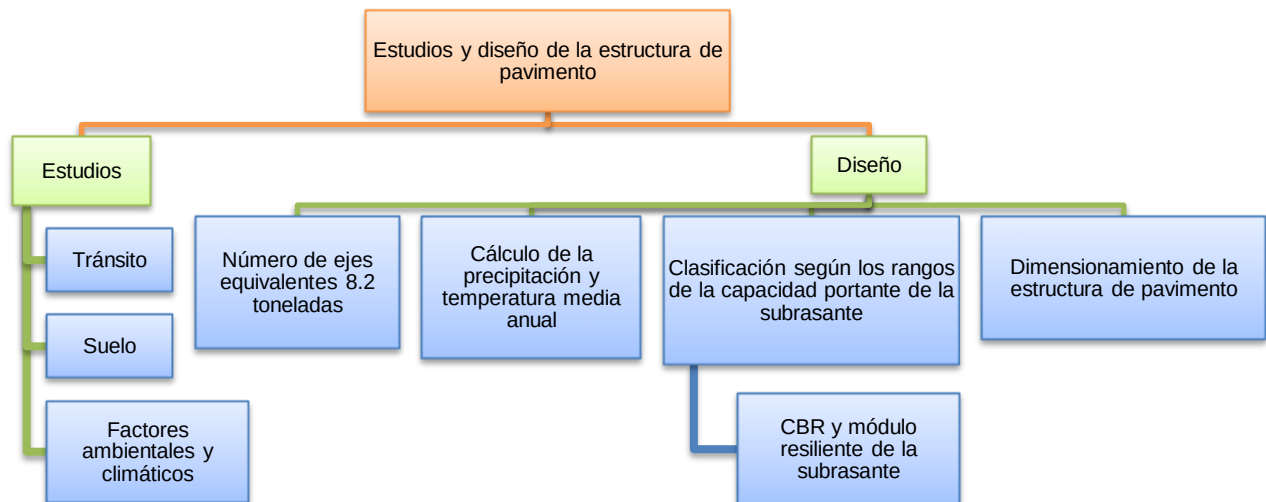
El mal estado de la vía ubicada en la vereda La Zuria, la cual comunica el corredor ecológico, desde el K0+000 al K5+082 con el barrio la Madrid que se encuentra en la comuna 8 del municipio de Villavicencio, en el departamento del Meta, afecta el desarrollo socio-económico integral de los habitantes de esta zona rural, dado que en ese sector, se encuentra un importante porcentaje del sector minero y agroindustrial de Villavicencio, como lo indica el estudio de análisis del sector para las obras de infraestructura que adelanta la Agencia para la Infraestructura del Meta - AIM, del cual se obtiene un análisis económico de la zona estudiada específicamente del sector Las Mercedes – Barcelona, [4] y se identifican las industrias existentes que laboran actualmente.

En épocas de lluvia el tránsito es continuamente restringido para las personas que viven en la vereda, y vehículos que conforman el TPD de esta zona, como las motos, automóviles y camiones, ya que mecánicamente el suelo y como tal la vía no cuenta con las características óptimas para resistir el impacto del ambiente y principalmente del agua el cual ocasiona daños considerables al terreno como la erosión. Adicionalmente, la continua aplicación de cargas de los vehículos que transitan termina por deteriorar por completo la superficie de rodadura.

2.2 Metodología de estudios y diseños de la estructura de pavimento

Como se presenta en la Figura 1, se establece la siguiente metodología con base en los estudios de la subrasante, del tránsito, y los factores ambientales y climáticos, que conlleva a la finalidad del diseño de la estructura de pavimento. Esta metodología AASHTO-93 se establece mediante el programa PAV-NT1, teniendo en cuenta los parámetros de diseño se designa cada uno de los valores previamente obtenidos al software.

FIGURA 1. METODOLOGÍA DE ESTUDIOS Y DISEÑO.



Fuente: Autor.

2.3 Fase 1. Estudios previos al diseño de la estructura

Basado en las etapas de la metodología propuesta se dispone a evaluar los parámetros y los métodos necesarios para el diseño de la estructura de pavimento a implementar en la zona de estudio.

Inicialmente se procede a realizar encuestas que permitirán el análisis e interpretación de los problemas de movilidad en el tramo de vía a la cual se le realizara el mejoramiento y sus alrededores. La información e indicadores que se obtenga servirán para determinar las brechas de necesidades y el impacto generado antes y después de la realización del proyecto.

Seguidamente Para calcular el número de ejes equivalentes o tránsito de diseño, es necesario realizar el aforo vehicular durante tres días de la semana, de los cuales dos son días hábiles y uno no hábil. Una vez determinado el tránsito promedio diario se procede a calcular el número de ejes equivalentes (1).

$$N_{8.2} = TPD \times 365 \times \frac{k_1}{100} \times \frac{k_2}{100} \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \times FC \quad (1)$$

Se requiere el uso del factor camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto con el fin de obtener el porcentaje de la tasa anual de crecimiento vehicular, que se usará y el período de diseño de la estructura de pavimento, lo que nos da el factor de crecimiento de tránsito.

Se analizarán los apiques encontrados en el estudio de suelos realizados por la empresa W & H INGENIERÍA S.A.S. y proporcionado por la AIM (Agencia de Infraestructura del Meta), con el fin de obtener datos de granulometría, límite líquido, límite plástico, composición y otras características. Conociendo las propiedades se podrá determinar la capacidad portante que presenta el suelo y así determinar el mejoramiento que se debe realizar.

Como último se consultará la información existente a la fecha de las estaciones climatológicas cercanas a la zona de estudio mediante el programa "CLIMA" esto con el fin de obtener las condiciones particulares de la temperatura y precipitación anual promedio durante los últimos 10 años, para así determinar los factores climatológicos en el diseño de la estructura de pavimento.

2.4 Fase 2. Diseño de la estructura

Basados en los requerimientos propuestos en la Fase 1, se procedió a realizar las actividades necesarias para obtener los parámetros para el diseño de la estructura de pavimento teniendo en cuenta el procedimiento que propone la AASHTO 1993, que son calculadas por el software PAV-NT1 teniendo en cuenta el siguiente algoritmo:

$$\log N_{80KN} = Z_r \times S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \log M_r - 8.07 \quad (2)$$

Donde:

N_{80KN} : Número acumulado de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño.

Z_r, S_o : Parámetros de confiabilidad.

SN : Número estructural.

ΔPSI : Índice de serviciabilidad.

M_r : Módulo resiliente de la subrasante (psi).

3. RESULTADOS

3.1 Tránsito

De acuerdo a los datos de campo, en la tabla I, se obtuvo el tránsito promedio diario por tipo de vehículo. Correspondiente de tipo A (automóviles), tipo B (Buses) y de tipo C (Camiones). Realizando el análisis y los cálculos correspondientes con toda la información obtenida de los aforos realizados se obtuvo el siguiente valor del tránsito promedio semanal (TPDs) de 406 Veh/día, para proyectar a un periodo de diseño de 10 años.

TABLA I
TRANSITO PROMEDIO DIARIO TPD POR TIPO DE VEHICULO

Resumen									
Fecha	Automóvil	Microbús	Buseta	Bus intermunicipal	C2P	C2G		C3	
					Camión	Camión	Volqueta	Camión	Volqueta
Martes 24 de septiembre de 2019	333	12	8	1	35	22	4	0	1
Jueves 26 de septiembre de 2019	363	11	9	1	33	19	5	2	2
Sábado 28 de septiembre de 2019	289	10	7	1	29	15	3	1	1
Total	985	33	24	3	97	56	12	3	4
TPD	328.33	11	8	1	32	18.67	4	1	1.33
TPDs	406								
Composición vehicular (%)	80.87	2.71	1.97	0.25	7.96	4.6	0.99	0.25	0.33

Fuente: Autor.

3.2 Factores ambientales y climáticos

Mediante la utilización del software CLIMA, fueron obtenidos los datos totales diarios de precipitación y de temperatura de 27 estaciones cercanas o ubicadas en el municipio de Villavicencio con una serie histórica de los últimos 10 años que comprenden desde el año 2007 al 2016. Con datos registrados y suministrados por el IDEAM, con el fin de determinar los factores climatológicos en el diseño de la estructura de pavimento.

3.2.1 Temperatura

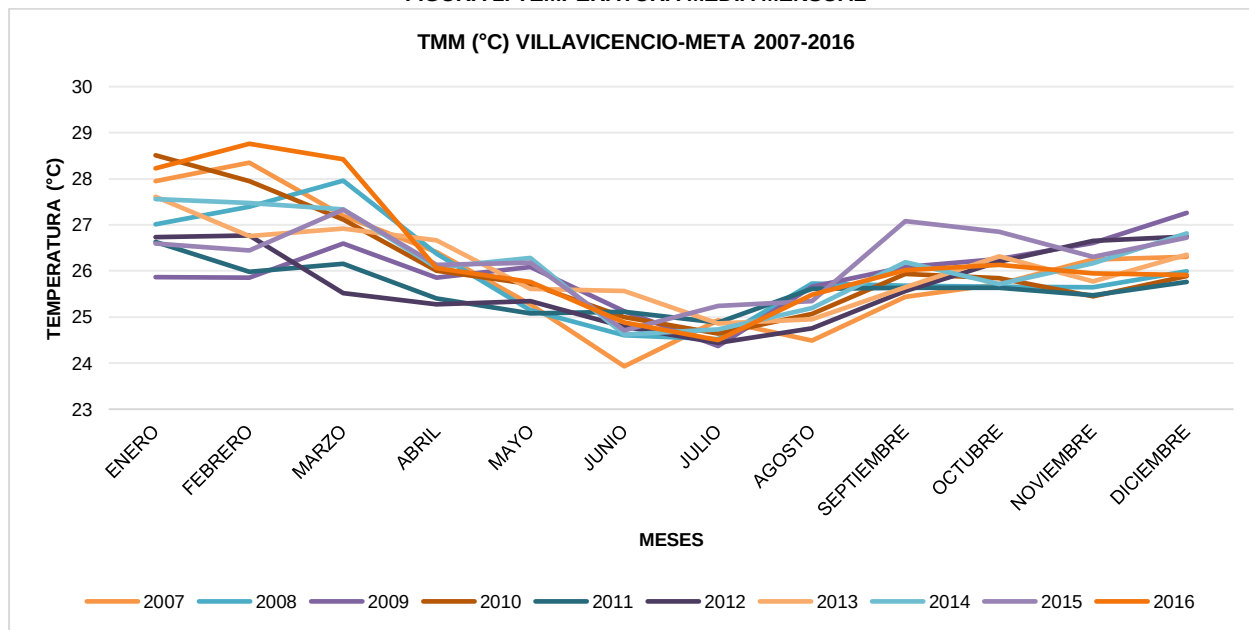
Mediante el software CLIMA, fueron obtenidos los datos de temperatura, como se muestra en la tabla II, temperatura media mensual de 10 años atrás del municipio de Villavicencio, departamento del Meta.

TABLA III
DATOS DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

DATOS DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE 10 AÑOS DE VILAVICENCIO - META												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2007	27.95	28.35	27.2	26.41	25.27	23.93	24.93	24.49	25.44	25.71	26.25	26.3
2008	27.01	27.39	27.96	26.37	25.15	24.61	24.52	25.73	25.68	25.66	25.65	25.99
2009	25.87	25.85	26.6	25.86	26.09	25.13	24.37	25.66	26.09	26.26	26.61	27.26
2010	28.51	27.95	27.12	26.01	25.72	25	24.64	25.07	25.94	25.84	25.45	25.89
2011	26.63	25.98	26.16	25.4	25.08	25.11	24.88	25.61	25.64	25.64	25.47	25.76
2012	26.73	26.77	25.52	25.27	25.34	24.79	24.44	24.76	25.56	26.2	26.65	26.75
2013	27.61	26.76	26.92	26.67	25.61	25.56	24.86	24.95	25.65	26.32	25.77	26.35
2014	27.56	27.48	27.34	26.08	26.28	24.62	24.73	25.2	26.19	25.71	26.17	26.82
2015	26.59	26.45	27.33	26.13	26.18	24.71	25.24	25.35	27.08	26.85	26.3	26.72
2016	28.23	28.76	28.42	26.06	25.76	24.88	24.5	25.48	26.02	26.13	25.95	25.91

Fuente: Software Clima, IDEAM.

FIGURA 2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL



Fuente: Autor.

Se evidencia en la Figura 2, que la temperatura media mensual de los últimos 10 años con datos registrados en el programa CLIMA, nos da una temperatura media anual de 26 °C. Cabe resaltar que en los últimos 3 años no se encuentran datos completos, por ende se opta 10 años atrás con los datos registrados en el año 2007 al 2016.

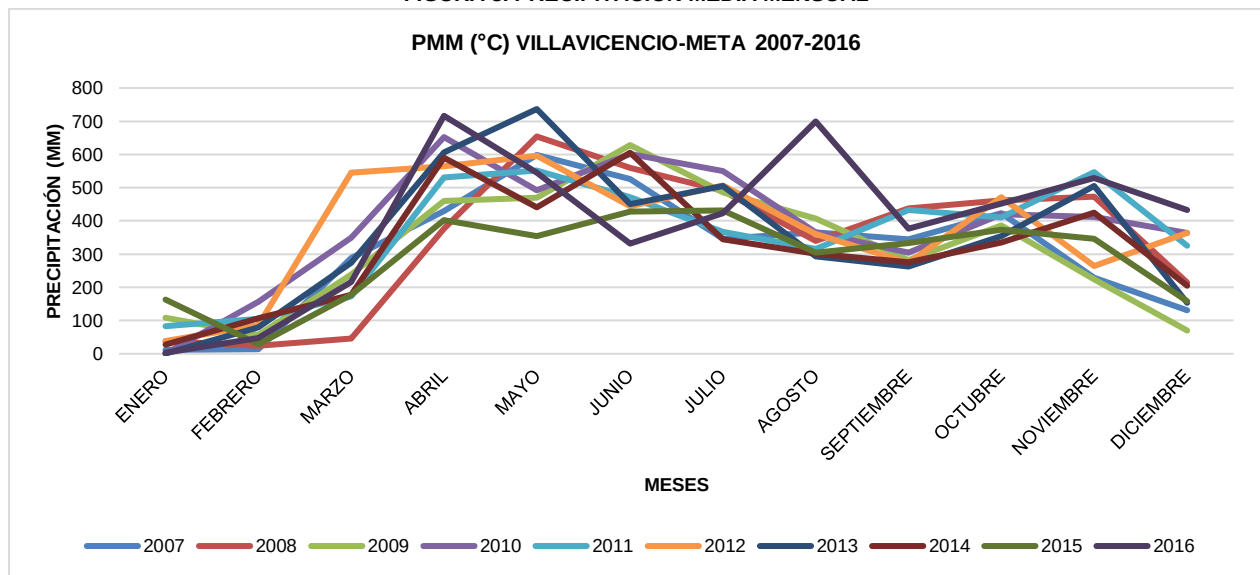
3.2.2 Precipitación

TABLA IIIII
DATOS DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (2007-2016) VILAVICENCIO - META												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2007	11.9	13.17	288.57	428.82	598.46	525.4	346.76	365.33	344.84	422.77	229.61	131.31
2008	38.27	24.24	45.39	376.2	654.03	559.16	490.28	340.14	437.97	461.24	472.48	215.06
2009	108.3	56.85	238.66	460.14	469.11	628.11	486.02	407.34	281.92	386.82	224.48	70.08
2010	0.42	157.06	349.55	652.1	492.18	601.27	550.69	364.6	303.97	419.49	411.49	363.91
2011	83.09	105.81	172.51	530.98	551.49	470.92	367.54	314.84	432.22	411.06	546.78	325.51
2012	38.55	86.72	545.81	563.77	596.17	444.44	507.03	359.94	274.62	471.73	264.26	364.17
2013	0.76	79.27	274.55	605.7	736.64	451.01	505.24	293.22	262.67	354.06	505.48	152.84
2014	27.7	106.79	177.46	590.11	441.43	605.17	345.08	301.97	276.22	334.49	424.2	204.14
2015	163.66	28.8	177.62	402.71	354.47	428.17	431.48	304.83	333.08	373.94	345.49	159.1
2016	3.47	48.21	216.47	716.27	545.63	330.91	423.81	698.71	376.48	451.94	529.79	432.17

Fuente: Software Clima, IDEAM.

FIGURA 3. PRECIPITACION MEDIA MENSUAL



Fuente: Autor.

3.3 Estudio de suelos

Se analizaron los apiques realizados en el estudio de suelos por la empresa W & H INGENIERÍA S.A.S. y proporcionado por la AIM (Agencia de Infraestructura del Meta), para el mejoramiento de la vía Las Mercedes–Barcelona, estudio que beneficia la obtención de información de la caracterización del suelo y así mismo la obtención de los valores del CBR presente en la zona.

En la tabla IV, se muestran los valores de los ensayos del CBR, el cual se evidencia la clasificación del suelo de la vía de estudio, en su mayoría como arcilla de baja plasticidad (CL).

TABLA IV
Parámetros del suelo de la vía de estudio

Apique	Longitud	Latitud	Límite Líquido	Límite Plástico	IP	Humedad Natural	CBR 0.1"	USC
10	4°3'52.54"N	73°37'43.37"O	39.09	18.47	20.62	23.6	8.14	CL
11	4°3'48.51"N	73°37'59.81"O	38.96	16.65	20.31	23.5	8.29	CL
12	4°3'47.45"N	73°38'39.97"O	38.25	19.32	18.93	23.1	8.41	CL
13	4°3'42.46"N	73°38'59.28"O	41.75	19.46	22.29	20.1	7.37	CL
14	4°3'42.46"N	73°38'59.28"O	36.91	19.51	17.4	23.7	7.68	CL
15	4°3'38.62"N	73°39'13.19"O	48.6	23.81	24.74	22.6	7.75	CL
16	4°3'35.66"N	73°39'22.44"O	37.47	18.25	18.22	23.2	6.66	CL
17	4°3'32.82"N	73°39'34.06"O	32.12	19.43	12.69	24.7	7.07	CL
18	4°3'28.13"N	73°39'45.65"O	39.22	18.28	20.94	23.5	7.37	CL

Fuente: Autor.

3.3.1. Determinación del CBR de diseño

El CBR de diseño se calculó mediante la metodología INA (Instituto Nacional del Asfalto), el cual se determina el percentil de la capacidad portante a utilizar. En la tabla 8.4 se designa el valor de diseño en porcentaje según el nivel de tránsito.

Tabla V
VALOR DE DISEÑO SEGÚN EL NIVEL DE TRÁNSITO

Clase	Nivel tránsito	% Valor diseño
Liviano	10 ⁴ o menos	60%
Medio	10 ⁴ – 10 ⁶	75%
Pesado	Mayor a 10 ⁶	87,5%

Fuente: Autor.

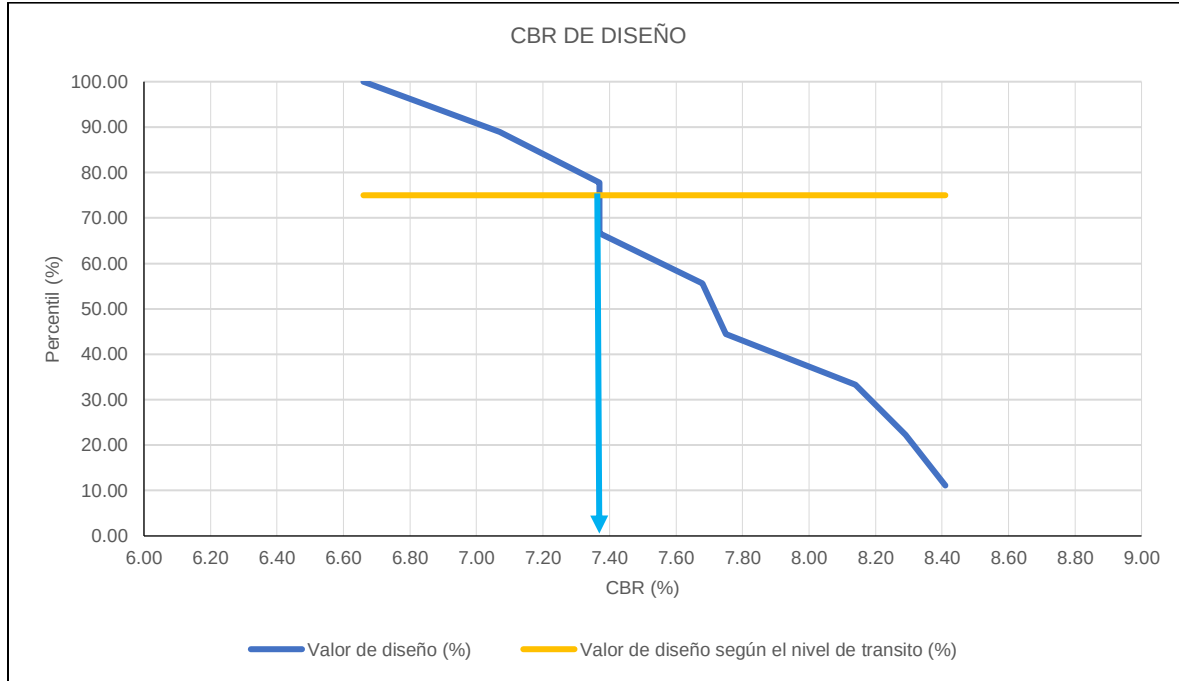
En la tabla 8.5, se muestra la aplicación del método INA, donde los valores de CBR están ordenados de forma ascendente, y se evidencia que a partir de los resultados se obtuvo la gráfica de la figura 8.8, que nos indica la determinación del CBR de diseño por medio de los valores de los porcentajes de frecuencia, es decir, los valores de diseño respecto al CBR.

TABLA VI
MÉTODO INA

Apique	CBR %	Mayores o iguales a cada valor	Frecuencia
16	6.66	9	100.00%
17	7.07	8	88.89%
13	7.37	7	77.78%
18	7.37	6	66.67%
14	7.68	5	55.56%
15	7.75	4	44.44%
10	8.14	3	33.33%
11	8.29	2	22.22%
12	8.41	1	11.11%
CBR de diseño (%)		7.37	

Fuente: Autor.

FIGURA 4. DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO



Fuente: Autor.

De acuerdo a lo anterior, el valor de diseño es del 75% según el nivel de tránsito esperado, por lo tanto, el CBR de diseño a emplear es de 7.37%.

3.4 Diseño de la estructura de pavimento

Basados en los resultados anteriores de los parámetros de diseño, se procedió a realizar las actividades pertinentes para obtener los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de pavimento implementando un tratamiento superficial doble.

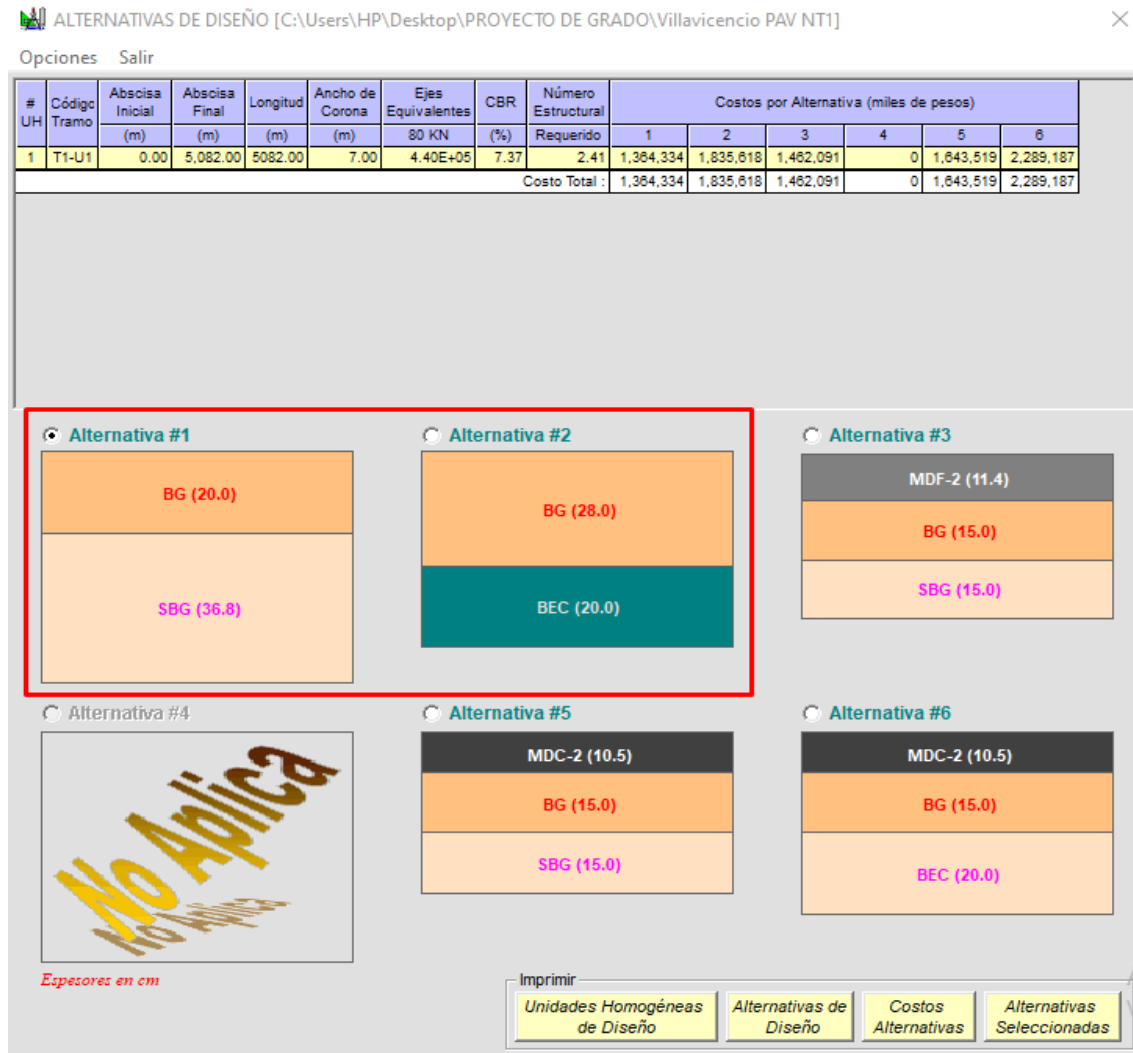
Estos parámetros son los resultados obtenidos del estudio de tránsito realizado los días lunes, miércoles y sábado, mediante el aforo vehicular desarrollado en un punto estratégico del tramo de vía estudiado, dando como resultado un número de ejes equivalentes de 8.2 ton de 4.4×10^5 , lo cual corresponde a un nivel de tránsito bajo (NT1), de la subcategoría T2. También las condiciones de temperatura (TMAP) y precipitación promedio anual, los cuales son datos de los últimos 10 años de las estaciones del IDEAM obtenidos y procesados en el software CLIMA, evidenciando una región climática R6, cálido muy húmedo. Por otro lado, teniendo en cuenta el estudio geotécnico, el suelo existente es un material de río en su mayoría contaminado por limos y arcillas, por lo cual las alternativas escogidas de acuerdo con el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, del INVIAS son aquellas en donde no existe o no es posible utilizar el afirmado existente:

Alternativa 1: TSD + BG + SBG

Alternativa 2: TSD + BG + BEC

A continuación, se presentan las alternativas de diseño proporcionado por el programa PAV-NT1, con unidades homogéneas de diseño, alternativas de diseño seleccionadas, el costo total por alternativa.

FIGURA 4. VENTANA SOFTWARE PAV-NT1



Fuente: Autor.

FIGURA 5. ESPESORES DE LA BASE Y SUBBASE GRANULAR (PAV-NT1)



Fuente: Autor.

Las dos alternativas de las estructuras seleccionadas del pavimento flexible, implementado con un tratamiento superficial doble, cuentan con un espesor en la capa de rodadura de 3 cm. Las capas subyacentes de la alternativa número 1, de base granular (BG) de 20 cm y subbase granular (SBG) de 36.8 cm. Y la alternativa número 2, presenta una base granular (BG) de 28 cm y subbase estabilizada con cemento (BEC) de 20 cm.

4. CONCLUSIONES

En la inspección de campo se evidenció fallas pronunciadas que generan inseguridad en la vía, y resultan agobiadas para el tránsito de la zona de estudio, lo cual se planteó una alternativa con tratamiento superficial doble, una alternativa distinta a la planteada por la Agencia de Infraestructura del Meta, con mayor confiabilidad, eficiencia y durabilidad en comparación con otros diseños, lo cual proporciona una rugosidad que evita el deslizamiento longitudinal y transversal de los vehículos, prolongando su vida útil.

Realizado el aforo vehicular, se evidencia que la zona de estudio nos muestra la necesidad de la comunidad tanto de la zona rural (habitantes de la vereda La Zuria) como de la zona urbana (Barrio La Madrid), para llegar a sus destinos, se promueven realizar alternativas que mejoren y cumplan con las necesidades de los implicados. Igualmente, la vía de estudio se identificó con bajos volúmenes de tránsito (NT1).

De acuerdo al estudio geotécnico, no es posible utilizar el afirmado del suelo, ya que cuenta con un material de río y en su mayoría se encuentra contaminado por limos y arcillas.

En el estudio climático se presentaron alteraciones de la temperatura y precipitación, en el municipio de Villavicencio, el cual varía de $\pm 27^{\circ}\text{C}$ su temperatura en el primer trimestre del año y su precipitación llega a los niveles más altos en los meses de abril y mayo. También, cabe resaltar que en los últimos 3 años los datos no se encuentran completamente registrados, por eso, se opta 10 años atrás con datos registrados en el año 2007 hasta el 2016. Siendo una categoría de región (R6) cálido muy húmedo.

Se presentaron dos alternativas de diseños seleccionados por medio del Software PAV-NT1, que diferencia la capa superpuesta de la subrasante, como alternativa 1, una subbase granular (SBG) de 37 cm; y la alternativa 2, una base estabilizada con cemento (BEC) de 20 cm.

REFERENCIAS

- [1] World Economic Forum, «The Global Competitiveness Report,» 16 Octubre 2018. [En línea]. Available: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>.
- [2] E. Correa Valderrama, «EL rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país,» Universidad de los Andes, 2017. [En línea]. Available: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/943/1125>.
- [3] INVIAS, «Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras,» 15 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>.