ESTRUCTURA PAVIMENTO FLEXIBLE

CARRERA 18A ENTRE LA CALLE 67 Y LA CALLE 69, BARRIO AMBALA COMUNA 6 DEL MUNICIPIO DE IBAGUE

DISEÑO
SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA MUNICIPAL DE IBAGUE

RESPONSABLE
INGENIERO CIVIL JOSE HERNAN RIOS RIAÑO
ESPECIALISTA EN DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

REVISÓ

ING CIVIL. MARCO MATHEUS SAAVEDRA
SECRETARIO INFRAESTRUCTURA

ING. CIVIL. GILBERTO LOZANO PÉREZ
DIRECCION TÉCNICO SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

ING. CIVIL FREDY ANDRES RINCON POLANIA
DIRECCION OPERATIVA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

AÑO 2025

CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES 4
LISTA DE TABLAS 5
1. INTRODUCCION 6
2. ANTECEDENTES 8
3. METODOLOGIA 9
4. OBJETIVOS 11
4.1 Objetivo general 11
4.2 Objetivos específicos 11
5. GENERALIDADES 12
5.1 Localización: 12
6. VARIABLES DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO 16
6.1 Tránsito 16
6.2 Geología y geomorfología del sector de estudio 19
6.3 Geotecnia 19
6.4 Suelos 19
6.4.1 Subrasante 19
6.4.2 Características de los materiales 20
6.5 Climatología: 21
6.6 Parámetros o Variables de diseño 26
6.7 Tránsito 28
6.7.1 Periodo de diseño 30
6.8 Subrasante 30
6.9 Factor de confiabilidad (R) 30
6.10 Desviación estándar normal (Zr) 31
6.11 Desviación estándar combinado (So) 31
6.12 Diferencia entre los índices de servicio inicial y final 32
6.13 Características de los materiales de pavimento 32
6.14 Coeficientes de diseño 32
6.15 Coeficientes de drenaje 32
6.16 Coeficientes estructurales 33
6.16.1 Coeficiente carpeta asfáltica 34

6.16.2 Coeficiente base granular 35
6.16.3 Coeficiente subbase granular 36
6.17 Cálculo espesores de las capas Di 37
6.17.1 Cálculo espesor capa asfáltica D1 37
6.17.2 Cálculo espesor base granular D2 38
6.17.3 Cálculo espesor subbase granular D2 38
6.18 Diseño de estructura de pavimento usando hoja de cálculo método Aastho 93 39
6.18.1 Diseño de estructura de pavimento usando hoja de cálculo método Aashto 93 (estructura recomendada bicapa) 39
6.18.2 Tabla calculo estructura método Aastho 93 41
7. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO USANDO SOFTWARE WINDEPAV 2.6 MÉTODO RACIONAL 42
7.1 Parámetros elásticos de los materiales 42
7.1.1 Subrasante (mejoramiento) 42
7.1.2 Base 42
7.1.3 Carpeta asfáltica 42
7.1.4 Estimación de la relación de poisson 42
7.1.5 Tabla calculo estructura método racional 42
7.2 Tabla calculo estructura método racional solución 44
7.3 Parámetros elásticos de los materiales 44
7.3.1 Subrasante (mejoramiento) 44
7.3.2 Base 44
7.3.3 Carpeta asfáltica 44
7.3.4 Estimación de la relación de poisson 44

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Localización general de la vía a intervenir en la comuna 6 12
Ilustración 2: Nomenclatura vial (plan de ordenamiento territorial) carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6..... 13
Ilustración 3: Carrera 18A entre la calle 67 del barrio Ambala de la comuna 6 14
Ilustración 4: Clasificación de vehículos según el número de ejes en Colombia 18
Ilustración 5: Valore totales mensuales de precipitación (mm) est.co perales hato opia ... 21
Ilustración 6:Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm) est co. Perales hato opia 22
Ilustración 7: Valores N° días mensuales de precipitación (mm) est co. Perales hato opia 23
Ilustración 8: Valores medios mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia 24
Ilustración 9: Valores máximos mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia25
Ilustración 10: Valores mínimos mensuales de temperatura (°c) est co. perales hato opia25
Ilustración 11: Esquema diferentes capas para determinar el SN método AASHTO 27
Ilustración 12 Calculo del tránsito carrera 18A ENTRE LA CALLE 67 Y LA CALLE 69..... 29
Ilustración 13: Nomograma de coeficiente estructural de la capa asfaltica 35
Ilustración 14: Nomograma capa de base granular..... 36
Ilustración 15: Nomograma para subbase granular 37
Ilustración 16: Estructura diseñada método Aastho..... 41
Ilustración 17: Graficas 46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: valores totales mensuales de precipitación (mm), est.co perales hato opia 21
Tabla 2: valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm) est.co. perales hato opia 22
Tabla 3: valores N° días mensuales de precipitación (mm) est co. Perales hato opia 22
Tabla 4: valores medios mensuales de temperatura (°C) est co. Hato opia 23
Tabla 5: valores máximos mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia 24
Tabla 6: valores mínimos mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia 24
Tabla 7: niveles de tránsito 28
Tabla 8: niveles de confiabilidad sugeridos por la AASHTO 30
Tabla 9: VALORES DE DESVIACION ESTÁNDAR NORMAL 31
Tabla 10: Error normal combinado para pavimentos flexibles, So 31
Tabla 11: definición de las condiciones de drenaje según M. AASHTO 33
Tabla 12 Coeficiente de drenaje (Mi) 33
Tabla 13: CBR norma invias según clase de materiales de base y subbase 35

1. INTRODUCCION

Dentro del plan de desarrollo estructurado por la alcaldía municipal “Ibagué para todos 2024-2027” que se fundamenta en siete Acuerdos del programa de gobierno como los pilares determinantes a seguir en la hoja de ruta para el presente periodo constitucional. Buscando la construcción de una Ibagué planeada, organizada, accesible, inteligente, con servicios de calidad, respetuosa de los espacios públicos, con uso de recursos del territorio de manera consciente y ambientalmente sostenible, donde tanto el área urbana como la rural converjan de manera interrelacionada e interdependiente, en su ”, Acuerdo por una ciudad organizada y proyectada al futuro deja en el sector transporte el programa 2402 RUTA PROGRESO estrategias de estudios para la movilización y el crecimiento de todos y entre ellas la de una Ibagué pavimentada, rápida y segura manteniendo y fortaleciendo proyectos para la construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de la malla vial de la ciudad, priorizando el mejoramiento de la malla vial de manera responsable priorizando las deficiencias y el cumplimiento de las acciones populares

Para poder proyectar una ciudad organizada y proyectada al futuro se requiere mejorar el estado de infraestructura vial del municipio de Ibagué toda vez que esta incide en gran medida en su nivel de desarrollo, puesto que al tener vías en buen estado se mejora la transitabilidad, costos de operación, la calidad de vida y las comunicaciones y transporte en general, es por ello, que en primer lugar, deben realizarse diseños de estructuras de pavimentos que cumplan con las solicitaciones requeridas para determinada vía, con un costo razonable (justificación económica que se debe realizar para poder ejecutar la oportuna intervención con una óptima inversión presupuestal), y garantizando un aceptable índice de serviciabilidad durante la vida de servicio estimada.

La entidad municipal ha a través de la secretaria de infraestructura a concentrado sus esfuerzos en construir, rehabilitar y conservar las vías de la red urbana mejorando la infraestructura del transporte que son la base de desarrollo económico de la ciudad. La conservación y mantenimiento de estas vías ha consistido en conformar unas estructuras de pavimento de primera calidad. Dando soluciones duraderas y eficaces que disminuyan los costos de operación vehicular y agilicen la comunicación entre todos los habitantes de Ibagué

Dentro de estas soluciones se pretende diseñar:

- Estructuras de pavimentos funcionales, económicas y seguras.
- Reducir y distribuir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito, de

manera que no causen daño a la subrasante.

- Proporcionar comunicación vehicular
- Proporcionar una superficie de rodamiento segura, y confortable sin excesivo desgaste.
- Mejorar la movilidad del casco urbano.
- Satisfacer los requerimientos ambientales y estéticos.
- Limitar el ruido y la polución del aire.
- Brindar una razonable economía.

2. ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta que el estado de la malla vial urbana en Ibagué es una preocupación significativa para los residentes, respaldada por datos oficiales reveladores. Según el Inventario Vial de la Secretaría de Infraestructura del año 2020, aproximadamente el 30% de la malla vial de la ciudad se encuentra en mal estado. Este diagnóstico se refuerza con el Plan Maestro de Movilidad de la Alcaldía Municipal de Ibagué y FINDETER S.A, que indica que el 36.77% de la malla vial con pavimento flexible y el 51.71% con pavimento rígido están en condiciones regulares o malas.

Esto ha generado congestión vial, mayores tiempos de desplazamiento, altos costos en mantenimiento vehicular, dificultad para acceder oportunamente a servicios básicos, aumento de incidentes y accidentes de tránsito, problemas de orden público, y una disminución en los índices de competitividad y productividad de la ciudad, entre otros.

Dentro del plan de desarrollo estructurado por la alcaldía municipal “Ibagué para todos 2024-2027” que se fundamenta en siete Acuerdos del programa de gobierno como los pilares determinantes a seguir en la hoja de ruta para el presente periodo constitucional. Buscando la construcción de una Ibagué planeada, organizada, accesible, inteligente, con servicios de calidad, respetuosa de los espacios públicos, con uso de recursos del territorio de manera consciente y ambientalmente sostenible, donde tanto el área urbana como la rural converjan de manera interrelacionada e interdependiente, en su ”, Acuerdo por una ciudad organizada y proyectada al futuro deja en el sector transporte el programa 2402 RUTA PROGRESO estrategias de estudios para la movilización y el crecimiento de todos y entre ellas la de una Ibagué pavimentada, rápida y segura manteniendo y fortaleciendo proyectos para la construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de la malla vial de la ciudad, priorizando el mejoramiento de la malla vial de manera responsable priorizando las deficiencias y el cumplimiento de las acciones populares

3. METODOLOGIA

El desarrollo del diseño de estructuras de pavimentos proyectados en la malla vial del casco urbano del municipio de Ibagué, parte del conocimiento actual en el cual se encuentran las superficies de rodadura, lo cual exige que su adecuación y mantenimiento presenten una secuencia de elementos o criterios de evaluación a fin de que permitan establecer soluciones acorde a las necesidades de la Ciudad y que cumplan técnicamente con los requerimientos normativos aplicables a este tipo de diseños, por cuanto para lograr este fin, se ha propuesto una serie de etapas o fases del diseño bajo las cuales se alcance el objetivo proyectado.

Fase I: Con el reconocimiento de campo de la malla vial de la comuna 6 del casco urbano del municipio de Ibagué se logró identificar mediante una inspección visual el estado actual y el trazado existente de la carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6, que debe ser mejorada y/o rehabilitada a fin de suplir las necesidades de la Comunidad, esta visita permite de manera preliminar evaluar la necesidad de proyectar una estructura de pavimento nueva.

El reconocimiento de campo permite evaluar y dimensionar las condiciones actuales de la vía y comparar las misma con el escenario final con proyecto, elemento que a pesar que dentro de los diseños no se ve fuertemente reflejado, aporta en la toma de decisiones a la hora de establecer un método de diseño o el requerimiento de obra nueva o de mantenimiento, así como el comportamiento que manifiestan las diferentes superficies de rodadura al verse expuestas a paso de los vehículos.

Fase II: El diseño de Pavimentos independiente del tipo de estructura a diseñar, parte de ciertas consideraciones que son propias del dinamismo de la región o área de influencia de la zona donde será implantado el proyecto, estos criterios de diseño corresponden a:

- Drenaje
- Materiales
- Comportamiento de la Subrasante
- Tránsito.

La evaluación del drenaje se identifica a partir de los análisis hidráulicos e hidrológicos de la región, los cuales se han tomado con base en el Volumen respectivo del área, esto permite definir la influencia del agua en la estructura de los pavimentos y por ende en el comportamiento esperado una vez este se encuentra en servicio.

La calidad de los materiales: las diferentes capas que conforman los pavimentos, se evaluarán en función de las especificaciones técnicas para materiales de carreteras, que ha definido el Invias, a partir de las cuales se garantice que los materiales que hacen parte del pavimento cumplan con ciertas características de resistencia que permitan alcanzar la estabilidad de la estructura prevista para el corredor vial.

El comportamiento de la subrasante en esta fase se estudia a través de los resultados obtenidos de la exploración e investigación de los suelos la cual se ha proyectado mediante ejecución de exploración directa (apiques) con una profundidad máxima de estudio de 1.5 m, durante esta etapa se realizará una extracción de muestras alteradas e inalteradas para ser evaluadas en laboratorio, de los resultados obtenidos se determinará el comportamiento esperado de los suelos a lo largo de la malla vial, de donde se podrá evaluar la respuesta de la subrasante en cuanto a resistencia requerida para el soporte de las cargas a las que se verá sometida.

Finalmente, la Fase 2 contempla el conocimiento del tránsito, variable que se propone estudiar en función de la alternativa de pavimento a diseñar y de los análisis y resultados obtenidos de los estudios de tránsito realizados al corredor vial.

Fase III: Análisis y evaluación de las condiciones predominantes y las requeridas, de acuerdo con los resultados del alineamiento proyectado para el corredor, tanto horizontal (entre otros: dimensión de las sección proyectada Vs la sección actual, cuando exista) como vertical (cotas rasante Vs cota terreno), contemplando su incidencia en las actividades destinadas a los trabajos de campo a efectuar en los corredores viales en estudio.

Definición de sectores homogéneos a partir de las características geométricas de la malla vial, evaluación geológica y comportamiento geomecánico del material de subrasante, elementos que representan las variables de diseño analizadas con anterioridad.

Fase IV: Dimensionamiento de las estructuras de pavimento y evaluación por métodos mecanicistas, determinando la influencia de los esfuerzos y deformaciones que afectan a la estructura del pavimento y a la subrasante.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Diseñar un pavimento flexible para la construcción de un tramo de la vía de carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6 mediante el método AASHTO-93, y verificarlo por un método racional para que cumpla por fatiga y ahuellamiento

4.2 Objetivos específicos

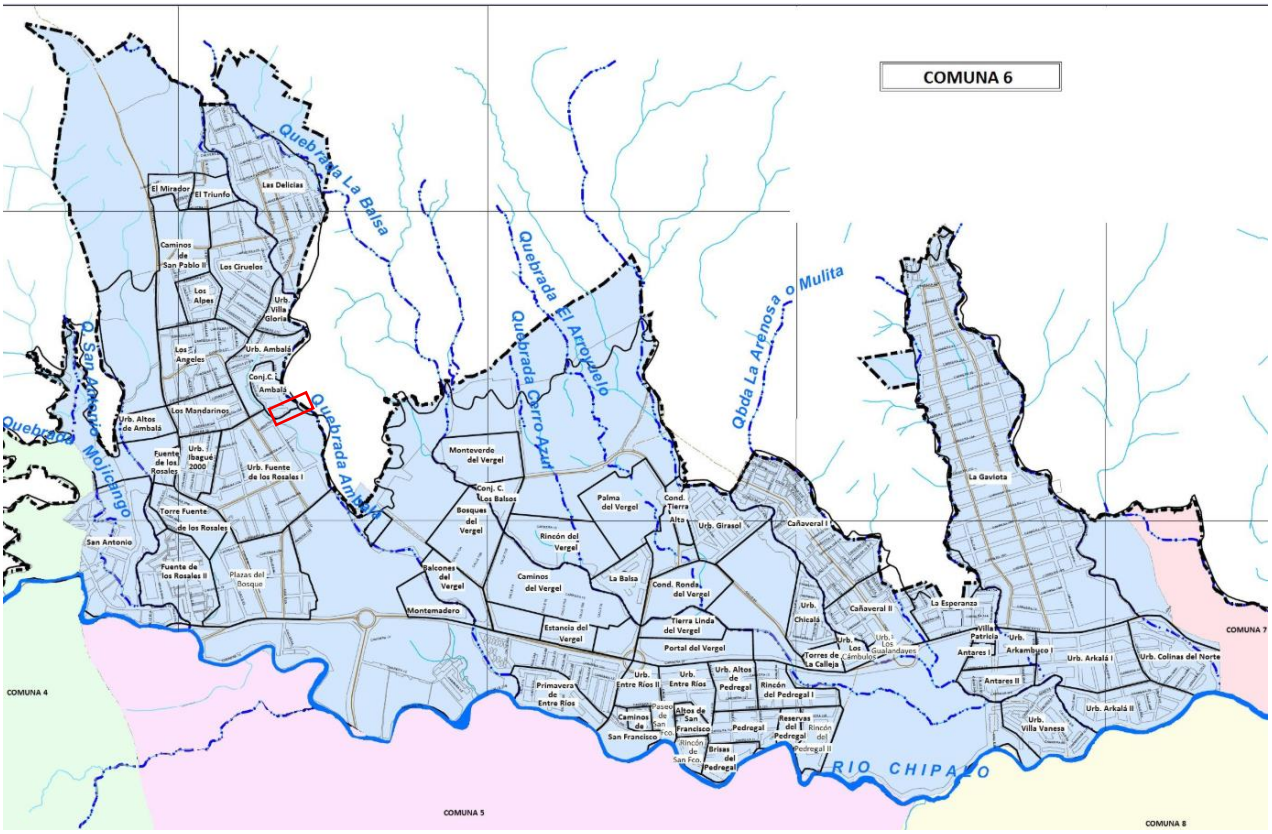
- Diseñar el pavimento flexible en base a los capítulos que requiere la metodología AASHTO – 93.
- Determinar los espesores de cada una de las capas de la estructura del pavimento requeridas para soportar el tránsito de la vía, con base a la información suministrada del tramo de estudio.
- Calcular el presupuesto requerido para llevar a cabo la construcción del proyecto.

5. GENERALIDADES

5.1 Localización:

El proyecto se desarrolla en la comuna 6 de la ciudad de Ibagué en la carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala (carrera de segundo orden) ver Ilustración 1

Ilustración 1: Localización general de la vía a intervenir en la comuna 6

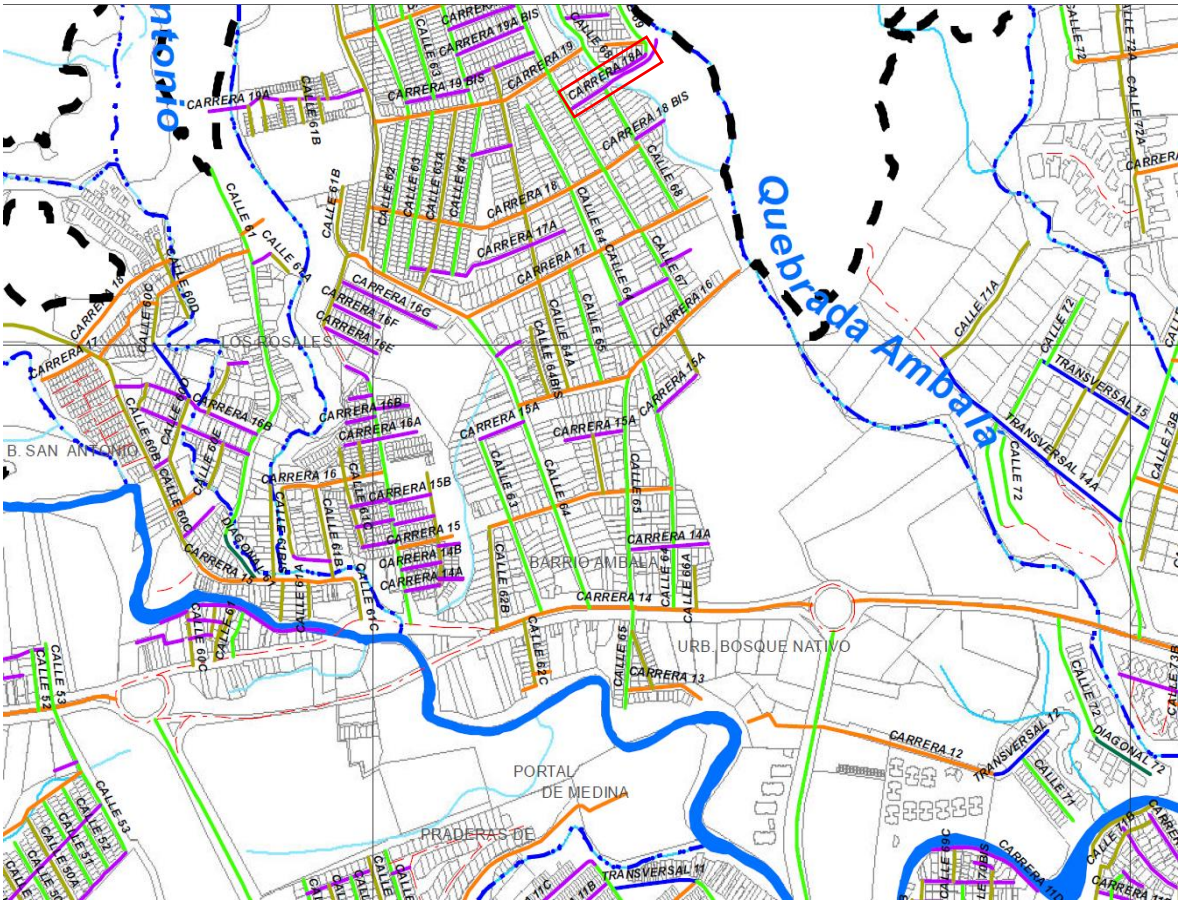


Fuente: Monumentos de Ibagué (mapa de comunas)

Esta vía se localiza en las coordenadas geográficas WGS 84 (4.453284 Norte y -75.201375 Este).

La alcaldía municipal de Ibagué en su plan de desarrollo propone como una de sus metas construir, mejorar y rehabilitar la infraestructura vial de acuerdo con los nuevos sistemas de movilidad

Ilustración 2: Nomenclatura vial (plan de ordenamiento territorial) carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6



Fuente: secretaria de planeación municipal

Para poder proyectar una ciudad organizada y proyectada al futuro se requiere mejorar el estado de infraestructura vial del municipio de Ibagué toda vez que esta incide en gran medida en su nivel de desarrollo, puesto que al tener vías en buen estado se mejora la transitabilidad, costos de operación, la calidad de vida y las comunicaciones y transporte en general, es por ello, que en primer lugar, deben realizarse diseños de estructuras de pavimentos que cumplan con las solicitaciones requeridas para determinada vía, con un costo razonable (justificación económica que se debe realizar para poder ejecutar la oportuna intervención con una óptima inversión presupuestal), y garantizando un aceptable índice de serviciabilidad durante la vida de servicio estimada.

La secretaria de infraestructura por intermedio de su división operativa viene realizando un trabajo de auscultación de la malla vial del municipio por todas las comunas de Ibagué y ha concentrado sus esfuerzos en construir, rehabilitar y conservar las vías de la red urbana mejorando la infraestructura del transporte que

son la base de desarrollo económico de la ciudad. La conservación y mantenimiento de estas vías ha consistido en conformar unas estructuras de pavimento de primera calidad. Dando soluciones duraderas y eficaces que disminuyan los costos de operación vehicular y agilicen la comunicación entre todos los habitantes de Ibagué en especial para el presente caso la comunas 6

Ilustración 3: Carrera 18A entre la calle 67 del barrio Ambala de la comuna 6



Fuente: Mapa Google

Dentro de estas soluciones se pretende diseñar:

- Una estructuras de pavimentos funcional, económica y segura.
- Reducir y distribuir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito, de manera que no causen daño a la subrasante.
- Proporcionar comunicación vehicular por la carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6
- Proporcionar una superficie de rodamiento segura, y confortable sin excesivo desgaste.
- Mejorar la movilidad del sector.
- Satisfacer los requerimientos ambientales y estéticos.
- Limitar el ruido y la polución del aire.

Para la ejecución del mejoramiento y rehabilitación de la carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6 del municipio de Ibagué se

recomendó

Un diseño de estructura de pavimento flexible prestando un predimensionamiento por el método Aastho 93 y chequeando deformaciones y esfuerzos por fatiga y ahuellamiento por un método racional

Las capas que conforman la estructura deben cumplir especificaciones de invias

MDC-19: Mezcla densa en caliente (artículo 450-22)

BG: Base granular (artículo 330-22)

SBG: Subbase granular (artículo 320-22)

CSR: Capa subrasante (artículo 230-22)

6. VARIABLES DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

Para la ejecución del mejoramiento y rehabilitación de la malla vial del casco urbano del municipio de Ibagué en lo relacionado con la comuna 6, se contempló una serie de variables (tránsito, geología, geotecnia y climatología), se contempló una variabilidad de volúmenes de tránsito realizado por la universidad de Ibagué ampliada por los profesionales de la secretaria de infraestructura y resumida en una tabla dinámica por direcciones de calles y carreras determinando la frecuencia de vehículos diarios. Para su proyección se tomó el resultado propuesto por el contrato N° 005 del 2017 donde el objeto era "elaborar el plan maestro de movilidad y espacio público del municipio de Ibagué y desarrollar el diseño a detalle de la carrera 13" ejecutado por el consorcio C&T (Cal y Mayor soluciones con calidad y valor) y (tecnoconsulta ingenieros consultores) y contratado por FINDETER.

6.1 Tránsito

Esta variable es quizás la más importante para calcular el espesor del pavimento para el presente diseño, se tomó como punto de partida para determinar el tránsito el estudio realizado por la universidad de Ibagué de las diferentes rutas de servicio público de transporte urbano (buses y busetas). Más los vehículos como el C2p (camiones repartidores de alimentos), el C2g (camiones repartidores de bebidas y volquetas), y el C3 (camión mixer y camión recogedor de basura)

La secretaría de infraestructura elaboró con un ingeniero contratista una tabla dinámica de las diferentes rutas de buses y busetas donde se puede determinar por direcciones calles y carreras la frecuencia de estas determinando su cantidad por día. Dando como resultado para mayor tránsito la calle 15 entre la carrera 2 y 3 donde el tráfico vehicular es el mismo de lunes a viernes de 2670 vehículos entre buses y busetas y el sábado y domingo es diferente de 2280 (el tránsito semanal es de 17910 vehículos de este tipo), y menor tránsito la carrera 1 entre calles 4 y calle 4A donde el tráfico vehicular es el mismo de lunes a domingo de 90 buses y busetas (tránsito semanal 630).

Para darle más precisión al aforo Se tuvo en cuenta el recorrido de carro recolector de basuras, el carro repartidor de bebidas y carros como volquetas y mixer

Para la proyección del tránsito se tuvieron en cuenta los volúmenes históricos de tráfico del INVIAS del año 2015, utilizando únicamente los conteos para la tipología de automóviles de la estación Mirolindo - Picaleña código 1178 (debido a que está en un entorno urbano) y la correlacionaron con variables socioeconómicas de la zona de influencia, como:

- Crecimiento de la población de Ibagué
- Evolución de la tasa de motorización de autos de Ibagué
- Evolución de la tasa de motorización de motocicletas de Ibagué

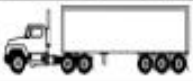
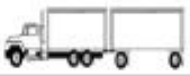
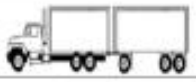
El proceso de pronóstico consistió en un método iterativo de calibración, probando en todos los casos modelos econométricos no lineales de la forma: y= $\alpha \cdot X\beta$, en los cuales se alternaban diferentes variables socioeconómicas y se correlacionaron con el comportamiento histórico del tránsito. El mejor modelo que presentó mejor ajuste a los datos fue elegido en función de los siguientes criterios:

- Más alto nivel de correlación (R).
- Más alto coeficiente de determinación (R2) y de determinación ajustado.
- Nivel de significancia estadística igual o mayor al 95% para el análisis de varianza.
- Nivel de significancia estadística igual o mayor al 95% para la selección de los coeficientes de regresión.
- Congruencia entre el signo de cada coeficiente de regresión y la variable dependiente.

- Para la determinar los pesos de los vehículos se realizó un trabajo de campo con cooperación de la concesionaria San Rafael S.A. quienes facilitaron su báscula la cual está totalmente certificada para determinar el pesaje de una buseta tipo de uso en el servicio público del casco urbano de Ibagué.
- La concesionaria también nos compartió información de pesajes de vehículos que entran y salen por el peaje Gualanday. Y se amplió con la configuración de los vehículos pesados la que está enmarcada en la Resolución 4100 de 2004 modificada – Resolución 1782 de 2009, ver ilustración

Ilustración 4: Clasificación de vehículos según el número de ejes en Colombia

Designación	Configuración	Descripción
C2		Camión de dos ejes (Camión sencillo)
C3		Camión de tres ejes (Doblietroque)
C4		Camión de cuatro ejes
C2S1		Camión de dos ejes con semirremolque de un eje
C2S3		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes

Designación	Configuración	Descripción
C3S1		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje
C3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
C3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes
R2		Remolque de dos ejes
C2R2		Camión de dos ejes con remolque de dos ejes
C2R3		Camión de dos ejes con remolque de tres ejes
C3R2		Camión de tres ejes Doblietroque con remolque de dos ejes
C3R3		Camión de tres ejes Doblietroque con remolque de tres ejes
C4R2		Camión de cuatro ejes con remolque de dos ejes
C4R4		Camión de cuatro ejes con remolque de cuatro ejes

Designación	Configuración	Descripción
C2B1		Camión de dos ejes con remolque balancín de un eje
C2B2		Camión de dos ejes con remolque balancín de dos eje
C2B3		Camión de dos ejes con remolque balancín de tres ejes
C3B1		Camión de tres ejes Doblietroque con remolque balancín de un eje
C3B2		Camión de tres ejes Doblietroque con remolque balancín de dos ejes
C3B3		Camión de tres ejes Doblietroque con remolque balancín de tres ejes
C4B1		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de un eje
C4B2		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de dos ejes
C4B3		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de tres ejes

Fuente: Información tomada de la resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 y No 1787 del 8 de mayo de 2009

6.2 Geología y geomorfología del sector de estudio

El estudio geológico y geotécnico son aspecto importante en el diseño y construcción de pavimentos.

De acuerdo al Plan de ordenamiento territorial del municipio de Ibagué, este se encuentra conformado por unidades geológicas ígneas, metamórficas y sedimentarias del Precámbrico, Paleozoico, Cenozoico y Cuaternario

Por su composición el sector de estudio se encuentra en una unidad geológica de edad cuaternaria. (unidad geológica del abanico de Ibagué), El suelo está compuesto por flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica

La vía de la carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6 carrera de segundo orden se contempló como un solo sector homogéneo según análisis de la composición geológica (formaciones rocosas y superficiales), y respuesta geotécnica de la subrasante medida a partir del CBR

El área donde se va a desarrollar la rehabilitación se caracteriza por estar conformada por un depósito del Abanico de Ibagué (Qfv)

6.3 Geotecnia

La caracterización de la geotecnia de este sector donde se localiza carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6 es homogénea zona plana donde se califica la aptitud de los materiales para soportar las fundaciones de las estructuras

6.4 Suelos

6.4.1 Subrasante

El área donde se va a desarrollar la rehabilitación se caracteriza por ser de topografía plana conformada por un depósito del Abanico de Ibagué (Qfv)

Por indicaciones del director operativo de la secretaria de infraestructura ing Fredy Andrés Rincón Polania, se determinó que en este tramo de vía se tomará un CBR para diseño muy similar al de las vías cercanas del sector donde se han realizado estudio de suelos, por tal motivo se tomó un valor inferior al promedio del sector CBR DE 3.5%.

La clasificación de los materiales que conforman la subrasante, se obtiene,

realizando ensayos de laboratorio a los parámetros asociados a la naturaleza del material como:

- Humedad natural (INV E – 122 -22)
- Granulometría (INV E – 123 - 22)
- Limite liquido LL (INV -125 - 22)
- Limite plástico LP (INV E 126 -22)
- Índice de plasticidad IP (INV E – 126 -22)
- Azul de metileno AM (INV E – 235 -22)

Para determinar el módulo resiliente (Mr) se recomienda realizarlo por medio de un ensayo triaxial dinámico

En el presente diseño como no se cuenta con datos de ensayo triaxial dinámico se utilizará para determinar el Mr correlaciones que ligan este factor a propiedades conocidas, tales como el CBR, contenido de arcilla, plasticidad, etc.

La ecuación de correlación recomendada para carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6, donde se tomó un CBR (INV E -148 -22) de 3.5 %, donde el suelo se clasifico como, "MH" representa limos inorgánicos de alta plasticidad o arcillas inorgánicas de alta plasticidad con características limosas. Estos suelos se caracterizan por tener partículas finas (limo y/o arcilla) y una alta capacidad de retención de agua, lo que les confiere una plasticidad significativa.

Se recomienda la siguiente ecuación de correlación:

$$Mr = 1500 * CBR\ [psi]$$

6.4.2 Características de los materiales

Para la construcción de la estructura se necesita que cada capa cumpla con las especificaciones técnicas elaborado por el Instituto Nacional de Vías INVIAS, siendo necesario durante la ejecución de las obras estar realizando controles periódicos al mismo, garantizando la calidad y estabilidad de las obras construidas, para lograr ello, se presenta la caracterización de cada elemento que compone la estructura diseñada.

Para que la estructura tenga un buen comportamiento se requiere que los materiales que conforman las diferentes capas tengan características que respondan a unas especificaciones de calidad y ante su ejecución se tenga un buen procedimiento constructivo.

6.5 Climatología:

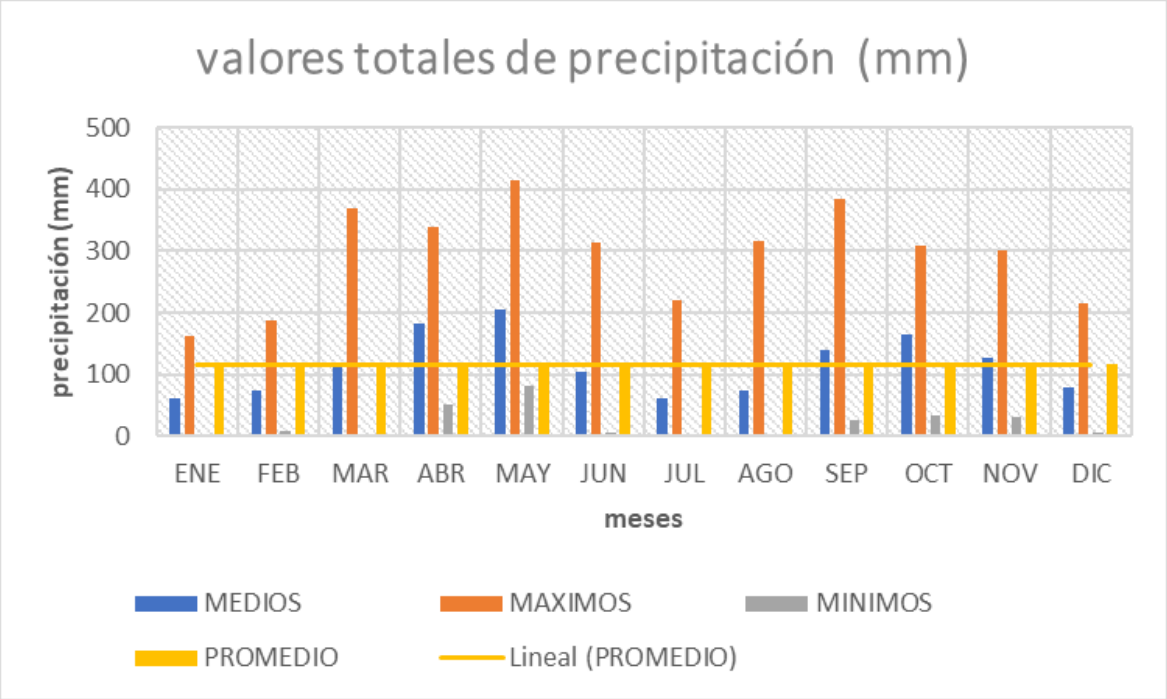
Las características hidrológicas y climáticas se recopilan de una serie de trabajos que adelanta la secretaria de infraestructura en el casco urbano donde se toman datos suministrados por el IDEAM de las estaciones Pm cruz roja, Pm Interlaken, Pm perales, y apto perales, determinar todo lo relacionado a temperatura, precipitación, y climatología de la ciudad.

Tabla 1: Valores totales mensuales de precipitación (mm), est.co perales hato opia

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm) ESTACION CO PERALES HATO OPIA													
MESES	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**TOTAL**
MEDIOS	60.7	75	117.4	181.9	204.3	103.9	62.1	74.6	139.3	164.1	126.6	78.4	1388.3
MAXIMOS	161.3	187.9	370.2	338.3	415.9	313.1	219.6	316.4	385.5	309.9	300.7	214.2	415.9
MINIMOS	0.6	7.3	3	51	82.6	5.3	0	0.9	26	34.3	29.9	6.8	0
PROMEDIO	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69	115.69

Fuente: Ideam

Ilustración 5: Valore totales mensuales de precipitación (mm) est.co perales hato opia



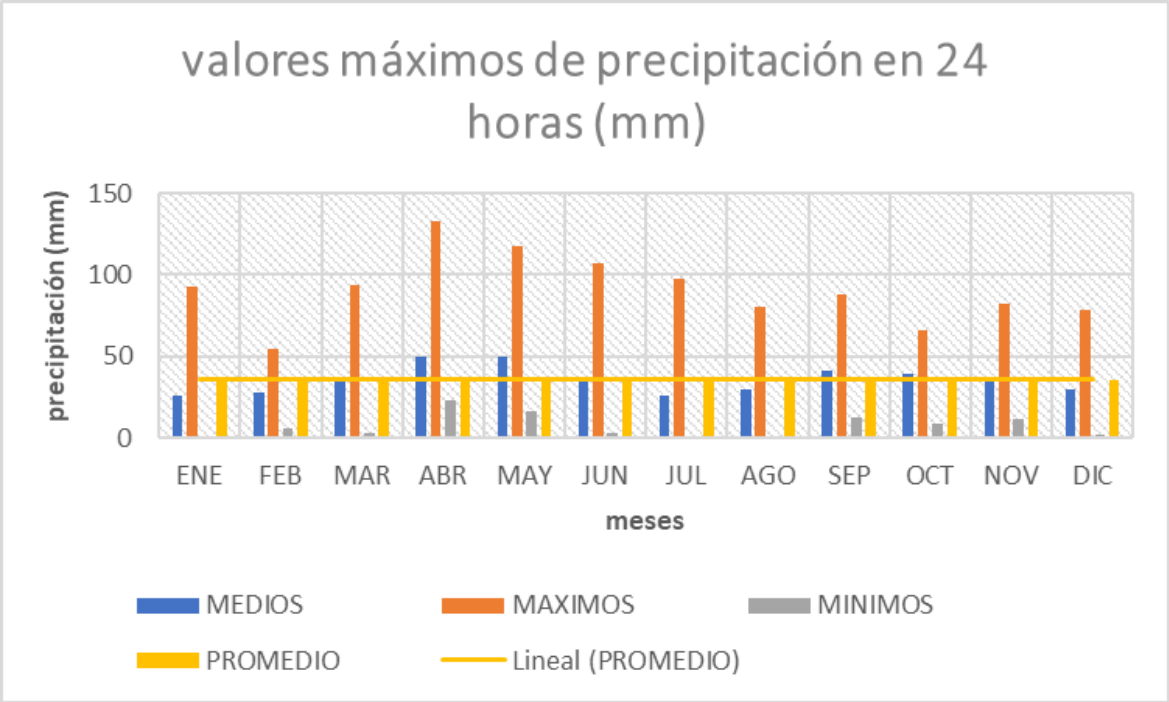
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm) est.co. perales hato opia

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm) ESTACION CO PERALES HATO OPIA													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
MEDIOS	26.1	28	37.5	49.7	49.9	37.4	26.3	30	41.3	38.9	35.1	29.5	35.8
MAXIMOS	92.6	54.5	93.5	132.7	117.2	107	97.5	80	87.7	66.1	82.3	78.7	132.7
MINIMOS	0.6	5.6	2.7	23	16.8	2.8	0	0.5	12.8	9	11.5	2.2	0
PROMEDIO	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81	35.81

Fuente: Ideam

Ilustración 6:Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm) est co. Perales hato opia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Valores N° días mensuales de precipitación (mm) est co. Perales hato opia

VALORES N° DE DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION (mm) ESTACION CO PERALES HATO OPIA													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
MEDIOS	8	10	12	16	16	11	8	8	12	16	14	11	143
MAXIMOS	24	19	22	26	29	19	19	19	25	24	27	20	29
MINIMOS	1	3	2	2	4	3	0	1	1	5	3	4	0
PROMEDIO	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83

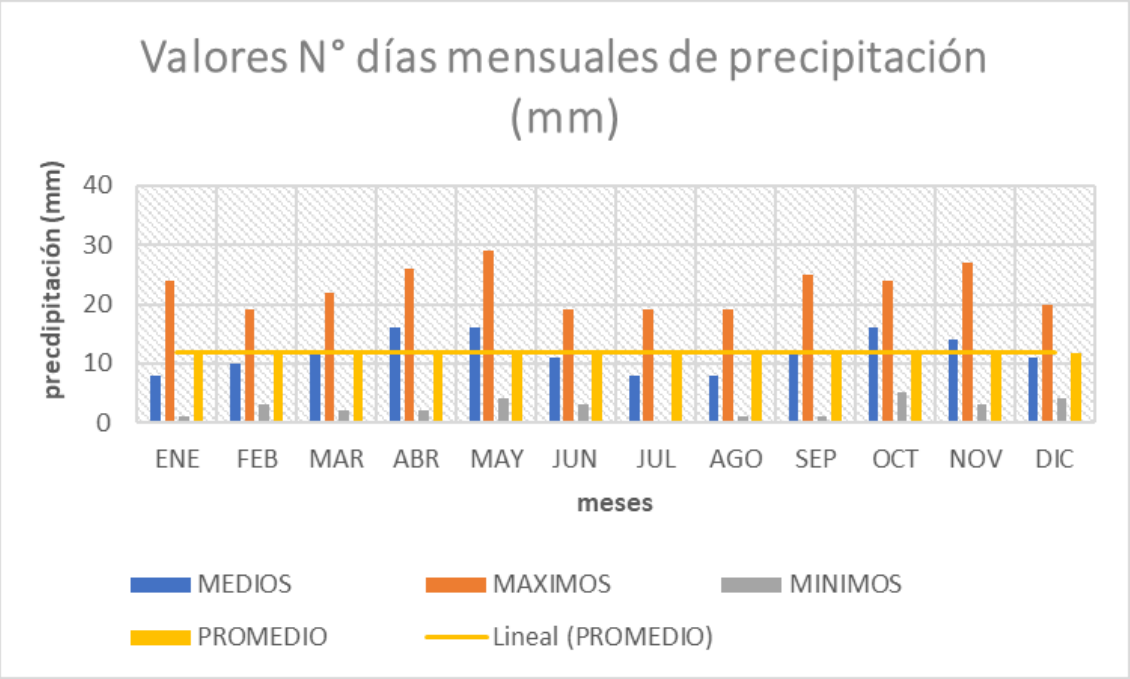
Fuente: Ideam

Tabla 4: Valores medios mensuales de temperatura (°C) est co. Hato opia

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C) ESTACION CO PERALES HATO OPIA													
MESES	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**TOTAL**
MEDIOS	25.1	25.1	25	24.6	24.7	24.9	25.5	26.1	25.6	24.5	24.2	24.5	25
MAXIMOS	28.5	27.7	27	26.1	27	26.9	28.1	30.4	29	27.4	26.3	27.6	30.4
MINIMOS	23	22.8	22.8	22.9	22.7	22.9	23.3	23.3	23.9	23.5	22.9	22.7	22.7
PROMEDIO	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98

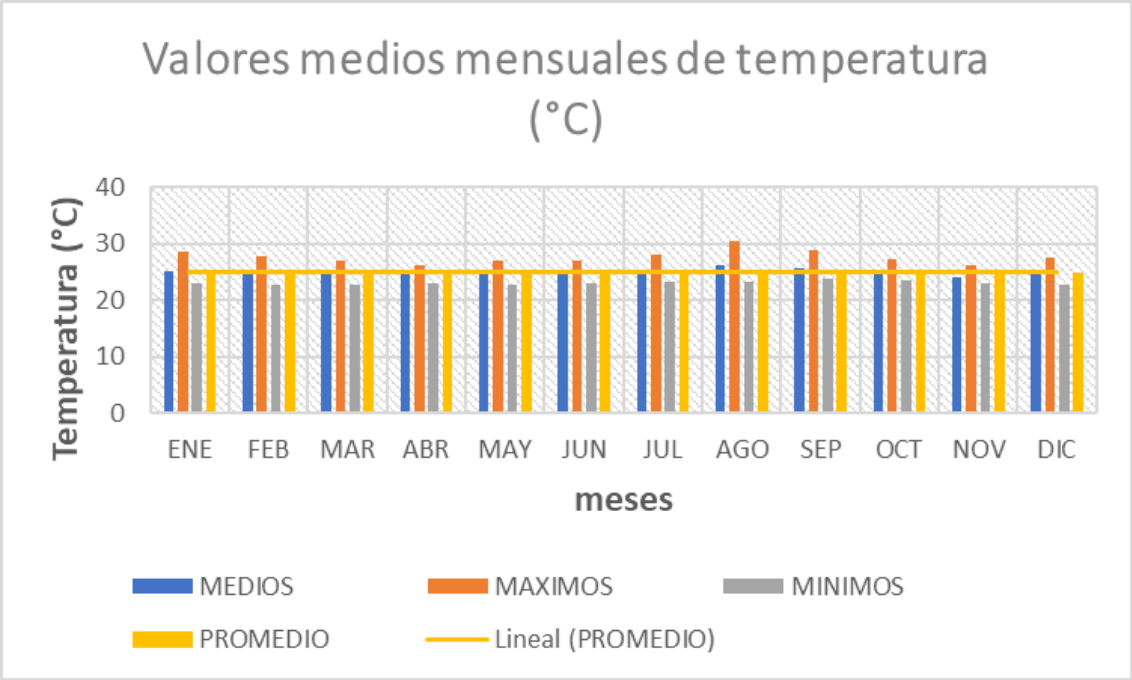
Fuente: Ideam

Ilustración 7: Valores N° días mensuales de precipitación (mm) est co. Perales hato opia



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8: Valores medios mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Valores máximos mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C) ESTACION CO PERALES HATO OPIA													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
MEDIOS	32.8	32.9	32.7	32.1	31.5	31.8	33.2	34.2	33.7	31.9	30.6	31.6	32.4
MAXIMOS	38.8	37.2	36.5	34.2	34.2	34.2	35.6	38.8	36.2	35.8	33.6	39	39
MINIMOS	30	30	30	30	29.4	29.8	31	30.5	30.2	30	29	29	29
PROMEDIO	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42

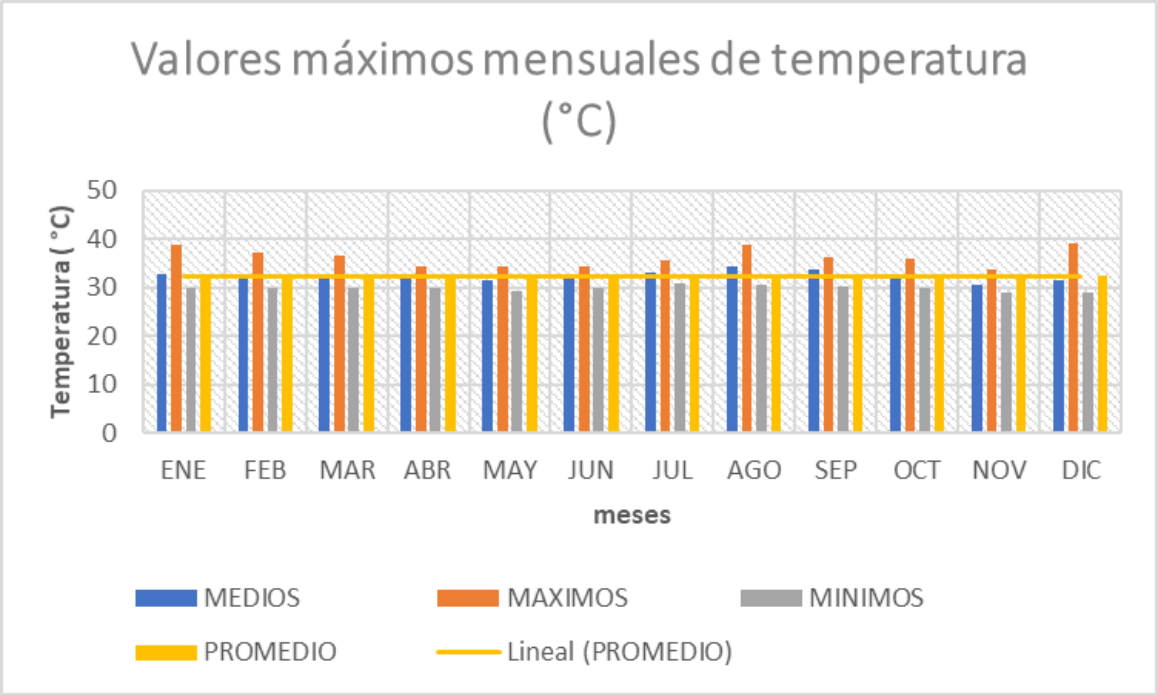
Fuente: Ideam

Tabla 6: Valores mínimos mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia

VALORES MINIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C) ESTACION CO PERALES HATO OPIA													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
MEDIOS	16.9	17.3	17.4	17.4	16.9	17.2	17.4	17.2	17.2	16.6	17.3	17.2	17.2
MAXIMOS	19	19.8	19.8	20	19.2	20.4	18.8	19.2	19	19	19.8	19	20.4
MINIMOS	13	10.4	12.4	12.4	2.1	12.4	14	14	13.8	2.1	14.8	12	2.1
PROMEDIO	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17

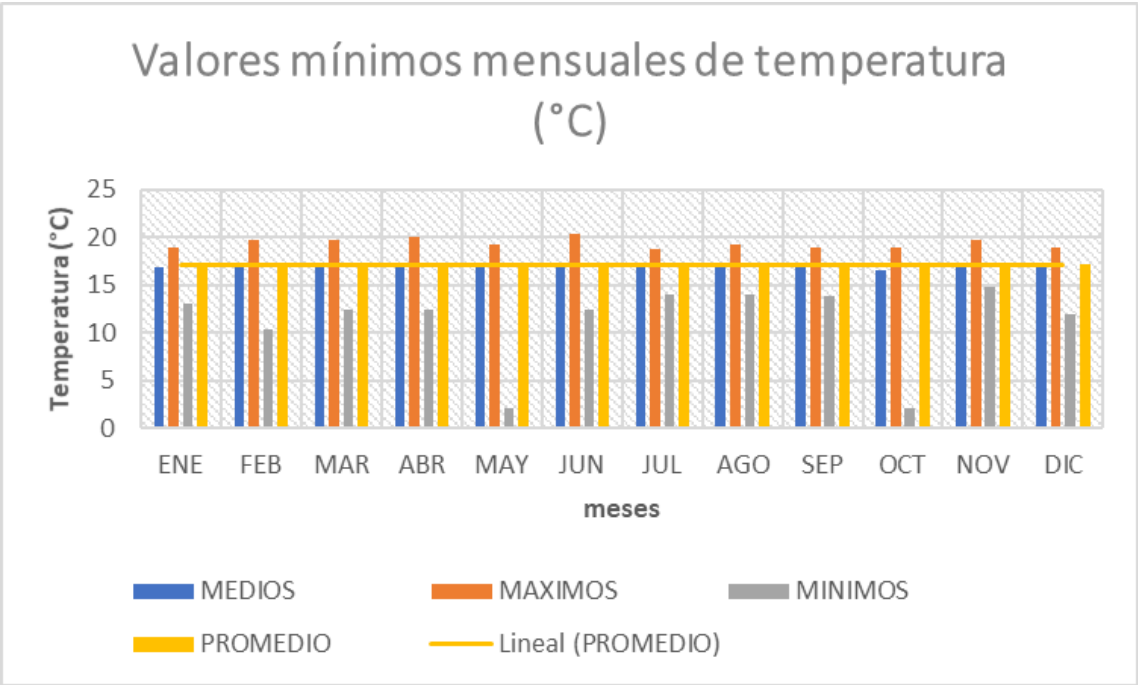
Fuente: Ideam

Ilustración 9: Valores máximos mensuales de temperatura (°C) est co. Perales hato opia



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10: Valores mínimos mensuales de temperatura (°c) est co. perales hato opia



Fuente: Elaboración propia

6.6 Parámetros o Variables de diseño

Se presenta el diseño de una estructura de pavimento flexible por el método Aashto 93 como predimensionamiento y los espesores se chequearon para que resistan los esfuerzos verticales y no se presenten deformaciones y evitar fallas por ahuellamiento y fatiga este chequeo se realizó mediante la modelación de la estructura por el método racional usando el software winDEPAV 2.6 6 basado en el programa Depac del instituto de vías de la universidad del cauca desarrollado por el ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela

(BIBLIOGRAFIA)
"Vásquez Varela L.R(2018), WinDEPAV 2.6 con DosBox0.74 Manizales: Universidad Nacional de Colombia"

Las variables involucradas en el método Aashto 93 son:

1. tránsito
2. subrasante
3. confiabilidad (R %) la se entiende por el inverso de la probabilidad de falla
3.1 desviación estándar normal (Zr)
3.2 desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño (So) error normal combinado
4. serviciabilidad (ΔPSI) Diferencia entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final corresponde al índice de servicio
5. Determinación ecuación general de la Aashto 93; log(W18)

$$\log(W18) = Zr * S_o + 9.36 * \log * (SNi + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\frac{\Delta psi}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \left(\frac{1094}{SN+1}\right)^{5.19}}\right] + 2.32 * \log \mathrm{Mr} - 8.07$$

Donde:

W18 = número esperado de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kip (80 kN) o 8.2 Tn en el periodo de diseño.
Z_r = desviación estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural (parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que considera la probabilidad de que el índice de servicio del pavimento sea superior a pt durante el periodo de diseño)
S_o = desviación estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento
ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal
Mr = Módulo Resiliente de la subrasante (libras/plg^2)

6. Determinado el número estructural requerido; SN

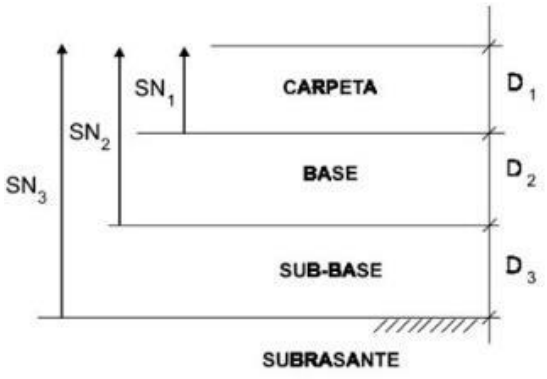
Determinado el número estructural, el método contempla como paso siguiente la obtención de los espesores de las diferentes capas que conforman el paquete estructural, haciendo uso de la siguiente expresión: (Número estructural M. AASHTO P. Flexible*)*

SN = a1 * D1 + a2 * m2 * D2 + a3 * m3 * D3.

Donde:
a1: Coeficiente estructural de la capa de rodadura
D1: Espesor de la capa de rodadura en cm.
a2: Coeficiente estructural de la capa de base granular.
D2: Espesor de la capa base granular en cm.
M2: Coeficiente de drenaje de la capa base granular.
a3: Coeficiente estructural de la capa sub base granular.
D3: Espesor de la capa sub base granular en cm.
M3: Coeficiente de drenaje de la capa sub base granular.

El número estructural es un valor abstracto que representa la resistencia total de la estructura de un pavimento para una determinada categoría de subrasante, condición de tráfico e índice de servicio al final de la vida útil.

Ilustración 11: Esquema diferentes capas para determinar el SN método AASHTO



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2\ m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a3\ m3}$$

SNi = número estructural requerido por la estructura de pavimento, indicador de la capacidad estructural requerida (materiales y espesores), está en función de unos parámetros que son los coeficientes estructurales de cada capa que están asociados a la resistencia del material de cada capa.

Ya determinado el número de ejes equivalentes de 8.2 Tn como W18, se procede a desarrollar la ecuación fundamental de la AASHTO 93

6.7 Tránsito

Se determina el nivel de tránsito según cálculos aportados por la secretaria de infraestructura ver anexo estudio de tránsito

La secretaria recomienda que como número de ejes equivalentes de 8.2 tn se tome el valor de 100000 como valor mínimo para los cálculos.

Según el capítulo 1, artículo 100.2, (gradualidad en las exigencias de calidad), de las especificaciones técnicas de construcción de INVIAS, versión 2022, el valor de los ejes equivalentes calculado corresponde al nivel de tránsito NT-1.

Tabla 7: Niveles de tránsito

NIVEL DE TRANSITO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES EN EL CARRIL DE DISEÑO	CLASE DE BASE Y SUBBASE GRANULAR
NT1	≤ 500.000	C
NT2	500.001 a 5.000.000	B
NT3	> 5.000.000	A

Fuente: Invias 2022

La clase de subbase granular según la calidad de los agregados se determinó de acuerdo a lo indicado en el numeral 320.2.2. Así mismo, se definió el tipo de granulometría que se va a emplear.

Ilustración 12 Calculo del tránsito carrera 18A entrega a la calle 67 y calle 69

AFORO

TIPO VEHICULO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
BUSETAS	1	1	1	1	1	1	0	1
BUS	0	0	0	0	0	0	0	0
C2P	6	6	3	4	4	10	1	5
C2G	4	2	1	2	2	2	1	2
C3	3	2	2	1	2	2	2	2
TOTAL	14	11	7	8	9	15	4	10

Nota: el tránsito se tomó contando entrada y salida de vehículos por ser un sector comercial

C2P	CAMIONES REPARTIDORES DE ALIMENTOS
C2G	CAMIONES REPARTIDORES DE BEBIDAS Y VOLQUET
C3	CAMION MIXER CAMION RECOGEDOR DE BASURA

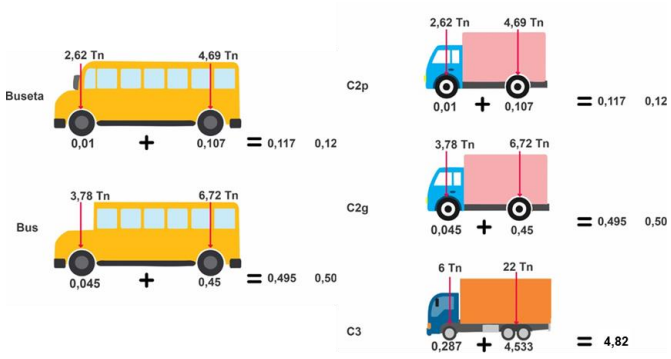
$$TPD_i = TPD_j * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)}$$

PROYECCION ANUAL DEL TPD

	AÑO	TASA DE CRECIMIENTO	C2P Y BUSETAS	C2G Y BUSES	C3	TPD	TPD ACUMULADO			
1	2025	1.60%	6.00	2.00	2.00	10.00	10.00	6.05	2.02	2.02
2	2026	1.40%	6.05	2.02	2.02	10.08	20.08	6.09	2.03	2.03
3	2027	1.20%	6.09	2.03	2.03	10.15	30.23	6.13	2.04	2.04
4	2028	1.00%	6.13	2.04	2.04	10.21	40.44	6.16	2.05	2.05
5	2029	0.90%	6.16	2.05	2.05	10.26	50.70	6.18	2.06	2.06
6	2030	0.70%	6.18	2.06	2.06	10.31	61.01	6.21	2.07	2.07
7	2031	0.60%	6.21	2.07	2.07	10.34	71.35	6.23	2.08	2.08
8	2032	0.50%	6.23	2.08	2.08	10.38	81.73	6.24	2.08	2.08
9	2033	40.00%	6.24	2.08	2.08	10.40	92.13	7.42	2.47	2.47
10	2034	0.40%	7.42	2.47	2.47	12.36	104.50	7.43	2.48	2.48
11	2035	0.40%	7.43	2.48	2.48	12.39	116.89	7.45	2.48	2.48
12	2036	0.40%	7.45	2.48	2.48	12.41	129.30	7.46	2.49	2.49
13	2037	0.50%	7.46	2.49	2.49	12.44	141.74	7.48	2.49	2.49
14	2038	0.40%	7.48	2.49	2.49	12.47	154.21	7.50	2.50	2.50
15	2039	0.40%	7.50	2.50	2.50	12.50	**166.70**			
		TOTAL	100.02	33.34	33.34	**166.70**				

TRANSITO PROMEDIO ANUAL PROYECTADO AÑO 15

TIPO VEHICULO	TPD ACUMULADO	DIAS AÑO	NUMERO VEH AÑO 15
C2 P Y BUSETAS	100.02	365	36,508.12
BUS Y C2G	33.34	365	12,169.37
C3	33.34	365	12,169.37
TOTAL			60,846.87



CALCULO EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO

TIPO VEHICULO	NUMERO VEH AÑO 15	FACTOR DAÑO	NÚMERO EJES EQUIVALENTES PERIODO DE DISEÑO
C2 P Y BUSETAS	36508.12	0.12	4,380.97
BUS Y C2G	12169.37	0.50	6,084.69
C3	12169.37	4.82	58,656.38
TOTAL			69,122.04

NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TN

W18= EAL* DD * DC

DD = Factor direccional por dirección 2 equivale a 50%

DC = Factor direccional por carril 1 equivale a 1

W18 = 719,940.17* 50% * 1)

W18 34,562

Fuente: Secretaría de infraestructura

6.7.1 Periodo de diseño

El pavimento puede ser diseñado para soportar el efecto acumulativo del tránsito durante cualquier período de tiempo. El período seleccionado en años, para el cual se diseña el pavimento, se denomina período de diseño. Al final de este período puede esperarse que el pavimento requiera trabajos de rehabilitación, para devolverle a la vía un adecuado nivel de transitabilidad, para la presente proyecto se tomó un periodo de diseño de 15 años

6.8 Subrasante

El CBR asumido es 3.50%

Se utilizará la ecuación.

$Mr = 1500 * CBR\ [psi]$

$Mr = 1500 * 3.50\%\ [psi]$

$Mr = 5250[psi] *\ \ 0.070307 =$ 369.11 kg/cm²

6.9 Factor de confiabilidad (R)

Este factor tiene como función garantizar que la alternativa adoptada perdure durante el periodo de diseño. En el presente diseño se clasifico la vía a rehabilitar como colectora dándole un nivel de confiabilidad del 80 % ver tabla 8

Tabla 8: Niveles de confiabilidad sugeridos por la AASHTO

Clasificación funcional de la vía	Nivel recomendado de confiabilidad (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: (Ing. Fernando Sanchez Sabogal)

Con el valor del 80% se calcula la desviación están

6.10 Desviación estándar normal (Zr)

Tabla 9: Valores de desviación estándar normal

CONFIABILIDAD EN %	DESVIACION NORMAL ESTANDAR, Zr
50	0.000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99.9	-3,750

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

El valor de la desviación estándar normal se adopta en base al nivel de confiabilidad seleccionado para la vía a diseñar, según la guía de diseño AASHTO, para un nivel de confiabilidad del 80% la desviación estándar normal es Zr = -0.841 ver tabla 9

6.11 Desviación estándar combinado (So)

Tiene en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, de la subrasante de la estimación del tránsito de las condiciones del clima y la calidad de la construcción. Los valores recomendados del S_O se presentan en la tabla 10

Tabla 10: Error normal combinado para pavimentos flexibles, So

VALORES DE SO			
Para pavimentos flexibles	So	0,40	0,50
En construcción nueva	So	0,35	0,45
En sobre capas	So	0,50	

Fuente: Manual AASHTO 93.

Para el proyecto se toma un valor de: So = 0.45 construcción nueva

6.12 Diferencia entre los índices de servicio inicial y final

Para el caso de la pérdida de servicialidad su valor es determinado de acuerdo con la diferencia entre la servicialidad inicial (Pi) y la servicialidad final (Pf).

$\Delta PSI = P_i - P_f$

La servicialidad inicial para pavimentos flexibles es de

P. Inicial = 4.2

P. Final = 2.0

ΔPSI = 4,2 −2,0

ΔPSI = 2,2

6.13 Características de los materiales de pavimento

La caracterización de las diversas capas del pavimento se efectuar a través de sus módulos de elasticidad, obtenidos por ensayos normalizados de laboratorio. Este método no presenta requisitos específicos respecto de la calidad de los materiales de subbase, no obstante, para el caso que nos atañe se supondrá materiales tipo granular calidad tipo INVIAS

6.14 Coeficientes de diseño

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (Di), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

6.15 Coeficientes de drenaje

Los coeficientes de drenaje dependen de la capacidad para evacuar el agua por parte de la estructura del pavimento, AASHTO recomienda los siguientes coeficientes: ver tabla 11 y tabla 12

De acuerdo a las condiciones topográficas, hidrológicas e hidráulicas del sector, considerando la precipitación del lugar y la morfología, el drenaje para el sector a rehabilitar vías internas del casco urbano de Ibagué, se considera regular, con un porcentaje de exposición del pavimento a grados de humedad > 25%, por consiguiente, para esta condición los coeficientes de drenaje que se recomiendan en el diseño son:

Carpeta asfáltica = m1 = 1.00
Capa base granular m2 = 0.80
Capa subbase granular m3 = 0.80

El porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próxima a la saturación está determinado por el número de días con lluvia en el año y son suministrados por el IDEAM y se determinó en la estación más cercana al proyecto que es la de perales hato opia y el valor de 143 días está determinado en de acuerdo a los datos de precipitación.
% de humedad = 143/365 = 0.39 > 25 %

Tabla 11: definición de las condiciones de drenaje según M. AASHTO

CALIDAD DEL DRENAJE	TÉRMINO PARA REMOCIÓN DEL AGUA
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	(el agua no drena)

Fuente: (ingeniería de pavimentos para carreteras ing. Alfonso Montejo Fonseca)

Tabla 12 Coeficiente de drenaje (Mi)

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Malo	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: (Ing. Fernando Sanchez Sabogal

6.16 Coeficientes estructurales

Para determinar los coeficientes estructurales a1, carpeta asfáltica, a2, base granular, y a3, subbase granular requeridos para la obtención de los espesores de la estructura de pavimento, se debe tener caracterizado los materiales que componen la mezcla asfáltica, base granular y subbase granular, según requerimientos exigidos por INVIAS en la norma INV E -748 e INV E-14

6.16.1 Coeficiente carpeta asfáltica

En la capa asfáltica el coeficiente estructural depende del módulo resiliente de la mezcla asfáltica y este módulo resiliente depende de la frecuencia de carga relacionada con la velocidad operación de los vehículos y la temperatura a la cual está la mezcla en la que se debe tener en cuenta la temperatura del aire en la zona donde se valla a realizar la pavimentación por lo tanto, antes de tener el coeficiente estructural de la capa asfáltica se debe conocer la velocidad de operación de los vehículos pesados en km/hora, dato que se determina en el diseño geométrico de la vía, y se debe tener la serie de las temperaturas promedio en la zona donde se valla a realizar el diseño para la estructura de pavimento.

En el diseño de la carpeta asfáltica para la vía del proyecto se propone una mezcla asfáltica MDC-19 con un Mr de (300000, dato sugerido como mínimo por la secretaria de infraestructura, cuando el diseño se valla a ejecutar este diseño se debe presentar a la secretaria de infraestructura por el contratista donde no se aceptará valores inferiores al sugerido.

Mr = 300000 psi * 0.070307 kg/cm² =21.092,10 kg/cm²
Este valor se puede reemplazar en la ecuación de coeficiente estructural de la capa asfáltica o por el nomograma ver ilustración

$$a1 = 0{,}184 * \ln(E1) - 1.957$$

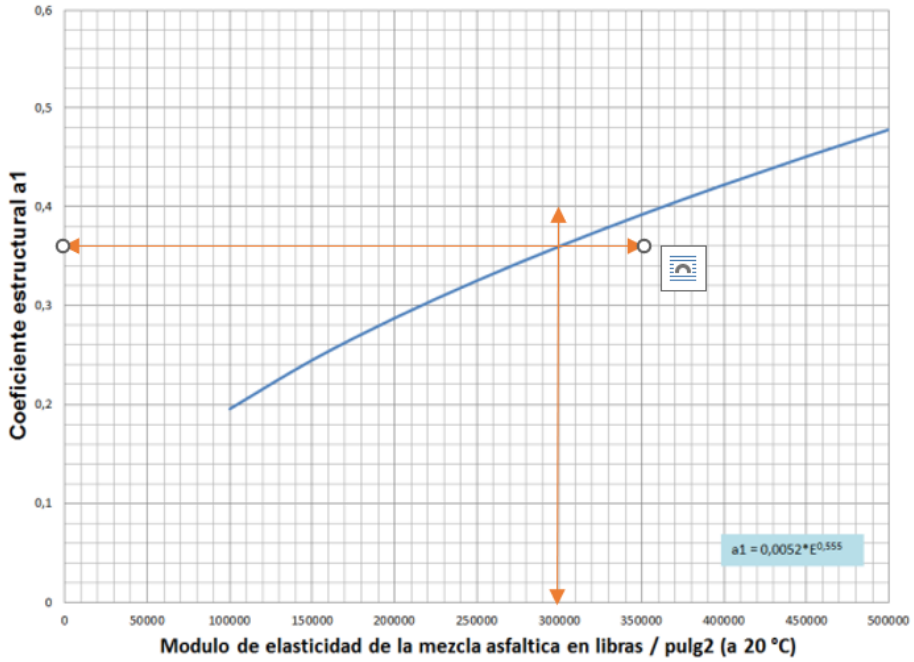
$$a1 = 0{,}184 * \ln(300000) - 1.957 = 0.364$$

Este valor se puede determinar mediante la utilización del nomograma de coeficiente estructural de la capa asfáltica a1 (Abaco para la obtención del coeficiente a1, en función del módulo resiliente del concreto asfaltico).

Se recomienda que el diseñador pueda tener la oportunidad de calcular el módulo resiliente de la mezcla con el asfalto y los agregados que se utilizaran en la realidad y se pueda obtener una curva confiable.

Se sugiere obtener el módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica teniendo la frecuencia y la temperatura ambiente del lugar donde se va a diseñar

Ilustración 13: Nomograma de coeficiente estructural de la capa asfaltica



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation officials, 1993)

Se puede dterminar que el coeficiente estructural del asfalto valor a1 = 0.364

6.16.2 Coeficiente base granular

Como no se tiene el módulo resiliente de la base granular se toma como punto de partida el CBR que deben tener las bases granulares según norma INVIAS E 148-22 ver tabla 13

Tabla 13: CBR norma invias según clase de materiales de base y subbase

MATERIAL	CLASE A	CLASE B	CLASE C
Base granular	≥ 95%	≥ 80%	≥ 80%
Subbase granular	≥ 40%	≥ 30%	≥ 30%

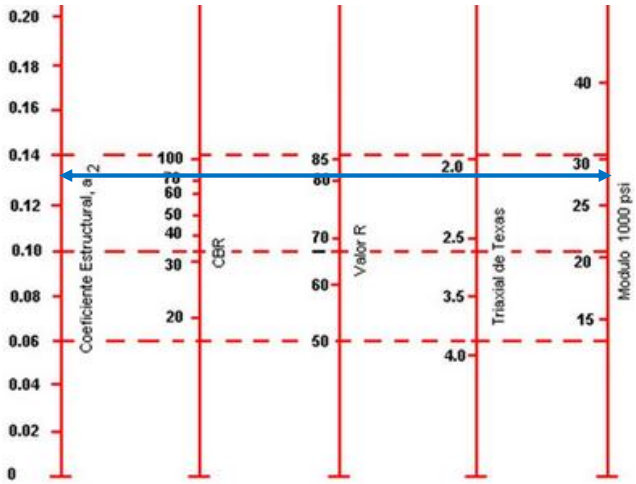
Fuente invias, 2022 (tabla 320 - 2 y la tabla 330 - 2)

El valor del CBR que se sugiere en el diseño de la vía carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6 del casco urbano del municipio de Ibagué está asociado al grado de compactación mínimo especificado, medido sobre muestras sometidas a cuatro días de inmersión.

Se recomienda la base granular clase C el grado de compactación que se debe garantizar en campo es de ≥ 80% esto quiere decir que en campo la compactación debe realizarse hasta que el material tenga por lo menos el 80% del peso específico seco máximo determinado en la prueba del Proctor entonces el valor de CBR que vamos a reportar para verificar la resistencia del material es aquel que corresponde a la condición de grado de compactación mínimo que es 80%

Por lo tanto, para determinar el coeficiente estructural de la base se utilizó el nomogramas propuestos por la AASHTO 93

Ilustración 14: Nomograma capa de base granular



Ecuación a2 = 0.249 * log (E2) - 0.977

Fuente: Nomograma AASHTO 93

El valor del coeficiente estructural de la base granular lo puedo determinar mediante utilización del nomograma de coeficiente estructural de la base granular a2

Mr = 28000psi * 0.070307 kg/cm² =1968.60 kg/cm²

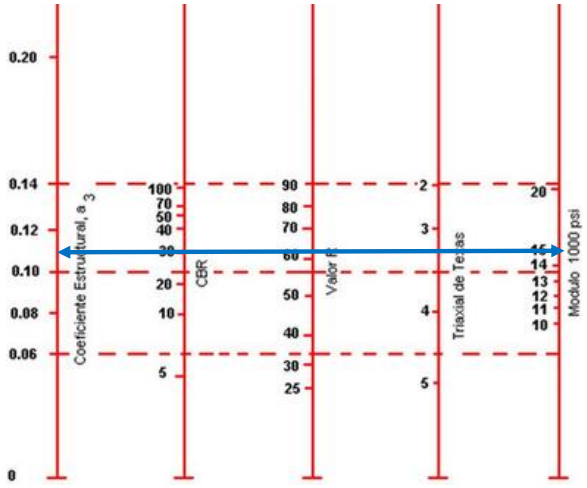
$$a2 = 0.249 * log(Mr\ BG) - 0.977$$
$$a2 = 0.249 * log(28000) - 0.977 = 0{,}13$$

6.16.3 Coeficiente subbase granular

Como no se tiene el módulo resiliente de la subbase granular se toma como punto de partida el CBR que deben tener las bases granulares según norma INVIAS E 148-22 ver tabla 13

Por lo tanto, para determinar el coeficiente estructural de la subbase granular se utilizó el nomogramas propuestos por la AASHTO 93

Ilustración 15: Nomograma para subbase granular



Ecuación a3 = 0.227 * log (E3) - 0.839

Fuente: nomograma AASHTO 93

El valor del coeficiente estructural de la subbase granular lo puedo determinar mediante la utilización del nomograma de coeficiente estructural de la base granular a3

Mr = 15000psi * 0.070307 kg/cm² =1054.61 kg/cm²

$$\alpha 3 = 0{,}227 \log(\mathrm{MrSBG}) - 0{,}839$$

$$\alpha 3 = 0{,}227 \log(15000) - 0{,}839 = 0.11$$

6.17 Cálculo espesores de las capas Di

Los espesores del pavimento se determinan mediante las siguientes fórmulas, pero para el diseño se utilizó un programa con hojas de cálculo en Excel donde se obtiene el mismo resultado que utilizando las fórmulas, pero con un procedimiento más sencillo

6.17.1 Cálculo espesor capa asfáltica D1

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

Donde

D1 = espesor capa de asfalto en pulgadas

SN1 = número estructural de la capa de asfalto

A1 = coeficiente estructural de la capa de asfalto
El espesor D1 se obtiene con la relación del número estructura de la capa asfáltica y el número estructural cuando obtengo el valor se define si se aumenta o disminuye y con ese nuevo valor de espesor que se define de diseño se calcula nuevamente el número estructural multiplicando el valor escogido por el coeficiente estructural

6.17.2 Cálculo espesor base granular D2

$$D2 = \frac{SN2 - SN1 *}{a2 * m2}$$

Donde:
$D2 =$ espesor capa base granular en pulgadas
$SN2 =$ número estructural de la capa de base granular
$a2 =$ coeficiente estructural de la capa de base granular
$m2 =$ coeficiente de drenaje de la capa de base granular

El espesor D2 se obtiene con la relación de la diferencia o resta del número estructural requerido SN2 con el número estructural ya calculado SN1 y el producto o multiplicación entre el coeficiente de la base granular a2 con el coeficiente de drenaje de la misma capa m2

Los números estructurales se restan porque SN2 representa el número estructural que debe tener el pavimento por encima del nivel de subbase y eso involucra el aporte que realiza la capa de asfalto SN1

Con el valor de D2 calculado vuelvo a calcular el SN2 y ese valor es el que utilizó para calcular la subbase granular SN2*

6.17.3 Cálculo espesor subbase granular D2

$$D3 = \frac{SN3 - SN2 *}{a3 * m3}$$

Donde
$D3 =$ espesor capa subbase granular en pulgadas
$SN3 =$ número estructural de la capa de subbase granular
$a3 =$ coeficiente estructural de la capa de subbase granular
$m3$ = coeficiente de drenaje de la capa de subbase granular
El espesor D3 se obtiene con la relación de la diferencia o resta del número estructural requerido SN3 con el número estructural ya calculado SN2* y el producto o multiplicación entre el coeficiente de la base granular a3 con el coeficiente de

drenaje de la misma capa m3

6.18 Diseño de estructura de pavimento usando hoja de cálculo método Aastho 93

Ver resumen del cálculo estructural de pavimento utilizando hoja en Excel

Se recomienda la utilización del método Aashto 93 (empírico) como predimensionamiento de la estructura de pavimento, y chequear que los espesores resistan los esfuerzos que se aplican en la superficie del pavimento para que no se presente deformaciones que son inducidas por estos esfuerzos en las capas de la estructura del pavimento y evitar que se presente fallas como ahuellamientos y fatigas por la acumulación de deformaciones verticales, este chequeo se realizará mediante la modelación del pavimento por la metodología racional usando el software WinDEPAV 2.6 basado en el programa Depac del instituto de vías de la universidad del cauca desarrollado por el ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela (BIBLIOGRAFIA) Vásquez Varela L.R(2018), WinDEPAV 2.6 con DosBox0.74 Manizales: Universidad Nacional de Colombia"

6.18.1 Diseño de estructura de pavimento usando hoja de cálculo método Aashto 93 (estructura recomendada bicapa)

Para el diseño de pavimentos flexibles, el Mr del asfalto se utiliza para calcular el espesor de las diferentes capas del pavimento, asegurando que el pavimento pueda soportar las cargas de tráfico esperadas sin fallar.

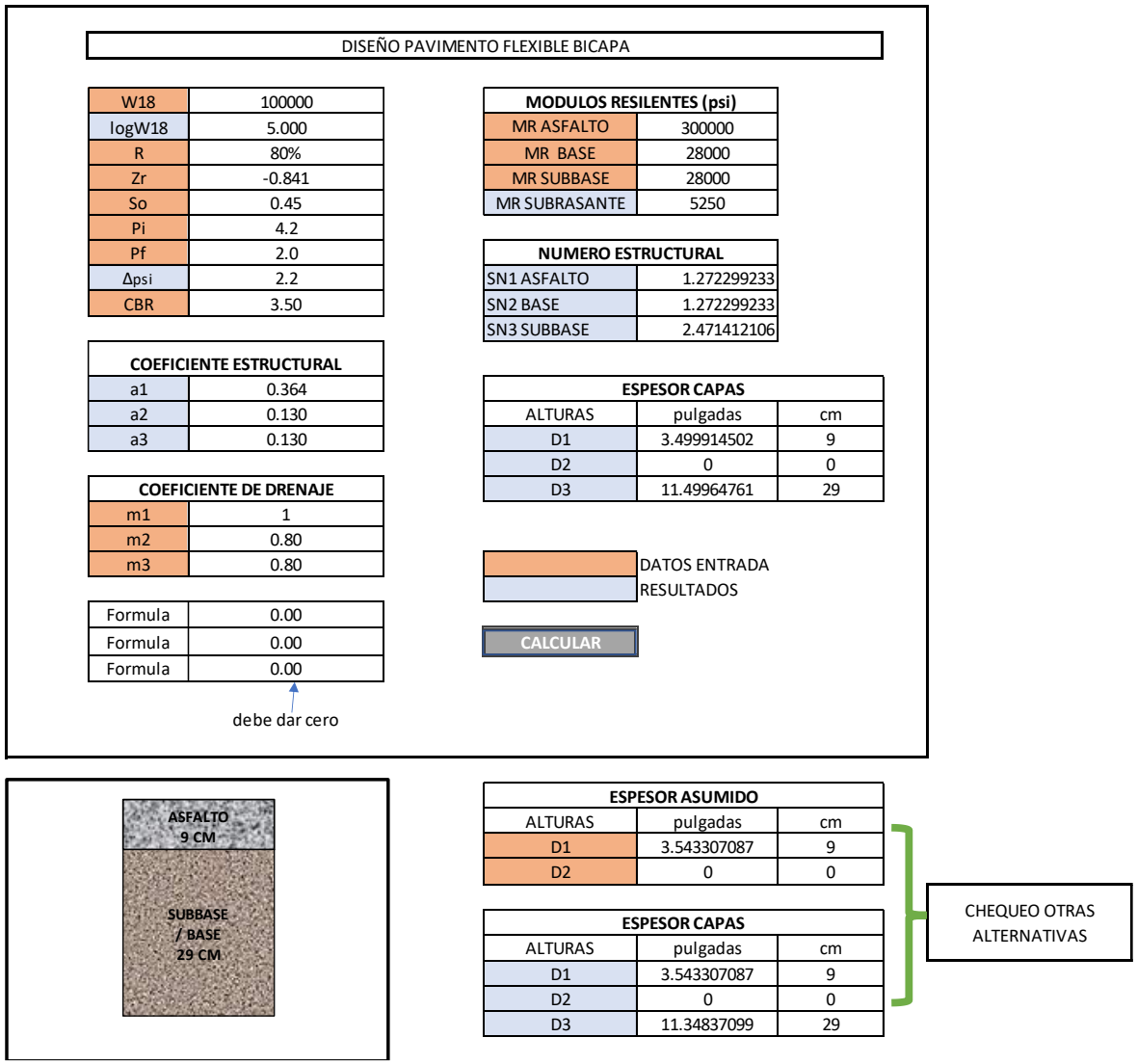
El módulo resiliente Es una propiedad fundamental del asfalto que describe su comportamiento elástico bajo carga. Representa la capacidad del material para deformarse bajo carga y recuperarse después de que la carga se elimina

Los datos de entrada son:

- Carrera de SEGUNDO orden
- Tipo de vía colectora urbana nivel de confiabilidad R = 80%
- Nivel de tránsito NT1 ≤ 500000 ejes equivalentes en el carril de diseño
- Ejes equivalentes de 8.2 tn (34562) se toma un valor de 100000 como mínimo
- Temperatura media anual promedio t = 23.5°C
- Suelo subrasante CBR 3.50 %
- Clase de Base granular (artículo 330 norma invias) clase C
- Clase de Subbase granular (artículo 320 norma invias) clase C
- Días promedio en los que llueve en el año 145

- Velocidad media de Circulación de vehículos pesados de 30 km/hora
- Calidad del drenaje regular
- CBR subbase granular 30%
- CBR base granular 80%
- Módulo resiliente de la mezcla asfaltica 300000 psi (valor que se toma como mínimo exigido según velocidad de diseño y temperatura media del aire en °c, en Ibagué

6.18.2 Tabla calculo estructura método Aastho 93



DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE BICAPA

W18	100000
logW18	5.000
R	80%
Zr	-0.841
So	0.45
Pi	4.2
Pf	2.0
Δpsi	2.2
CBR	3.50

MODULOS RESILENTES (psi)	
MR ASFALTO	300000
MR BASE	28000
MR SUBBASE	28000
MR SUBRASANTE	5250

NUMERO ESTRUCTURAL	
SN1 ASFALTO	1.272299233
SN2 BASE	1.272299233
SN3 SUBBASE	2.471412106

COEFICIENTE ESTRUCTURAL	
a1	0.364
a2	0.130
a3	0.130

COEFICIENTE DE DRENAJE	
m1	1
m2	0.80
m3	0.80

Formula	0.00
Formula	0.00
Formula	0.00

debe dar cero

ESPESOR CAPAS		
ALTURAS	pulgadas	cm
D1	3.499914502	9
D2	0	0
D3	11.49964761	29

DATOS ENTRADA
RESULTADOS

CALCULAR

ESPESOR ASUMIDO		
ALTURAS	pulgadas	cm
D1	3.543307087	9
D2	0	0

ESPESOR CAPAS		
ALTURAS	pulgadas	cm
D1	3.543307087	9
D2	0	0
D3	11.34837099	29

CHEQUEO OTRAS ALTERNATIVAS

Fuente: Elaboracion propia

Ilustración 16: Estructura diseñada método Aastho



Fuente: Elaboración propia

La estructura diseñada por el método Aastho se chequea por un método racional

7. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO USANDO SOFTWARE WINDEPAV 2.6 MÉTODO RACIONAL

Se realiza chequeo de la estructura diseñada por el método Aastho 93 para verificar comportamiento por fatiga y ahuellamiento. (estructura bicapa)

7.1 Parámetros elásticos de los materiales

7.1.1 Subrasante (mejoramiento)

Se calcula el módulo resiliente de la subrasante CBR 3.50 %

$Mr = 1500 * 3.50\%$
Mr = 5250 PSI= 369.11 kg/cm²

7.1.2 Base

Se calcula el módulo resiliente de la base granular 11.41732283" o 29 cms
E_n = 28.000 psi = 1968.60 kg/cm²

7.1.3 Carpeta asfáltica

Mezcla asfáltica MDC-19 con un Mr de 300000 psi (sugerido como mínimo teniendo encuenta velocidad de diseño y temperatura ambiente)

Mr = 300000 psi = 21092,10 kg/cm²
Altura carpeta asfáltica calculada 3.543307087" o 9 cms

7.1.4 Estimación de la relación de poisson

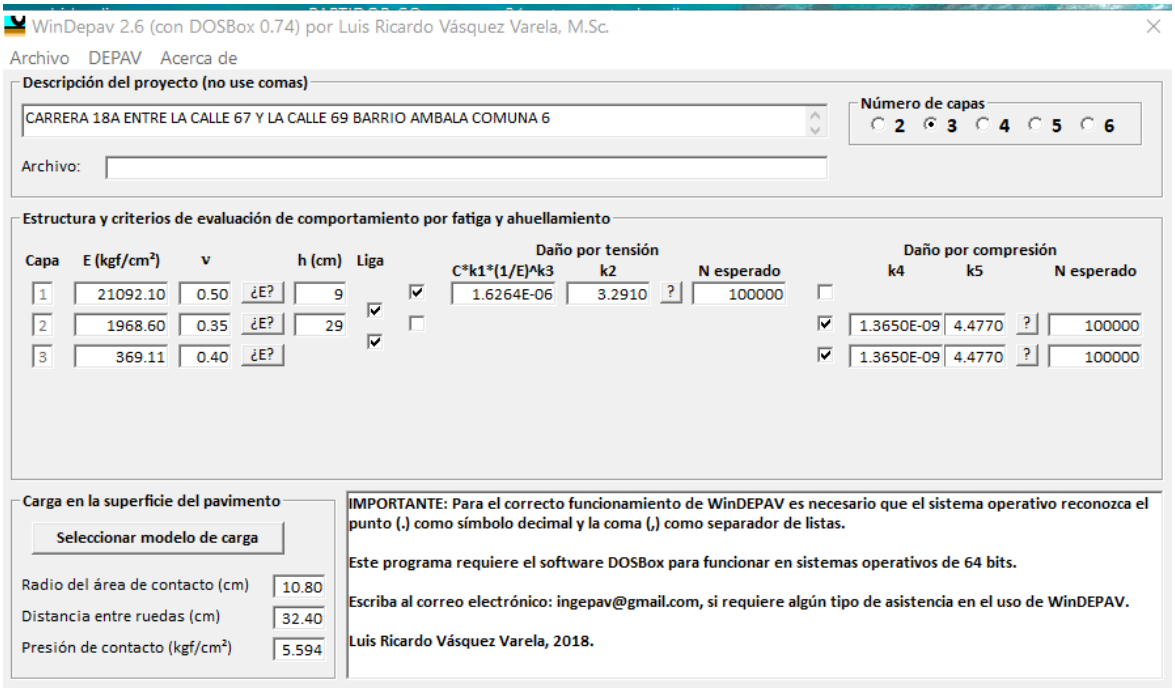
Subrasante $\boldsymbol{\upsilon}$ = 0.50
Base granular $\boldsymbol{\upsilon}$ = 0.35
Carpeta asfáltica $\boldsymbol{\upsilon}$ = 0.40

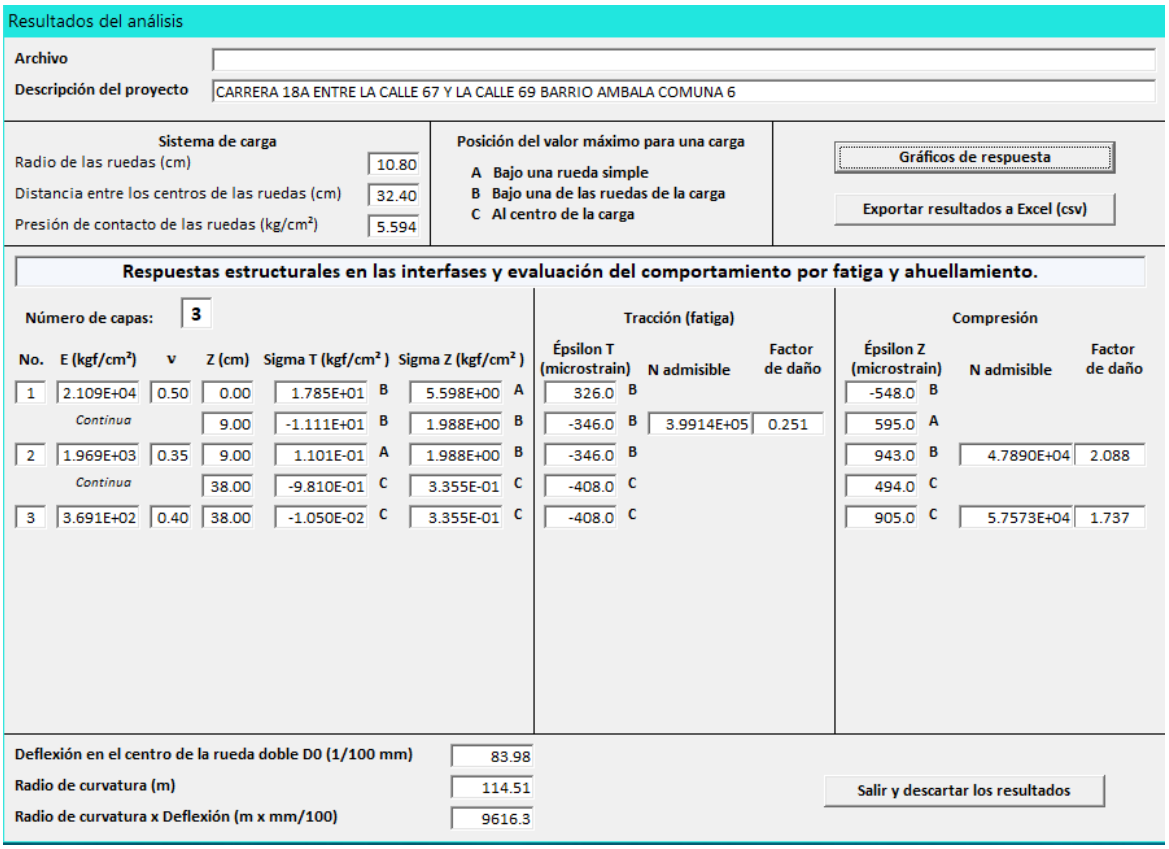
7.1.5 Tabla calculo estructura método racional

Al realizar el chequeo la estructura calculada por el método Aastho se debe cumplir en todas las capas que:

- El número admisible de ejes equivalentes calculado debe ser mayor que el número de ejes equivalentes esperados
- El factor daño debe ser inferior a la unidad

Se anexa cálculo utilizando el software WinDEPAV 2.6 ver cuadros





Fuente: Elaboración con software WinDEPAV 2.6

La carpeta asfáltica cumple por tracción (fatiga) el número admisible de ejes equivalentes calculado es Mayor que el número esperado 399140 > 100000 y el

factor daño calculado es MENOR a uno 0.251 < 1 OK cumple

La capa de base granular NO cumple por compresión (ahuellamiento) el número admisible de ejes equivalentes calculado es MENOR que el número admisible esperado 47890 < 100000 y el factor daño es MAYOR que uno 2.088 > 1 NO cumple

La subrasante NO cumple por compresión (ahuellamiento) el número admisible de ejes equivalentes es MENOR que el número admisible esperado 57573 < 100000 y el factor daño es MAYOR que uno 1.737 > 1 NO cumple

7.2 Tabla calculo estructura método racional solución

Se realizó una serie de cálculos y se recomienda la siguiente estructura que cumple por tracción (fatiga) y compresión (ahuellamiento)

7.3 Parámetros elásticos de los materiales

7.3.1 Subrasante (mejoramiento)

Se calcula el módulo resiliente de la subrasante CBR 3.50 %
$Mr = 369.11 kg/cm^2$

7.3.2 Base

Se calcula el módulo resiliente de la base granular (bicapa), una capa de 20 cms y la otra capa de 18 cms.
E_n = 31420.41 psi = 2209.07 kg/cm² (calculado para un espesor de 14.96062992” o 38 cms, para cada capa, teniendo encuenta la capa subyacente)

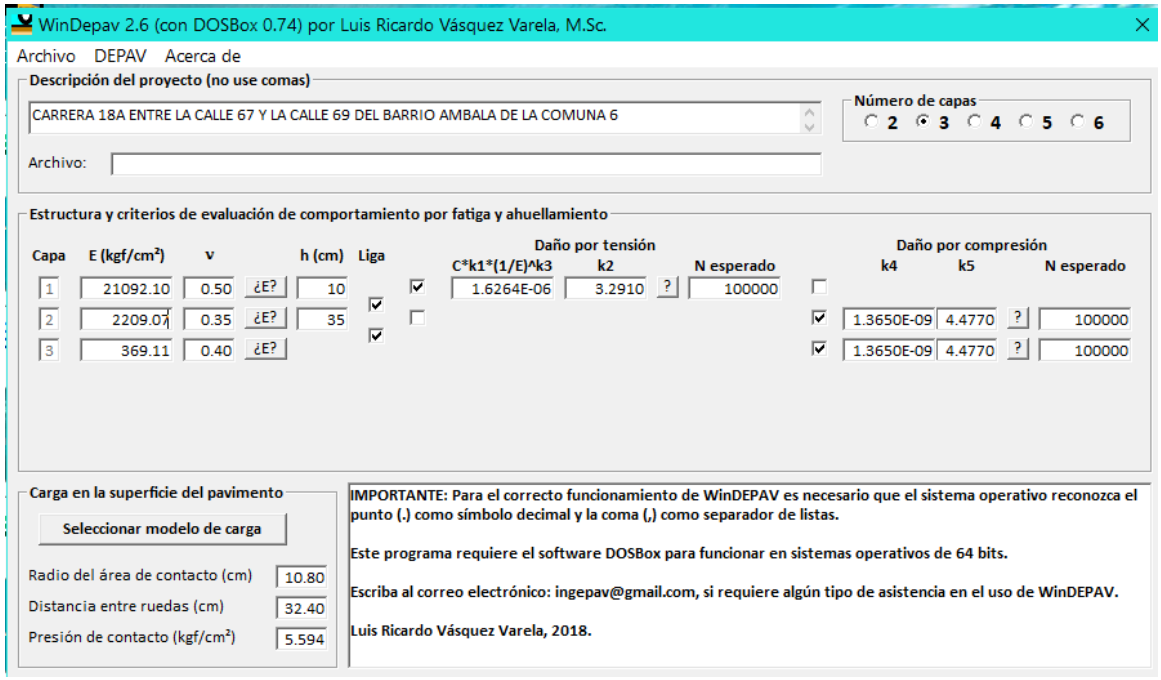
7.3.3 Carpeta asfáltica

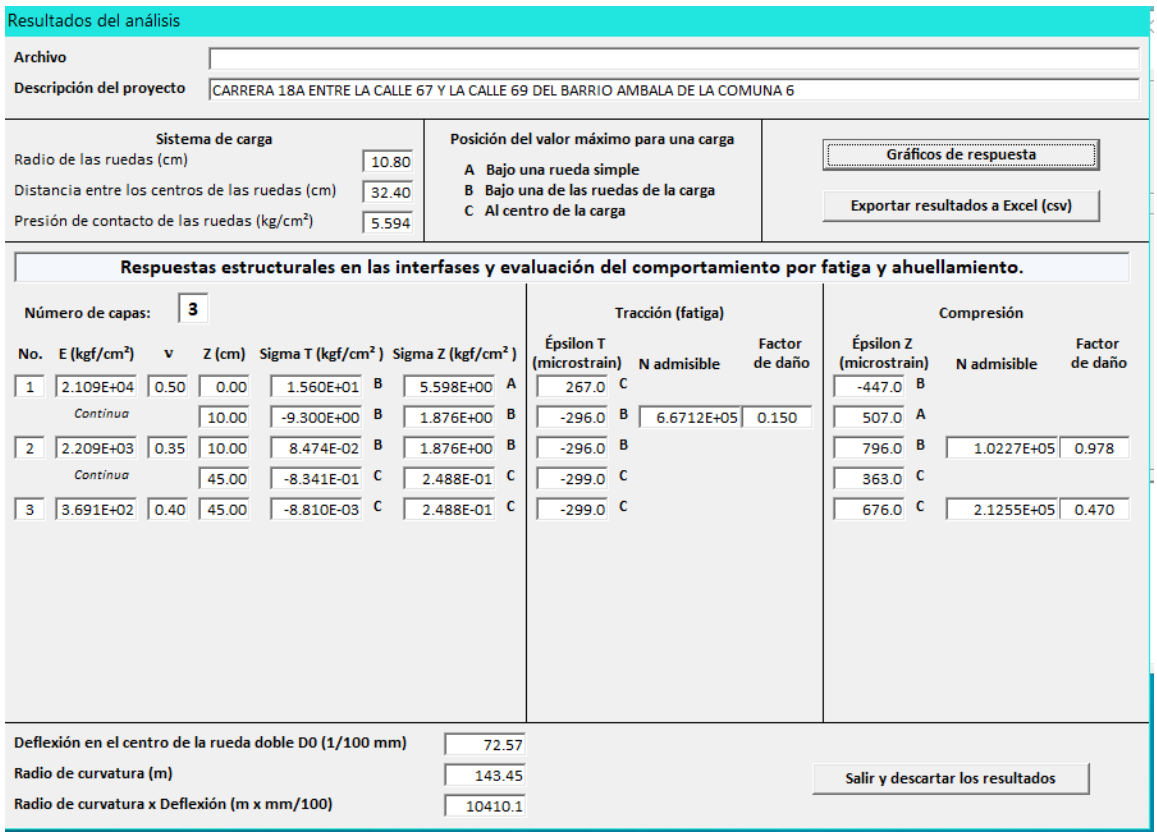
Mezcla asfáltica MDC-19 con un Mr de 300000 psi (sugerido como mínimo teniendo encuenta velocidad de diseño y temperatura ambiente) espesor de 10 cms

7.3.4 Estimación de la relación de poisson

Subrasante $\boldsymbol{\upsilon}$ = 0.50
Base granular $\boldsymbol{\upsilon}$ = 0.35
Carpeta asfáltica $\boldsymbol{\upsilon}$ = 0.40

Se anexa cálculo utilizando el software WinDEPAV 2.6 ver cuadros





Fuente: Elaboración con software WinDEPAV 2.6

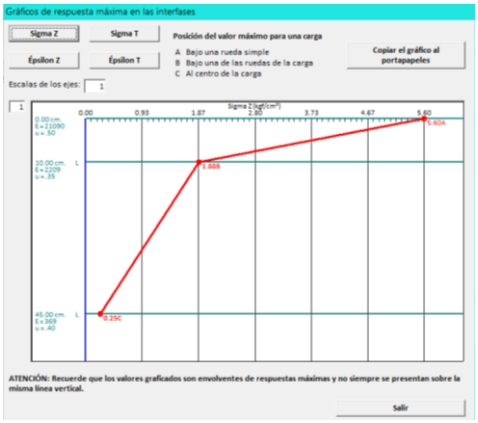
La carpeta asfáltica cumple por tracción (fatiga)

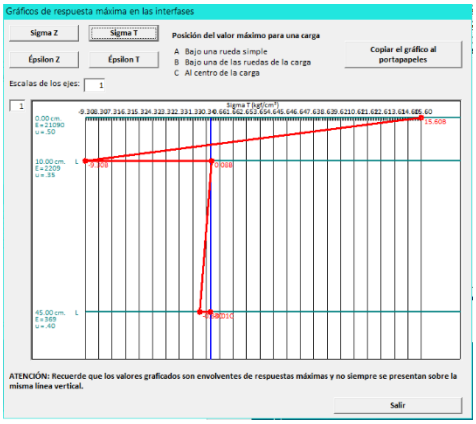
La carpeta asfáltica cumple por tracción (fatiga) el número admisible de ejes equivalentes calculado es Mayor que el número esperado 667120 > 100000 y el factor daño calculado es MENOR a uno 0.15 < 1 OK cumple

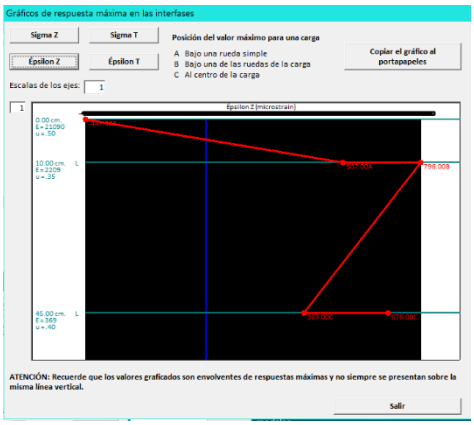
La capa de base granular (BICAPA) si cumple por compresión (ahuellamiento) el número admisible de ejes equivalentes calculado es MAYOR que el número admisible esperado 102270 > 100000 y el factor daño es MENOR que uno 0.978 <1 OK cumple

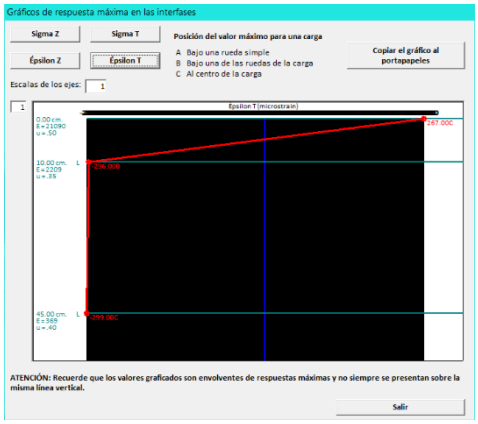
La subrasante SI cumple por compresión (ahuellamiento) el número admisible de ejes equivalentes es MAYOR que el número admisible esperado 212550 > 100000 y el factor daño es MENOR que uno 0.47 < 1 OK cumple

Ilustración 17: Graficas









Fuente: Elaboracion con software WinDEPAV 2.6

Ilustración 18: Estructura diseñada y chequea por fatiga y ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El estudio se ha desarrollado con la finalidad de rehabilitar la carrera 18A entre la calle 67 y la calle 69 del barrio Ambala de la comuna 6, del casco urbano del municipio de Ibagué

El tramo de la vía a rehabilitar se contempló en un solo sector homogéneo se evaluó partiendo de las características y propiedades geométricas propuestas para el corredor vial y su correspondiente análisis geológico teniendo en cuenta las variables de diseño geométrico, composición geológica (formaciones rocosas y superficiales), Tránsito y respuesta geotécnica de la subrasante medida a partir de CBR.

El cálculo estructural del pavimento de la vía a rehabilitar se desarrolló con base en las recomendaciones dadas por el INVIAS 2022, y siguiendo los lineamientos de los manuales de diseño para pavimentos flexibles

La estructura de pavimento definida por el método AASHTO, se calculó bicapa y se tomó como un predimensionamiento se proyectó a un periodo de diseño de quince (15) años para pavimento flexible o su equivalencia en tiempo hasta acumular el número de ejes equivalentes de 8.2 ton calculado en el diseño.

Para el cálculo del diseño de la estructura del pavimento que se recomienda, la secretaria de infraestructura del municipio suministro el estudio de suelos y el estudio de tránsito

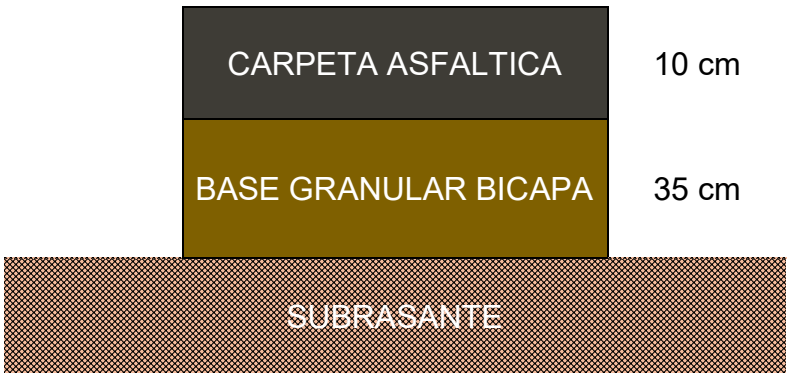
De acuerdo con la alternativa de diseño y considerando las ventajas, desventajas y tipología de fallas se recomienda que la estructura de pavimento sea de tipo flexible convencional, este tipo de pavimentos presenta un periodo de diseño de 15 años, requiriendo un mantenimiento rutinario, periódico y preventivo a fin de evitar fallas mayores en el pavimento que impliquen una intervención de tipo rehabilitación o cambio total de la estructura en las zonas afectadas.

El diseño de la estructura de pavimentos sugerido para esta vía (carrera de primer orden), es el que resulto de analizar el predimensionamiento realizado con el método Aastho 93 y chequearlo con el método racional.

La estructura resultado del método Ashton 93 no cumple para fatiga y ahuellamiento, por lo tanto, se calculó la estructura por el método racional

El diseño que cumple por fatiga y ahuellamiento es el que resulto de utilizar el

método racional y está conformado por una capa asfáltica de tipo MDC – 19, de 10 cms de espesor, apoyada en una capa de base granular (bicapa) tipo C, INVIAS BG - 27, (35 cms de espesor) está se apoya sobre la subrasante existente, la altura total de la estructura recomendada es de 45 cm



Fuente: elaboración propia

La carpeta asfaltica debe instalarse en dos capas

Luego de excavar en las profundidades establecidas según la alternativa de intervención implementada, se recomienda mediante el paso de una volqueta sencilla cargada sobre el material de subrasante, identificar las zonas de baja consistencia, las cuales, en caso de ser puntuales o localizadas, deberán ser intervenidas según lo acordado en obra conjuntamente entre el Contratista y la Interventoría.

No se debe permitir la extensión de ninguna capa de material de subbase granular en el diseño propuesto base granular, mientras no haya sido realizada la nivelación y la comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se puede construir la subbase granular en el diseño propuesto base granular en momentos en que haya lluvia o fundado temor que ella ocurra, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2 °C)

De acuerdo con la alternativa de diseño y considerando las ventajas, desventajas y tipología de fallas se recomienda que la estructura de pavimento sea de tipo flexible convencional, este tipo de pavimentos presenta un periodo de diseño de 15 años, requiriendo un mantenimiento rutinario, periódico y preventivo a fin de evitar fallas mayores en el pavimento que impliquen una intervención de tipo rehabilitación

Se debe llevar a cabo la nivelación de las diferentes capas conformadas de acuerdo a las cotas del diseño establecidas, de manera que se garantice el bombeo hacia los sitios de drenaje planteados en el diseño hidráulico; este bombeo debe

garantizarse desde el fondo de la excavación, de manera tal que los espesores diseñados correspondan en la totalidad de la sección transversal a lo requerido en el diseño.
Se debe evitar al máximo en la medida de lo posible que el material de subrasante quede expuesto a la acción de la lluvia, para lo cual se deberán realizar las excavaciones y conformaciones de material granular en el menor tiempo posible

En los sitios donde para la construcción de la estructura de pavimento existan ductos o redes de servicios, a profundidades inferiores al espesor total requerido para el pavimento, se deberá realizar una protección de los ductos usando un geotextil no tejido y luego fundiendo una placa de concreto de espesor y de módulo de rotura variable, dependiendo de cada situación en particular (tipo de ducto a proteger).

Se debe mantener permanente control en el proceso constructivo de las estructuras de pavimento, deberá verificarse que los equipos empleados cumplan con las Especificaciones Técnicas de Construcción definidas por el INVIAS, plasmadas en el documento Especificaciones Generales de Construcción 2022. Se debe tener un control estricto en la verificación de los espesores de las diferentes capas que conforman las estructuras de pavimento, ya que la conformación de capas con menores espesores a los obtenidos en el diseño ocasionara reducción de la vida útil proyectada del pavimento.

No se deberá extender materiales granulares sobre la capa de apoyo hasta verificar que la superficie sobre la cual se van a colocar cumpla con el espesor, la densidad, el CBR, las cotas y pendientes indicadas en los planos del proyecto. Los materiales granulares deberán cumplir con los parámetros mínimos establecidos en las Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS.

Se debe dejar un bombeo transversal mínimo del 2% y con la pendiente longitudinal se deberá garantizar que la escorrentía superficial pueda ser encausada efectivamente hacia los puntos de drenaje definidos en el diseño hidráulico.

La estructura de pavimento final debe tener una calidad tal que se garantice una superficie homogénea tanto en forma como en composición de materiales, y no deberá presentar fallos de ningún tipo; en caso de presentarse estos deberán corregirse previamente a la puesta en funcionamiento de la vía.

Se recomienda llevar un adecuado control de calidad de obra, mediante la realización de ensayos periódicos a los distintos materiales utilizados y las diferentes capas conformadas, de acuerdo con los ensayos mínimos exigidos en las

Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS.

Se debe mantener permanente control en lo que refiere a las condiciones ambientales de colocación de la mezcla asfáltica, preferiblemente se debe realizar en días secos donde no esté infundado el temor de lluvia, en caso de lluvia se deberá suspender la actividad inmediatamente y podrá ser retomada cuando se garantice una superficie de colocación libre de excesos de humedad; adicionalmente deberá verificarse la temperatura de instalación de la mezcla asfáltica.

El factor daño calculado para todas las capas es menor que 1.00 lo que nos arroja que el N esperado es menor que el N admisible indicando que el pavimento no va a fallar antes que finalice el periodo de diseño.

Se aclara que la secretaria de infraestructura sugirió un módulo de elasticidad para el asfalto de 300.000 psi por experiencias de procesos de vías adelantadas dentro del casco urbano, pero es obligación del contratista presentar antes de la construcción de la vía un método donde el resultado debe ser mayor o igual al sugerido.

Elaboró



Ing. José Hernan Ríos Riaño
Especialista en diseño y construcción de pavimentos
Secretaria de infraestructura