DISEÑO PAVIMENTO

GOBERNACIÓN DE
ARAUCA











Presentado a:
DEPARTAMENTO DE ARAUCA
SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA FISICA
DEPARTAMENTAL

Presentado por:
S&M SOLUCIONES PROFESIONALES SAS

Producto.
DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

OBJETO:	ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA
CONTIENE:	PRODUCTO DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
FECHA:	MARZO DE 2026

VERSIÓN	FECHA DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
V1	MARZO DE 2026	DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

ELABORÓ:

NOMBRE: SERGIO ANDRES CLARO LOPEZ
ESPECIALIDAD: ING. CIVIL MAGISTER INGENIERIA VIAL
R/L. S&M SOLUCIONES PROFESIONALES SAS
M.P. No.: 54202-406833 NTS

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 11
1. ANTECEDENTES GENERALES 12
1.1 Contexto del proyecto 12
1.2 Antecedentes de estudios técnicos 12
1.3 Antecedentes de intervención del corredor 12
1.4 Justificación de la actualización de estudios y diseños 13
1.5 Importancia estratégica del corredor 13
2. GENERALIDADES 13
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 13
3. ALCANCE 14
3.1 Alcance de la consultoría 14
3.2 Componentes técnicos 15
3.3 Actividades principales 15
3.4 Alcance específico en el sector Caño El Plato 15
3.5 Productos de la consultoría 16
3.6 Alcance del proyecto 16
4. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS. 16
4.1 OBJETO DEL ESTUDIO 16
4.1.1 Objetivo General 16
4.1.2 Objetivos Específicos 17
5. CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO. 17
6. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO 19
7. INVESTIGACIONES REALIZADAS 20
7.1 GEOLOGÍA DE LA ZONA. 20
7.1.1 Generalidades 20
7.1.2 Estratigrafía 20
7.1.3 Geomorfología 22
7.1.4 Amenazas por sismicidad 23
7.1.5 Amenazas por inundaciones 24
7.1.6 Reconocimiento de Campo 25
7.1.7 Características Ambientales 26
7.1.8 Clima 27

7.1.9 Hidrografía 28
7.2 GEOTECNIA 28
7.2.1 Investigación del Subsuelo 29
7.2.2 Metodología 29
7.2.3 Apiques 30
7.2.4 Localización de apiques o sondeos 31
7.2.5 Conformación del Subsuelo 34
8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 35
8.1 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN 35
8.2 Parámetros De Resistencia Medidos En Campo 36
8.3 SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO 38
8.4 Ajuste del CBR de diseño mediante el método de Ivanov 40
8.4.1 Fundamento del método 42
8.4.2 Aplicación al proyecto 42
8.5 ESTIMACIÓN DE TRÁNSITO DE DISEÑO 43
8.6 Modelo de actualización del TPD 49
8.7 TPD base de referencia 51
8.8 Componente de interacción con la vía Tame – Panamá 51
8.9 Contraste con el aforo de 7 días 53
8.10 Interpretación del TPD actualizado 53
8.11 Proyección anual del TPD 53
8.12 Composición vehicular proyectada 54
8.13 Análisis de resultados 54
8.13.1 Parámetros y Variables de Diseño 55
8.14 Datos base y supuestos del modelo de tránsito 55
8.15 Información base del estudio de tránsito 2013 55
8.16 Análisis de la serie histórica de la vía Tame – Panamá 56
8.17 Composición vehicular base 57
8.18 Integración de los supuestos en el modelo 58
8.19 Estimación de ejes equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL) 59
8.20 Parámetros de referencia 59
8.21 Cálculo de los ESAL acumulados 59

8.22 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.....61
8.22.1 Tránsito.....61
8.22.2 Confiabilidad.....61
8.22.3 Desviación Estándar Del Sistema (S_o).....64
8.22.4 Criterio De Comportamiento.....64
8.23 Método De Diseño Y Parámetros Adoptados.....65
8.23.1 Mezclas de Concreto Asfáltico para la Capa de Rodamiento y para Mezclas en Capas Intermedias (Distinta a Rodamiento).....68
a. Caso en que se conoce el Módulo Elástico de la mezcla asfáltica.....68
b. Caso en que NO se conoce el Módulo Elástico de la mezcla asfáltica.....69
8.23.2 Bases granulares no-tratadas.....69
8.23.3 Sub-bases granulares no-tratadas.....70
8.23.4 Características estructurales del pavimento.....71
8.23.5 Dimensionamiento De Pavimentos Flexibles Método AASHTO.....73
8.23.6 Dimensionamiento De Pavimentos Flexibles Método INVIAS.....74
8.23.7 CALCULO DE ESFUERZOS DEFORMACIONES Y DEFLEXIONES DE SERVICIO EN LA ESTRUCTURA PLANTEADA POR MEDIO DEL PROGRAMA DEPAV.....78
8.23.8 DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....81
8.23.9 Capas Del Pavimento.....85
8.23.10 Fuentes De Materiales.....85
9. CONCLUSIONES.....86
10. RECOMENDACIONES.....88
11. BIBLIOGRAFÍA.....89
12. ANEXOS.....89

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1– Localización del proyecto vial Tame – Puerto Rondón, sector Caño El Plato, Departamento de Arauca. 14

Imagen No. 2 Clima De Arauca. 18

Imagen No. 3 Precipitación Total Anual Región de la Orinoquia 18

Imagen No. 4 Precipitación Departamento de Arauca 19

Imagen No. 5– Geología General del Departamento de Arauca. 20

Imagen No. 6 Mapa geológico del Departamento de Arauca (2023). 22

Imagen No. 7 Polígonos morfológicos del Departamento de Arauca. 23

Imagen No. 8 Mapa de sismos que ocurridos en el Departamento de Arauca 24

Imagen No. 9 Mapa de amenazas por inundación del Departamento de Arauca 25

Imagen No. 10 Sondeos de Reconocimiento de Campo. 26

Imagen No. 11 Caracterización del territorio del Departamento de Arauca. 27

Imagen No. 12 Localización de Apiques 33

Imagen No. 13 Valores de CBR. 38

Imagen No. 14 CBR representativo de la subrasante 39

Imagen No. 15 – Localización de Estaciones de Aforo Vehicular 44

Imagen No. 16 – Estaciones de Aforo Vehicular 45

Imagen No. 17 – Esquema de clasificación de vehículos 46

Imagen No. 18 – Criterio de confiabilidad estadística 62

Imagen No. 19 – Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas de concreto asfáltico densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o capas intermedias, a partir del Módulo de Elasticidad 69

Imagen No. 20 – Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall 69

Imagen No. 21 – Valores del coeficiente estructural (a2) para bases granulares no-tratadas 70

Imagen No. 22 – Valores del coeficiente estructural (a3) para subbases granulares no-tratadas 71

Imagen No. 23 – Valores del coeficiente estructural (a3) para subbases granulares no-tratadas 76

Imagen No. 24 – Calculo De Esfuerzos Deformaciones Y Deflexiones De Servicio 78

Imagen No. 25 – Calculo De Esfuerzo y Deformación Admisible 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Estaciones activas IDEAM cerca de la zona de estudio. 27
Tabla 2 – Localización y profundidad de los Apiques. 32
Tabla 3 – Cantidad total de ensayos ejecutados en campo y laboratorio. 34
Tabla 4 porcentaje USCS en el proyecto. 34
Tabla 5 Características del Suelo de Subrasante. 35
Tabla 6 – Parámetros de resistencia CBR (Inalterado – Sumergido - PDC). 37
Tabla 7 – Límites para selección de resistencia 38
Tabla 8 – Valores de CBR ordenados 39
Tabla 9 Clasificación del suelo de acuerdo al CBR. 40
Tabla 10 – Determinación del CBR equivalente de la subrasante mediante el método de Ivanov considerando el mejoramiento existente. 43
Tabla 11 – Volúmenes de Tránsito. 48
Tabla 12 – Modelo de actualización del TPD. 50
Tabla 13 – Serie Histórica y composición de tránsito INVIAS Regional N°7. 52
Tabla 14 – Datos Base para Modelo de Tránsito. 56
Tabla 15 – Resumen Serie Histórica Vía Tame - Panamá. 56
Tabla 16 – Análisis y Parámetros Adoptados de la Serie Histórica Vía Tame - Panamá. 57
Tabla 17 – Composición vehicular 2013 58
Tabla 18 – Datos para estimación de ESAL 60
Tabla 19 – Estimación de ejes equivalentes de 8,2 t - periodo 2026-2035 60
Tabla 20 – Niveles Recomendados de Confiabilidad (R) 63
Tabla 21 – Valores de Z_R en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad 64
Tabla 22 – Recomendados para la Desviación Estándar (S_o) 64
Tabla 23 – Recomendados para la Desviación Valores de Pt 65
Tabla 24 – Recomendados para la Desviación Valores de Pt 71
Tabla 25 – Calculo Estructura de Pavimento Método AASHTO 73
Tabla 26 – Alternativa 1 Estructura de Pavimento Método AASHTO 74
Tabla 27 – Calculo Estructura de Pavimento Método INVIAS 75
Tabla 28 – Alternativa 2 Estructura de Pavimento Método INVIAS 77
Tabla 29 – Control de Esfuerzos y Deformaciones 80

Tabla 30 – Franjas granulométricas para subbase granular (SBG-1 y SBG-2) 82

Tabla 31 – Franjas granulométricas del material de base granular 83

LISTA DE SIGLAS

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
AU: Autopistas Urbanas
B: Bermas
BEC: Base estabilizada con cemento
BG: Base granular
C2G: Camión de dos ejes grandes
C2P: Camión de dos ejes pequeños
C3: Camión de tres ejes grandes
C4: Camión de cuatro ejes grandes
C5: Camión de cinco ejes grandes
CC: Concatenación Circular Compuesta
CE: Punto de empalme entre el circulo y la espiral
>C5: Camión de más de cinco ejes grandes
D: Dovelas
DNP: Departamento Nacional de Planeación
EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial
PMT: Plan de Manejo de Tránsito
POT: Plan de Ordenamiento Territorial
TPDs, TPDm, TPDa: Tránsito Promedio Diario calculado con base en un conteo semanal -s-, mensual -m- o anual -a- respectivamente

LISTA DE ACRÓNIMOS

AASTHO: American Association of State Highway Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes)
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IDU: Instituto de Desarrollo Urbano
INVIAS: Instituto Nacional de Vías.

GLOSARIO

AFORO: Es la numeración y clasificación de los vehículos que pasan por un punto de una vía.
AUTOMOVIL: Vehículo automóvil de cuatro ruedas para circular por tierra, que se dirige mediante un volante, está destinado al transporte de personas

BERMA: Parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia.

BUS: Vehículo automotor destinado al transporte colectivo de personas y sus equipajes

CALZADA VEHICULAR: Es una franja física y geométricamente definida mediante un eje en planta, una rasante, peraltes y un ancho total determinado por el ancho y cantidad de carriles y las dimensiones de las bermas (las bermas solo aplican para el caso de autopistas urbanas). Su función es soportar un determinado tráfico vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros.

CAMION: Vehículo automotor que por su tamaño y peso se usa para transportar carga o mercancía

DISEÑO DE PAVIMENTO: Consiste en la determinación de los espesores de cada capa que constituye la sección estructural del pavimento, la cual permitirá soportar las cargas durante un periodo de tiempo determinado.

ESTUDIO DE TRANSITO: Insumo fundamental para el desarrollo general del proyecto, el cual comprende cuatro etapas principales: recolección y análisis de la información, modelación situación actual y con proyecto, pronósticos del tránsito y evaluación de alternativas.

SUBRASANTE: Es el suelo de fundación de la estructura del Pavimento.

TRÁFICO: Se refiere a la cantidad de vehículos, peatones o productos que pasan a través de un punto específico durante un periodo determinado de tiempo.

TRÁNSITO: Relativo a la movilización de vehículos, peatones o productos.

URBANISMO: Estudio de la planificación y ordenación de las ciudades y del territorio.

VIA: Espacio donde se desarrolla el tránsito. Se denomina vía a toda calle, carretera o camino abierto al uso público

VOLUMEN: Número de vehículos que cruzan un punto durante determinado lapso de tiempo.

INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al desarrollo del diseño de la estructura de pavimento para el proyecto "Actualización de los estudios técnicos y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial en la vía Tame – Puerto Rondón, departamento de Arauca", con énfasis en el sector correspondiente a Caño El Plato.

Este diseño se formula como parte de la actualización integral de los estudios realizados en el año 2013, mediante el contrato de consultoría No 121 de 2013, tomando como base la información técnica histórica existente y complementándola con los resultados obtenidos en los estudios recientes de tránsito, geológico, geotecnia y suelos, drenaje vial, geométrico, etc., así como el análisis de las condiciones actuales del corredor vial.

En este contexto, el diseño de pavimento se fundamenta en la caracterización actualizada de la subrasante, obtenida mediante campañas de exploración y ensayos de laboratorio, que permitieron definir parámetros representativos como la capacidad de soporte (CBR), condiciones de humedad, variabilidad estratigráfica y comportamiento geotécnico del terreno.

De igual manera, se incorporan los resultados del estudio de tránsito actualizado, mediante el cual se determinaron los volúmenes vehiculares actuales, la composición del tránsito y la estimación de ejes equivalentes de carga (ESAL), proyectados a un horizonte de diseño acorde con las condiciones del proyecto. Estos parámetros constituyen la base para la evaluación de las solicitaciones estructurales que deberá soportar el pavimento durante su vida útil.

El proceso de diseño considera además las condiciones particulares del corredor, caracterizado por su localización en una llanura aluvial con suelos finos de baja permeabilidad, alta susceptibilidad a saturación y presencia de niveles freáticos elevados, lo cual influye directamente en el desempeño estructural del pavimento y en la necesidad de implementar soluciones adecuadas de drenaje y mejoramiento del terreno.

Adicionalmente, se tiene en cuenta la existencia de intervenciones previas en el corredor, incluyendo la construcción de terraplenes y capas de mejoramiento granular, cuya condición actual fue verificada en campo y considerada dentro del análisis estructural, con el fin de evaluar su aprovechamiento dentro de la solución de diseño.

El objetivo principal de este informe es definir una estructura de pavimento técnicamente viable, funcional y duradera, que responda a las condiciones actuales y futuras de tránsito, garantice un adecuado comportamiento estructural y minimice los costos de mantenimiento durante su vida útil, en concordancia con las metodologías y lineamientos establecidos por el INVIAS y las prácticas de ingeniería vial aplicables en Colombia.

Finalmente, el diseño propuesto busca asegurar la transitabilidad continua del corredor, mejorar los niveles de servicio y contribuir al desarrollo socioeconómico de la región, mediante una solución integral que articule los diferentes componentes técnicos del proyecto.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 CONTEXTO DEL PROYECTO

La presente consultoria se enmarca en la actualización de los estudios técnicos y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial en la vía Tame – Puerto Rondón, en el departamento de Arauca, corredor de carácter estratégico para la conectividad subregional del piedemonte y la sabana araucana.

Esta vía cumple una función esencial de articulación entre el municipio de Tame y el municipio de Puerto Rondón, facilitando la movilidad de población rural y urbana, el transporte de bienes y servicios, y el acceso a actividades productivas, institucionales y sociales en la región. Así mismo, el corredor permite la conexión con otros ejes viales de mayor jerarquía, consolidándose como parte fundamental de la red vial departamental.

Desde el punto de vista territorial, el corredor ha sido reconocido por la institucionalidad departamental y nacional como una vía de alto impacto para la integración regional, debido a su papel en la conectividad entre centros poblados, zonas productivas y áreas de desarrollo económico.

1.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS TÉCNICOS

El corredor vial ha sido objeto de estudios técnicos previos que han permitido caracterizar sus condiciones de operación, demanda de tránsito, capacidad y nivel de servicio, constituyendo una base de referencia para las intervenciones adelantadas en el mismo.

Estos estudios identificaron el corredor como parte de la red vial departamental y definieron criterios técnicos para su mejoramiento, incluyendo análisis de tránsito, proyección de demanda y evaluación de la infraestructura existente. En particular, se estableció como tramo de estudio el sector comprendido entre el municipio de Tame y el municipio de Puerto Rondón, dentro del cual se incluyen zonas críticas que condicionan el comportamiento funcional de la vía.

1.3 ANTECEDENTES DE INTERVENCIÓN DEL CORREDOR

Como resultado de los estudios previos y de la priorización del corredor, se han adelantado intervenciones orientadas al mejoramiento y pavimentación de la vía, mediante contratos de obra que incluyeron actividades de adecuación de la subrasante, construcción de estructuras de soporte, capas granulares y pavimentación en distintos sectores.

La ejecución de dichas intervenciones presentó avances importantes, pero también evidenció la existencia de sectores con condiciones particulares que requieren tratamientos específicos, especialmente en zonas donde las características geotécnicas, hidráulicas y geomorfológicas generan afectaciones recurrentes en la estabilidad y funcionalidad de la vía.

En este contexto, el sector de Caño El Plato se identifica como un tramo crítico dentro del corredor, en el cual se presentan condiciones especiales que demandan un análisis detallado y soluciones técnicas específicas para garantizar la estabilidad de la infraestructura vial y su adecuada operación a largo plazo.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS

La existencia de estudios previos y de intervenciones parciales en el corredor hace necesaria una actualización integral de los estudios y diseños, con el fin de armonizar la información disponible y ajustarla a las condiciones actuales de la vía.

Esta actualización permitirá verificar el estado real de la infraestructura, identificar cambios en las condiciones de tránsito, drenaje, suelos, geometría y estructura del pavimento, y definir soluciones técnicas acordes con las necesidades actuales y futuras del corredor.

Particularmente, la consultoría se orienta a profundizar el análisis en sectores críticos, destacándose el tramo correspondiente a Caño El Plato, donde se requiere evaluar de manera integral las condiciones de estabilidad, drenaje y comportamiento estructural de la vía, con el propósito de plantear alternativas de intervención técnicamente viables y sostenibles.

1.5 IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DEL CORREDOR

La vía Tame – Puerto Rondón tiene una alta importancia estratégica para el departamento de Arauca, al contribuir a la integración territorial, la reducción de tiempos de viaje y costos de transporte, y el fortalecimiento de las dinámicas económicas y sociales de la región.

El mejoramiento de este corredor favorece la conectividad entre áreas rurales y centros urbanos, facilita el acceso a servicios básicos y promueve el desarrollo de sectores productivos como la ganadería, la agricultura y el comercio, consolidándose como un eje fundamental para el desarrollo regional.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el departamento de Arauca, en el oriente de Colombia, y corresponde al corredor vial que comunica el municipio de Tame con el municipio de Puerto Rondón. Este tramo hace parte de la red vial departamental y se desarrolla en la región de la Orinoquia, caracterizada por zonas de sabana con predominio de actividades agropecuarias.

El corredor se extiende entre las abscisas K27+240 y K41+640; sin embargo, la pavimentación se realizará entre K27+620 y K29+366,60, para una longitud de 1.746,60 m. Dentro de este tramo se encuentra el puente sobre el Caño El Plato, de aproximadamente 20 m, por lo que la longitud efectiva

de pavimento es de 1.726,60 m, aunque para el diseño geométrico se considera la totalidad del tramo. En el resto del corredor, que ya se encuentra pavimentado, se ejecutarán actividades de señalización vial y rocería lateral, con el fin de mejorar la seguridad y visibilidad de la vía.

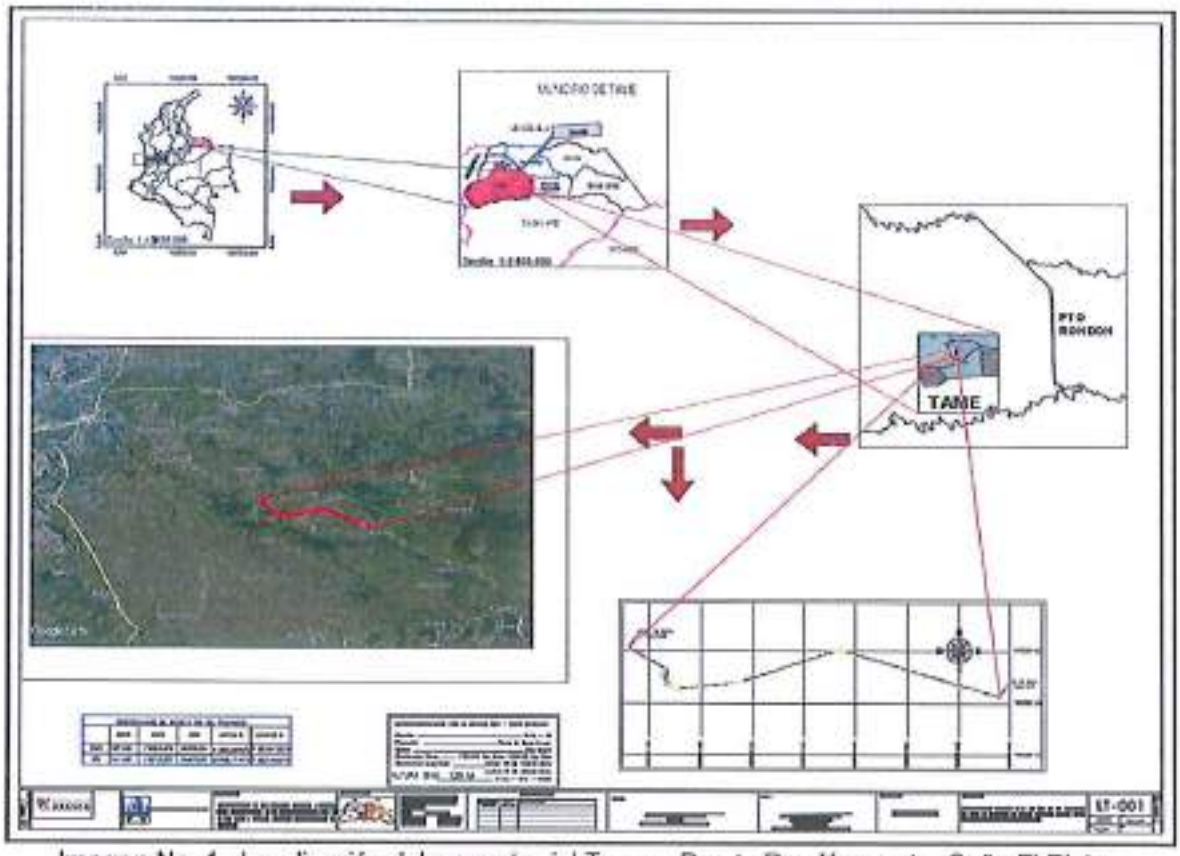


Imagen No. 1– Localización del proyecto vial Tame – Puerto Rondón, sector Caño El Plato, Departamento de Arauca.
Fuente: Equipo consultor.

3. ALCANCE

3.1 ALCANCE DE LA CONSULTORÍA

La presente consultoría tiene como objeto la actualización de los estudios técnicos y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial en la vía Tame – Puerto Rondón, departamento de Arauca, con énfasis en el sector correspondiente a Caño El Plato.

El alcance comprende la revisión, validación y actualización de la información técnica existente, así como la generación de nuevos estudios y diseños necesarios para definir soluciones integrales que permitan garantizar condiciones adecuadas de funcionalidad, estabilidad, seguridad y servicio del corredor vial.

3.2 COMPONENTES TÉCNICOS

La consultoría incluye el desarrollo y/o actualización de los siguientes componentes técnicos:

- **Topografía:** levantamiento y/o validación de información planimétrica y altimétrica del corredor vial.
- **Geotecnia:** caracterización de suelos, análisis de estabilidad y definición de parámetros para diseño.
- **Hidrología e hidráulica:** evaluación de escorrentías, drenaje superficial y estructuras hidráulicas.
- **Tránsito:** actualización de volúmenes de tránsito, composición vehicular y proyecciones.
- **Diseño geométrico:** revisión y ajuste del trazado en planta, perfil y sección transversal.
- **Diseño de pavimentos:** definición de la estructura de pavimento acorde con las condiciones de tránsito y subrasante.
- **Señalización y seguridad vial:** diseño de señalización horizontal, vertical y elementos de seguridad.
- **PMT (Plan de Manejo de Tránsito):** formulación de estrategias para la regulación del tránsito durante la ejecución de las obras.
- **Presupuesto y programación:** cuantificación de cantidades de obra, costos y programación de ejecución.
- **Gestión ambiental:** identificación de condicionantes y requerimientos asociados al proyecto.

3.3 ACTIVIDADES PRINCIPALES

Para el cumplimiento del objeto, se desarrollarán, entre otras, las siguientes actividades:

- Revisión y análisis de información secundaria disponible.
- Reconocimiento de campo y diagnóstico del estado actual del corredor.
- Levantamiento de información primaria en las diferentes disciplinas.
- Evaluación de condiciones existentes de la infraestructura vial.
- Identificación de sectores críticos y necesidades de intervención.
- Formulación y evaluación de alternativas de solución.
- Desarrollo de diseños a nivel de detalle requerido.
- Elaboración de memorias de cálculo, planos, especificaciones y documentos técnicos.
- Integración de los diferentes componentes en una solución coherente y ejecutable.

3.4 ALCANCE ESPECÍFICO EN EL SECTOR CAÑO EL PLATO

Dentro del corredor objeto de estudio, la consultoría se enfoca de manera particular en el sector de Caño El Plato, en el cual se desarrollará un análisis detallado de las condiciones existentes y se formularán soluciones técnicas orientadas al mejoramiento de la infraestructura vial en dicho tramo.

Este análisis incluirá la evaluación integral de las condiciones geométricas, geotécnicas, hidráulicas y estructurales, con el fin de garantizar la viabilidad técnica de las intervenciones propuestas.

3.5 PRODUCTOS DE LA CONSULTORÍA

Como resultado del desarrollo de la consultoría, se entregarán los siguientes productos:

- Informes técnicos por cada componente del proyecto.
- Planos de diseño en planta, perfil y secciones transversales.
- Memorias de cálculo y soporte técnico de los diseños.
- Especificaciones técnicas de construcción.
- Presupuesto detallado y análisis de precios unitarios.
- Cronograma de ejecución del proyecto.

3.6 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del proyecto se orienta a contar con estudios y diseños actualizados que permitan adelantar las obras de mejoramiento del corredor vial, garantizando su funcionalidad, durabilidad y seguridad, así como la adecuada articulación con la red vial existente.

4. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS.

El presente informe tiene como finalidad presentar una propuesta de diseño de estructura de pavimento por los métodos comúnmente utilizados, teniendo en cuenta los parámetros principales de diseño Tales como son el clima, el tipo las características y capacidad del suelo del sector, y las características del tránsito que circula por las vías en estudio, para el proyecto ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA, dentro de la localización y alcance señalados en los capítulos anteriores.

En el siguiente documento se observan las investigaciones geotécnicas, análisis de capacidad portante, Transito de diseño y el clima predominante en la región datos relevantes para el estudio a realizarse y para la posterior construcción, los cuales fueron obtenidos y tomados de cada uno de los estudios que hacen parte de la consultoría en desarrollo.

4.1 OBJETO DEL ESTUDIO

4.1.1 Objetivo General

Definir la estructura de pavimento para el mejoramiento de la vía Tame – Puerto Rondón, sector Caño El Plato, mediante la actualización del diseño realizado en el año 2013, integrando la información

reciente de tránsito, geotecnia y condiciones actuales del corredor, con el fin de garantizar un adecuado desempeño estructural, funcionalidad y durabilidad durante el periodo de diseño.

4.1.2 Objetivos Específicos

- Analizar y validar la información del diseño de pavimento desarrollado en el año 2013, identificando sus criterios, parámetros y limitaciones frente a las condiciones actuales del proyecto.
- Determinar los parámetros de diseño de la subrasante a partir de los estudios geotécnicos actualizados, incluyendo la capacidad de soporte (CBR), condiciones de humedad, estratigrafía y variabilidad del suelo.
- Establecer el tránsito de diseño mediante la interpretación del estudio de tránsito actualizado, incluyendo el cálculo y proyección de ejes equivalentes (ESAL) para el horizonte de diseño.
- Evaluar las condiciones actuales de la estructura existente (terraplén y capas de mejoramiento), con el fin de definir su posible aprovechamiento dentro de la solución de diseño.
- Definir los criterios de diseño de pavimento conforme a las metodologías adoptadas (INVIAS / AASHTO u otra que estés usando), considerando confiabilidad, periodo de diseño, drenaje y condiciones ambientales.
- Dimensionar los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento (subbase, base y carpeta de rodadura), garantizando su capacidad para soportar las cargas de tránsito proyectadas.
- Proponer alternativas de estructura de pavimento técnica y económicamente viables, acordes con las condiciones del proyecto y disponibilidad de materiales en la región.
- Incorporar consideraciones de drenaje y mejoramiento de subrasante que permitan mitigar efectos de saturación, nivel freático alto y condiciones propias de la zona.
- Verificar el desempeño estructural de la solución adoptada frente a los criterios de falla (fatiga, deformación permanente u otros aplicables).
- Generar las recomendaciones técnicas para la construcción, mantenimiento y control de calidad de la estructura de pavimento diseñada.

5. CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO.

El clima de Arauca es cálido – semihumedo.

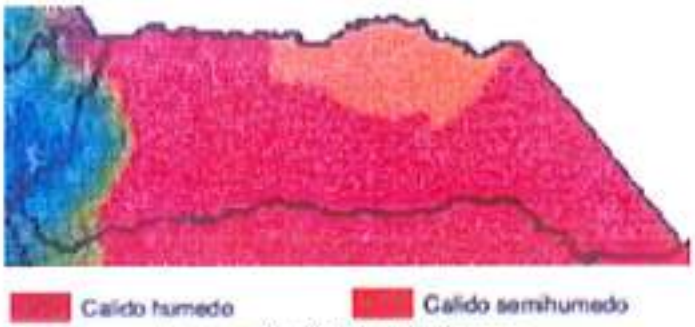


Imagen No. 2 Clima De Arauca.
Fuente: IDEAM

El período de invierno es la estación lluviosa que se inicia generalmente en abril y se prolonga hasta mediados de octubre o noviembre. Los mayores volúmenes de precipitación ocurren entre mayo y agosto, lapso en que el volumen pluviométrico supera los trescientos (300) milímetros promedio por mes y una buena parte de la sabana se inunda. (Aeronáutica Civil, Arauca. Informe de sistema biofísico, 2011).

El período seco tiene una duración de seis meses, entre noviembre y marzo. Durante esta época hay presencia de vientos alisios, y la escala de precipitaciones está por debajo de 31 mm. promedio por mes; para un promedio anual de 166.84 mm y un total por año que supera los 1.950 mm. En el período de verano el panorama sabanero se ve afectado considerablemente por la sequía.

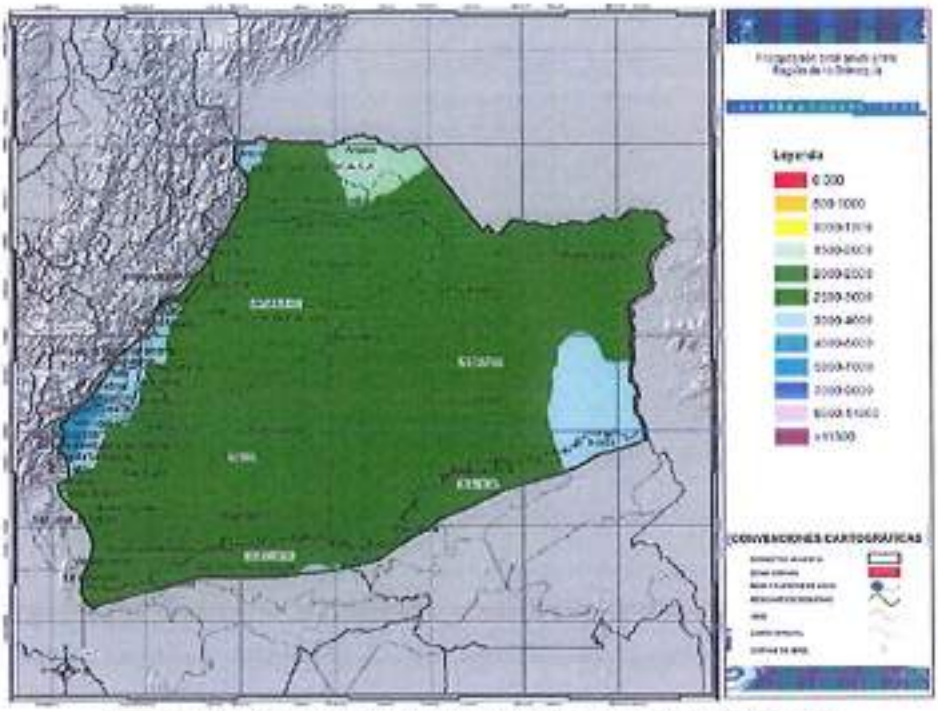


Imagen No. 3 Precipitación Total Anual Región de la Orinoquia
Fuente: IDEAM

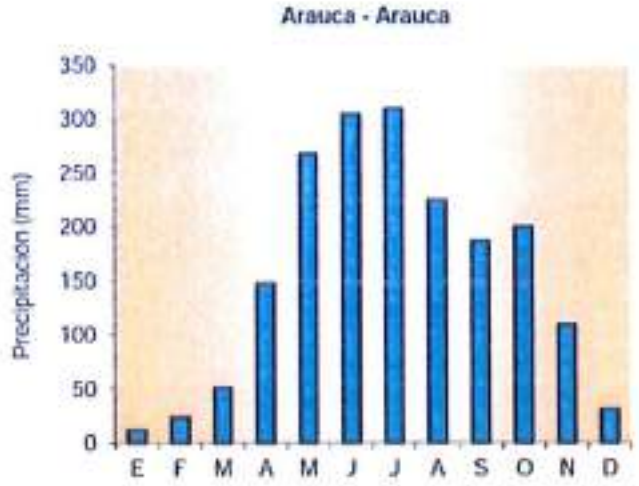


Imagen No. 4 Precipitación Departamento de Arauca
Fuente: IDEAM

Arauca tiene una temperatura promedio anual de 27 °C y una humedad relativa de 77%. El departamento de Arauca recibe la influencia de los vientos alisios del noroeste y del sureste, provenientes de las zonas de altas presiones subtropicales del norte y sur respectivamente, que se dirigen a la zona de baja presión ecuatorial. En el verano se presentan vientos fuertes que podrían ser aprovechados para accionar molinos, extraer agua y producir energía.

6. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Corresponde a la ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA.

El proyecto consiste en mejorar las condiciones del terreno para poder construir una estructura pavimento.

La superficie del terreno por donde se construirá el pavimento es de topografía plana, con pendiente promedio menor a 1%.

Las zonas adyacentes a la vía presentan ocupación por fincas de producción agrícola y ganadera, ya que las vías se encuentran dentro de la zona rural del municipio de Tame.

7. INVESTIGACIONES REALIZADAS

7.1 GEOLOGÍA DE LA ZONA.

7.1.1 Generalidades

El área objeto del presente estudio se localiza en jurisdicción del municipio de Tame, departamento de Arauca, en la región de la Orinoquía colombiana, específicamente en la zona de transición entre el piedemonte de la Cordillera Oriental y la llanura aluvial de los Llanos Orientales.

Desde el punto de vista geológico regional, el área se encuentra en el ámbito de la Plancha 138 – Tame del Servicio Geológico Colombiano (SGC), la cual comprende unidades geológicas que abarcan desde el Cretácico inferior hasta depósitos cuaternarios recientes, evidenciando una evolución geológica asociada a procesos de sedimentación marina, continental y fluvial.

El relieve del área es predominantemente plano a suavemente ondulado, con influencia directa de procesos fluviales activos, lo cual condiciona la distribución de los materiales superficiales y el comportamiento geotécnico del terreno.

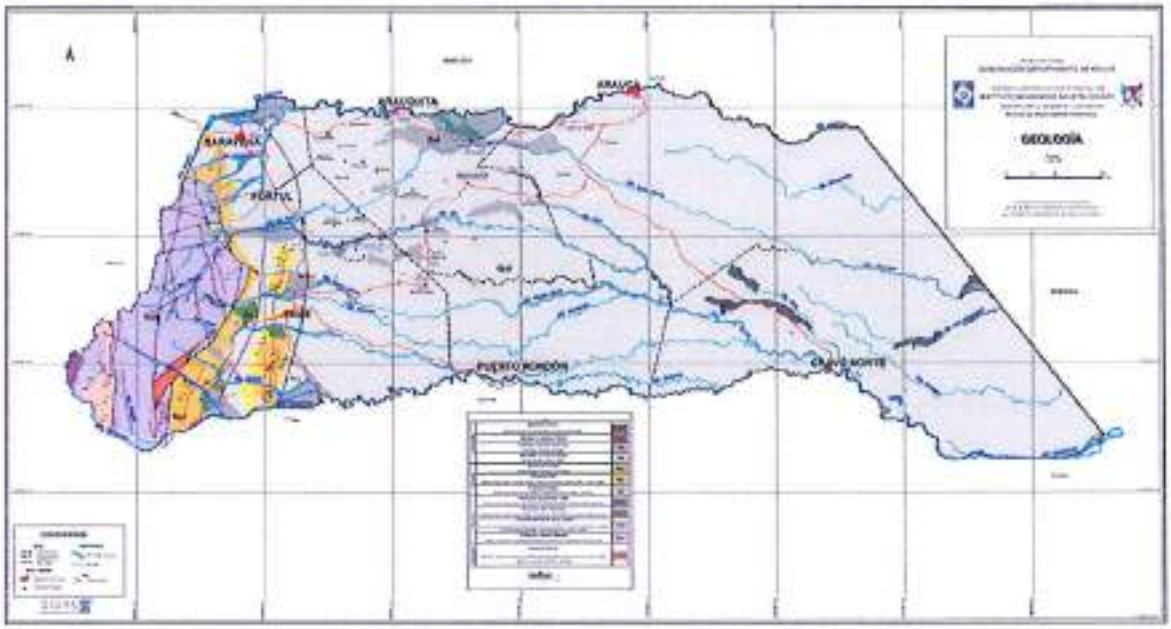


Imagen No. 5– Geología General del Departamento de Arauca.
Fuente: SIGAC.

7.1.2 Estratigrafía

En el área de estudio predominan los depósitos cuaternarios no consolidados, asociados principalmente a ambientes continentales recientes.

Se identifican las siguientes clases de depósitos:

Depósitos aluviales (Qal):

Asociados a cauces activos y zonas de inundación. Están constituidos por mezclas de arenas, limos y arcillas, con presencia variable de gravas y cantos rodados. Presentan alta heterogeneidad lateral y variabilidad en su grado de compactación.

Depósitos de llanura de inundación (Qf):

Conformados principalmente por limos y arcillas de baja permeabilidad, producto de sedimentación en ambientes de baja energía. Son suelos generalmente blandos, con alta susceptibilidad a saturación.

Depósitos coluvio–aluviales (Qca):

Ubicados en zonas de transición hacia el piedemonte. Corresponden a materiales heterogéneos compuestos por fragmentos gruesos (gravas y bloques) inmersos en una matriz fina (limosa o arcillosa), producto de transporte gravitacional y fluvial.

Depósitos de terraza aluvial (Qt):

Materiales relativamente más consolidados que los depósitos recientes, ubicados en niveles ligeramente elevados respecto a los cauces actuales. Están constituidos por arenas, limos y gravas, con mejores condiciones de drenaje.

Depósitos antrópicos (Qa):

Asociados a intervenciones humanas, principalmente terraplenes y mejoramientos viales. En el área de estudio corresponden a materiales tipo pedraplén y material granular (crudo), con tamaños máximos del orden de 4", utilizados en la conformación de la estructura vial existente.

Con base en los apiques ejecutados, se identificó una secuencia típica compuesta por:

- Capa vegetal superficial.
- Horizontes de suelos finos (limos y arcillas).
- Capas de mejoramiento granular (rellenos antrópicos).

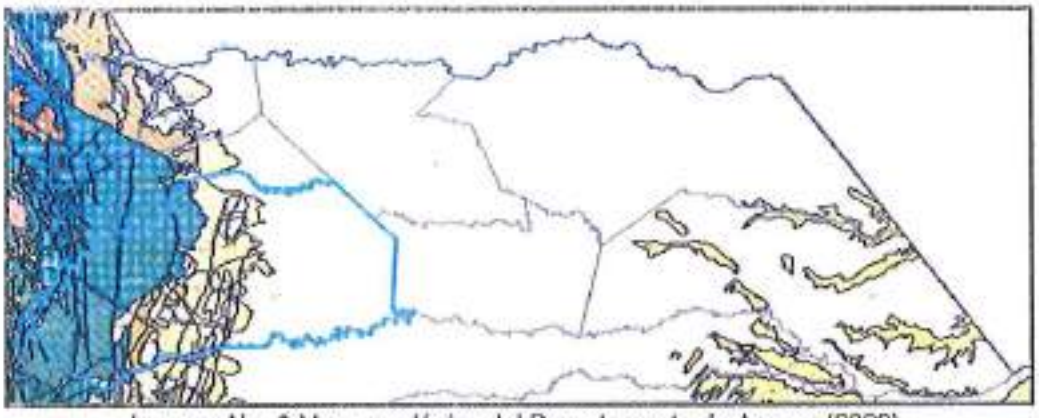


Imagen No. 6 Mapa geológico del Departamento de Arauca (2023).

Fuente: IGAC

7.1.3 Geomorfología

Geomorfológicamente, el área corresponde a una llanura aluvial activa, modelada por la dinámica de sistemas fluviales de baja pendiente.

Se identifican las siguientes unidades geomorfológicas:

Llanuras de inundación:

Asociadas a depósitos finos recientes (Qf), con alta susceptibilidad a encharcamiento y saturación.

Terrazas aluviales:

Correspondientes a antiguos niveles de sedimentación fluvial (Qt), con mejores condiciones de estabilidad relativa.

Zonas de depósitos aluviales activos:

Relacionadas con cauces actuales (Qal), donde predominan materiales granulares y heterogéneos.

Zonas de transición coluvial:

Asociadas al piedemonte, donde se presentan depósitos coluvio–aluviales (Qca).

La baja pendiente del terreno favorece procesos de acumulación de sedimentos finos y limita el drenaje natural, lo cual incide en el comportamiento geotécnico del suelo.

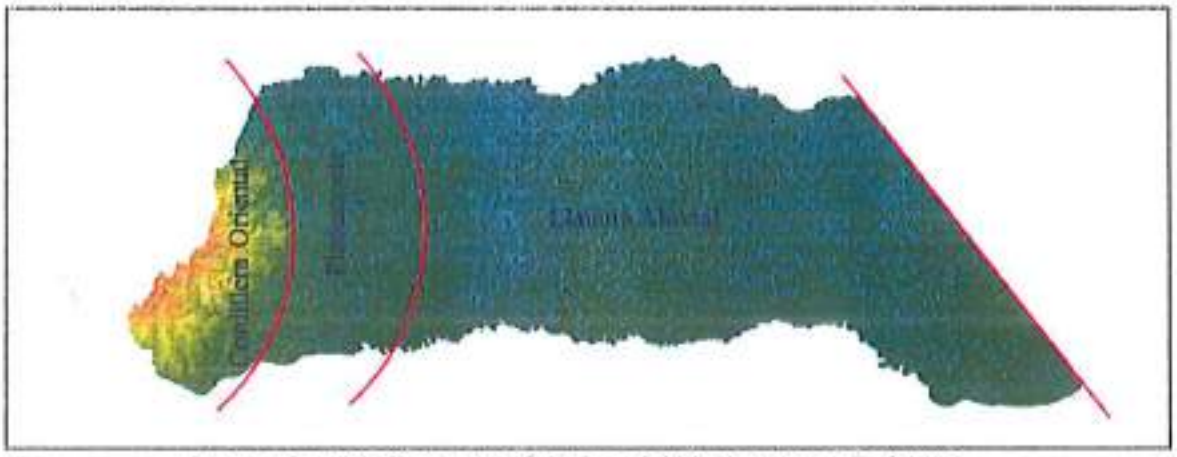


Imagen No. 7 Polígonos morfológicos del Departamento de Arauca.

Fuente: Ingeominas. Mapa geológico generalizado del Departamento de Arauca.

7.1.4 Amenazas por sismicidad

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), el municipio de Tame se clasifica en zona de amenaza sísmica alta, con valores de:

- Aa = 0.25
- Av = 0.20

Esta condición implica la consideración de efectos sísmicos significativos en el diseño, especialmente en suelos no consolidados.

Desde el punto de vista geotécnico, pueden presentarse:

- Amplificación de ondas sísmicas en suelos blandos.
- Reducción de resistencia en suelos saturados.
- Posible susceptibilidad a licuación en materiales granulares sueltos.

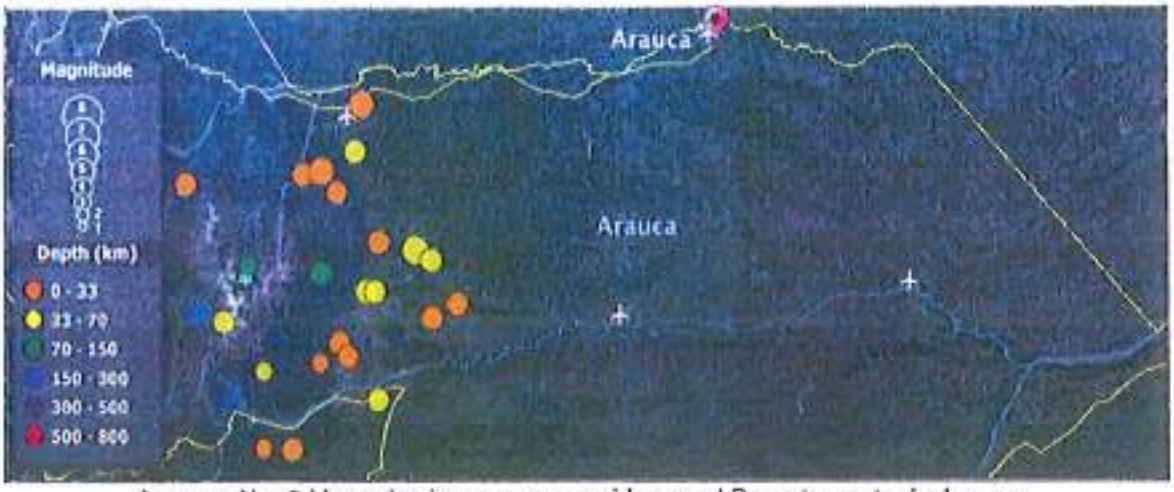


Imagen No. 8 Mapa de sismos que ocurridos en el Departamento de Arauca.

Fuente: http://earthquake.usgs.gov

7.1.5 Amenazas por inundaciones

La zona presenta alta susceptibilidad a inundaciones, debido a:

- La topografía plana.
- La cercanía a drenajes naturales y caños.
- La presencia de suelos de baja permeabilidad.
- Regímenes de precipitación estacional intensos.

Durante temporadas de lluvia, es común la saturación del suelo y la elevación del nivel freático, lo cual puede afectar:

- La estabilidad de terraplenes.
- La capacidad portante de la subrasante.
- El desempeño de las estructuras de drenaje.



Imagen No. 9 Mapa de amenazas por inundación del Departamento de Arauca.
Fuente: Ingeominas. Mapa geológico generalizado del Departamento de Arauca.

7.1.6 Reconocimiento de Campo

El reconocimiento de campo realizado mediante apiques permitió identificar:

- La existencia de un terraplén previamente construido, con alturas entre 0,60 m y 2,00 m.
- Capas de mejoramiento conformadas por:
- Pedraplén (material grueso con cantos y gravas).
- Material tipo crudo granular, con tamaño máximo aproximado de 4".
- Espesores de mejoramiento entre 0,50 m y 1,80 m.

Se observó que estos materiales presentan una estructura relativamente densa, aunque con heterogeneidad en su compactación, lo cual es típico de rellenos ejecutados en proyectos viales en zonas rurales.

Asimismo, se identificaron suelos naturales subyacentes de tipo:

- Limos arcillosos.
- Arenas finas con contenido de finos.

Subyacente a estos materiales se encuentran suelos naturales finos, con contenidos de humedad variables.

Los apiques de verificación permitieron identificar la presencia de una estructura de terraplén existente, asociada al Contrato No. 144 de 2018.



Imagen No. 10 Sondeos de Reconocimiento de Campo.
Fuente: Equipo Consultor.

7.1.7 Caracteristicas Ambientales

La zona presenta condiciones ambientales propias del ecosistema de sabana tropical de la Orinoquia, con vegetación de tipo:

- Pastizales naturales.
- Arbustos dispersos.
- Bosques de galería asociados a cuerpos de agua.

Estas condiciones influyen directamente en:

- La cobertura superficial del suelo.
- Los procesos de erosión.
- La infiltración y escorrentía.

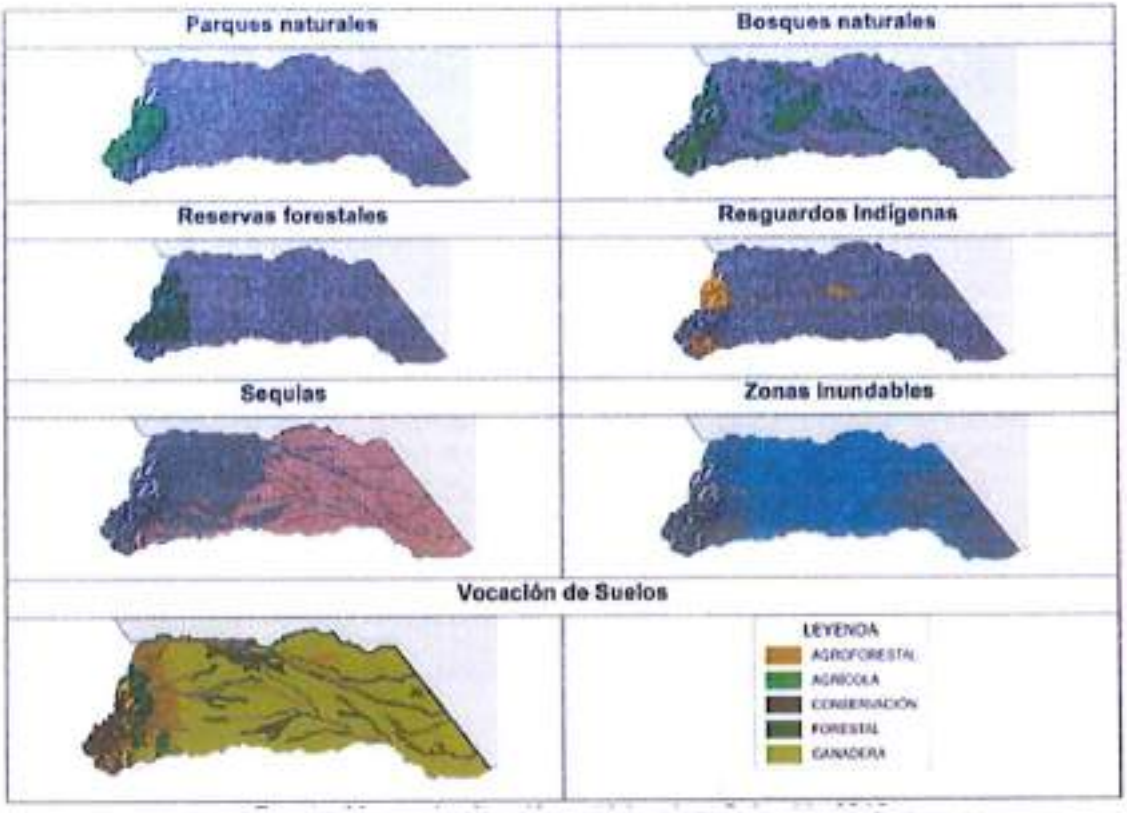


Imagen No. 11 Caracterización del territorio del Departamento de Arauca.
Fuente: Mapas de situación nutricional en Colombia 2010.

7.1.8 Clima

El clima en el municipio de Tame es de tipo tropical húmedo, con las siguientes características:

- Temperatura media anual: entre 26°C y 28°C.
- Precipitación anual: entre 2.000 y 3.000 mm.
- Régimen bimodal o monomodal con:
- Temporada lluviosa marcada (aprox. abril a noviembre).
- Temporada seca (diciembre a marzo).

Tabla 1 – Estaciones activas IDEAM cerca de la zona de estudio.

Código	Nombre	Clase	Categoría	Municipio	Ubicación
36025010	Tame	Metereológica	Climatológica ordinaria	Tame	6.4561944444°, -71.7450277778°
36030030	Morichal	Meteorológica	Pluviométrica	Tame	6.5705388889°, -71.7076388889°
37050010	Arauquita	Metereologica	Pluviométrica	Araruquita	7.0372222222°, -71.4197222222°

Código	Nombre	Clase	Categoria	Municipio	Ubicación
37050040	Matezamuro	Meteorológica	Pluviométrica	Arauca	6.9741666667°, -70.8516666667°
37057020	Alcaravan AUT	Hidrometeorologica	Limnigrafica	Araruquita	7.035°, -71.4163888889°

Fuente: Catalogo estaciones IDEAM

Las lluvias intensas generan:

- Saturación de suelos.
- Reducción de la capacidad portante.
- Incremento del riesgo de inestabilidad en taludes y terraplenes.

7.1.9 Hidrografia

El área de estudio hace parte de la cuenca hidrográfica del rio Arauca, con presencia de:

- Caños y drenajes menores intermitentes.
- Canales naturales de escorrentia.
- Zonas de acumulación superficial de agua.

El comportamiento hidrológico está fuertemente influenciado por la estacionalidad climática, generando:

- Flujos bajos en época seca.
- Aumentos significativos de caudal en temporada de lluvias.

Esto implica la necesidad de un adecuado diseño de:

- Obras de drenaje longitudinal.
- Alcantarillas.
- Sistemas de control de escorrentía.

7.2 GEOTECNIA.

El aspecto relacionado con la geotecnia, se asocia a la estabilidad del área por donde pasan las vias en estudio y de cada una de las unidades geológicas y geomorfológicas diferenciadas, asi como de las obras de arte existentes y las diseñadas.

En efecto el estudio geotécnico se dirige a establecer las propiedades geotecnias (fisico mecánicas) de los materiales de la zona y el análisis de las fuerzas desestabilizadoras y aquellas estructuras restauradoras del equilibrio basado en las propiedades de dichos materiales. La profundidad de exploración se dio en cada caso por las condiciones encontradas llevado a cabo previamente.

Los parámetros geomecánicos observados e involucrados en el análisis fueron: Tipos y clases de Suelos, Nivel freático y Capacidad de Soporte.

7.2.1 Investigación del Subsuelo

La exploración del subsuelo se define como la actividad dentro de la práctica de la ingeniería geotécnica, que busca establecer las características de disposición espacial y propiedades físicas de un medio geológico que tienen influencia en la respuesta de éste a las solicitaciones planteadas por un proyecto específico en sus diferentes instancias de desarrollo: diseño, construcción y operación. Para el cumplimiento de esta definición es posible la realización de diferentes actividades de exploración entre las que se cuentan los apiques y los sondeos, complementados con las labores de correlación geomorfológica realizada a través de las visitas de campo.

Los objetivos específicos que comprende un programa de exploración del subsuelo son:

- Evaluar la viabilidad general del sitio propuesto para el proyecto.
- Fundamentar las bases de un diseño económico y adecuado.
- Describir de manera detallada los diferentes estratos geológicos que conforman la rasante del proyecto.
- Observar y analizar las dificultades que pueden surgir durante la construcción debido al terreno o a otra condición local.

Para el caso que ocupa al presente informe se tuvo en cuenta en primera instancia para la Infraestructura vial y el Urbanismo excavación de apiques para recuperar muestras en condición inalterada. Las labores de perforación involucraron la realización de 9 apiques de verificación, llegando a una profundidad promedio de 1.5 m. La cantidad de perforaciones y su profundidad se basa en criterios mínimos definidos en la Normativa INVIAS y del criterio propio del consultor.

7.2.2 Metodología

a) Traslado al sitio: El personal y equipo se trasladó a la vía que conduce del municipio de Tame al Municipio de Puerto Rondón, en el sector conocido como El Plato para desarrollar esta actividad.

b) Perforación: Se realizan dos perforaciones por el método de percusión y calicata o apique a cielo abierto, se hizo la extracción de los diferentes núcleos del material. Las perforaciones se ubicaron estratégicamente dentro del terreno.

c) El número y espaciamiento de las exploraciones en el subsuelo fueron determinados, conforme a las características propias del lugar y las posibles cargas transmitidas por la estructura al suelo.

d) La profundidad de los sondeos se estimó a partir de las condiciones del terreno detectadas durante el proceso de perforación.

e) Análisis de la estratigrafía presentada: A medida que se extraen las diferentes muestras de material, el Laboratorista se encarga de hacer la respectiva estratigrafía, analizando color textura y consistencia del material, al igual que el nivel freático.

f) Toma de muestras: De acuerdo con los parámetros anteriormente mencionados se recogen las muestras para hacer los diferentes ensayos y se tiene el mayor cuidado durante el almacenamiento y transporte de las muestras que se deban realizar los ensayos de resistencia (CBR, corte directo, compresión inconfinada, triaxial, etc.).

g) Ensayos de laboratorio: Mediante los diferentes equipos de laboratorio y las muestra tomadas en campo se realizan los ensayos de Clasificación del suelo (Granulometrías, límites de consistencia), humedad, pesos Unitarios.

h) Digitalización de la información arrojada por los ensayos de laboratorio: La información anteriormente conseguida con los equipos de laboratorio es digitalizada y consecutivamente graficada con el fin de hacer los respectivos análisis.

i) Informe técnico: Conseguidos los anteriores parámetros, logramos desarrollar las bases para hacer el informe técnico que nos dará el mayor soporte del estudio.

7.2.3 Apiques

Los apiques consisten en excavaciones de 0.4mx0.4m, de profundidades de 1.50, los cuales se ejecutan con herramientas manuales sobre el área destinada como uso vial y/o uso peatonal.

7.2.3.1 Procedimiento de ejecución de los apiques

- La actividad inicia con la identificación de la localización del apique, referenciando con GPS la ubicación del apique.
- Medición del área a excavar por medio de un flexómetro.
- Extracción de la capa vegetal (cuando es terreno natural) o de la carpeta asfáltica o en concreto (cuando es vía existente), mediante barras, picas o martillo neumático.
- Realización de una descripción general de la capa vegetal o carpeta asfáltica o en concreto en el formato de registro de apiques.
- Excavación con palas, picas y ahoyador, hasta una profundidad de 1.50m verificando con flexómetro y tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener, así como el daño de tubería de gas o de agua.
- Realización del análisis visual del suelo perforado, diligenciando el registro de campo, y anotando las características a las profundidades en las cuales se observen cambios en el tipo de material.
- Recuperación de muestras representativas para caracterización en laboratorio.
- Extracción de la muestra del material natural de subrasante, con molde de CBR, aplicando presión para penetrar el molde, posteriormente se enrasa la muestra para obtener una superficie relativamente lisa. Si debido a la dureza del material natural, no es posible obtener

muestras con el molde de CBR, se deben tomar muestras en lonas.

- En todas las capas en las cuales se toman muestras en lonas, se realiza el ensayo de densidad de campo por el método del cono y arena.
- Para poder restaurar el terreno se completa el volumen faltante con material similar al extraído.
- Para la descripción, identificación y rotulación de la muestra se da cumplimiento al protocolo de conservación y transporte de muestras, el cual se describe en el siguiente numeral.

7.2.3.2 Protocolo de manejo, transporte, ensayo, transporte y conservación de muestras

Durante la realización de los apiques, se toma una muestra en cada cambio de material, posteriormente, se rotulan de acuerdo a los puntos mencionado a continuación. Las muestras se empacan y se colocan en cajas con los nombres del proyecto y en las cuales se indica el nombre del apique. Las cajas son puestas en un vehículo aprobado previamente por interventoría, en el cual también se transportan las herramientas necesarias para la realización de los apiques.

Una vez ha finalizado la ejecución del apique, se procede al transporte de estas en el vehículo y se llevan hacia el laboratorio en donde se reciben y se conservan para realizarse los ensayos de laboratorio solicitados.

- Tipo: limo, arcilla, arena, grava, carpeta asfáltica, concreto, capa vegetal u otro.

- Color: se describe el color de la muestra.

- Tamaño: se describe entre fino, grueso o medio.

- Humedad: se describe entre seca, húmeda o saturada.

- Consistencia: se describe entre blanda, firme o dura.

- Para la Identificación y rotulación: Cada costal se marca con número de código del proyecto, ubicación (coordenadas), No. de apique y descripción general de muestra.

En la **Tabla 2** se presentan las profundidades de las perforaciones finalmente ejecutadas y su ubicación geográfica. En la **Imagen No. 12**, se muestran la ubicación de las perforaciones ejecutadas.

7.2.4 Localización de apiques o sondeos.

Se ejecutaron apiques de exploración a lo largo del tramo objeto de estudio, los cuales fueron ubicados de manera estratégica con el fin de obtener una adecuada representación del perfil estratigráfico y de las características físico–mecánicas de los suelos presentes en la subrasante.

Tomando como base la información del estudio geotécnico realizado en el año 2013, se desarrolló una

campaña de apiques de verificación con una separación aproximada de 250 m, permitiendo contrastar las condiciones actuales del terreno con las previamente reportadas. Esta distribución responde a la longitud del tramo evaluado (aproximadamente 1.869 m) y a la relativa homogeneidad geológica de la zona.

Durante la ejecución de cada apique se realizó el correspondiente registro de campo, en el cual se consignaron las principales características de los materiales encontrados, tales como espesor de los estratos, condiciones de humedad, color, consistencia y grado de plasticidad. Así mismo, se efectuó la toma de muestras representativas para su análisis posterior.

La información obtenida permitió establecer una caracterización confiable del subsuelo y evaluar las condiciones de resistencia de los materiales, constituyendo un insumo fundamental para la definición de criterios de diseño de la estructura de pavimento y las obras asociadas.

En la siguiente tabla se muestra un listado con coordenadas de cada uno de los apiques realizados y en la **Imagen No. 12**, se muestra una localización detallada de estos

Tabla 2 – Localización y profundidad de los Apiques.

Apique	Muestras	Coordenadas		Profundidad (m)
		N	W	
A-01	M1 M2	6° 22' 26.554"N	71° 30' 28.259"W	1,50
A-02	M1 M2	6° 22' 22.167"N	71° 30' 21.109"W	1,50
A-03	M1 M2	6° 22' 17.647"N	71° 30' 14.364"W	1,50
A-04	M1 M2	6° 22' 13.459"N	71° 30' 07.149"W	1,50
A-05	M1 M2	6° 22' 08.653"N	71° 29' 59.969"W	1,50
A-06	M1 M2	6° 22' 04.162"N	71° 29' 55.807"W	1,50
A-07	M1 M2	6° 21' 56.507"N	71° 29' 57.386"W	1,50
A-08	M1 M2	6° 21' 50.981"N	71° 29' 55.928"W	1,50
A-09	M1 M2	6° 21' 48.352"N	71° 29' 54.331"W	1,50

Fuente: Equipo consultor.



Imagen No. 12 Localización de Apiques.
Fuente: Google Earth editado por Equipo Consultor.

7.2.4.1 Ensayos De Laboratorio

Con el fin de establecer las propiedades geomecanicas de los materiales representativos del perfil del suelo, se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio sobre muestras obtenidas en el trabajo de exploración. Estos ensayos se realizaron teniendo en cuenta los fines específicos de este estudio. Por medio de los ensayos de laboratorio pertinentes para cada caso, se establecieron características particulares de clasificación y se calcularon parámetros de resistencia.

De las exploraciones efectuadas se tomaron muestras para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Contenido de humedad.
- Granulometría.
- Límites de consistencia
- CBR

La exploración de campo y los ensayos de laboratorio se realizaron con el propósito de determinar las características y propiedades de los suelos que componen la zona de fundación de la obra mencionada.

La cantidad de ensayos ejecutados se relaciona en la **Tabla 3.**

Tabla 3 – Cantidad total de ensayos ejecutados en campo y laboratorio.

Ensayo	Cantidad	Norma
Ensayos de Laboratorio		
Contenido de humedad.	18	INV E-122-13
Granulometría.	18	INV E-213-13
Limites	9	INV E-125-13
CBR (Inalterado y Sumergido)	9	INV E-148-13

Fuente: Equipo consultor.

Para mayor información de los procedimientos de ensayos, por favor remitirse a las normas INVIAS respectivas dadas en la **Tabla 3.**

7.2.5 Conformación del Subsuelo

Para el desarrollo de este informe se ha buscado caracterizar los estratos del subsuelo con las siguientes propiedades físicas: humedad natural, peso unitario, porosidad, relación de vacíos, peso específico de sólidos, límites de consistencia, porcentaje de partículas con tamaño menor a 0.075 mm, entre otros valores que se indican en los perfiles geotécnicos reportados. Los valores reportados en dichos perfiles obedecen a la caracterización física de los materiales recuperados en los apiques, adicionalmente se presentan otros parámetros deducidos por medio de las expresiones matemáticas que vinculan las relaciones de fase y que provienen de la mecánica de suelos tradicional.

Las muestras ensayadas se han clasificado de acuerdo al American Association of State Highway Officials (AASHTO) y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Además de pruebas sencillas de campo, observaciones y comparaciones con las muestras representativas.

En la **Tabla 4** se presenta la distribución porcentual de los suelos clasificados según el sistema USCS, con base en las muestras obtenidas durante la campaña de exploración correspondiente al tramo en estudio. A partir de esta información, se evidencia un claro predominio de suelos finos, los cuales representan aproximadamente el 94% del total de muestras, mientras que los suelos gruesos corresponden a cerca del 6%, lo cual es consistente con las condiciones geológicas y geomorfológicas de la zona.

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio, se anexan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 4 porcentaje USCS en el proyecto.

TIPO SUELO	USCS	CANTIDAD DE MUESTRAS EN LOS APIQUES	PORCENTAJE
Suelo Fino	CL	11	61%
Suelo Fino	ML	4	22%

TIPO SUELO	USCS	CANTIDAD DE MUESTRAS EN LOS APIQUES	PORCENTAJE
Suelo Fino	CL-ML	2	11%
Suelo Grueso	SM	1	6%
TOTAL		18	100%

Fuente: Equipo consultor

De acuerdo con los resultados de laboratorio, predominan las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL), seguidas por limos inorgánicos (ML) y en menor proporción materiales de transición CL-ML, evidenciando un comportamiento típico de depósitos aluviales finos. La presencia de suelos granulares tipo SM es puntual y se asocia principalmente a lentes o inclusiones dentro del perfil.

Es importante precisar que, para efectos de la presente caracterización geotécnica de la subrasante, se descartó el espesor correspondiente a los materiales de mejoramiento (material tipo crudo y pedraplén) ejecutados en el marco del Contrato No. 144 de 2018, con el fin de evaluar únicamente las condiciones del suelo natural. No obstante, dichos materiales deberán ser considerados en el análisis y diseño de la estructura de pavimento, dado que hacen parte del sistema actual de soporte de la vía.

8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

8.1 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN.

De acuerdo al análisis efectuado de la estratigrafía del subsuelo y a los ensayos de laboratorio realizados, se concluye que el suelo natural más desfavorable y predominante en más alto porcentaje encontrado en el área en estudio, es suelo clasificado como (CL) según el sistema de clasificación de la SUCS y según el sistema de clasificación de la AASHTO como grupo A-6, está conformado por un material que presenta las siguientes características:

Tabla 5 Características del Suelo de Subrasante.

GRUPO	IMPERMEABILIDAD	CAPILARIDAD	ELASTICIDAD	CAMBIOS DE VOLUMEN
A-6	Baja permeabilidad (alta impermeabilidad)	Media a alta	Baja a mediana	Moderados (expansión y contracción controlada)

GRUPO	COMPORTAMIENTO DEL SUELO COMPACTADO	COMO TERRENO ES:	PARA SUBBASE	PARA BASE	PARA TERRAPLENES
A-6	Compacta aceptablemente, pero sensible a la humedad; pierde resistencia al saturarse	Malo a regular	Malo a Regular (requiere control de humedad y posible mejoramiento)	Malo (no recomendable sin estabilización)	Bueno a regular (adecuado si se controla la compactación y humedad)

Fuente: Equipo consultor.

Como se mencionó anteriormente, predominan en la zona las arcillas y limos de baja plasticidad con presencia de arenas. Sobre el suelo típico de sub-rasante se han realizado pruebas de C.B.R inalterados en condición sumergida y por el método del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).

8.2 PARÁMETROS DE RESISTENCIA MEDIDOS EN CAMPO

La evaluación de los parámetros de resistencia se realiza a partir de los resultados del ensayo CBR, con el cual se determina la capacidad de soporte del material de subrasante, remoldeando material alterado en el laboratorio y/o tomando muestras inalteradas en campo este último con la ayuda de un molde de compactación y anillo corte, se saca la muestra totalmente inalterada, y luego de ser enrasada se lleva a la máquina de compresión, equipada con pistón de penetración CBR (diámetro de 4.953cm con sección transversal de 19.4cm2) y capaz de penetrar a una tasa de 1.27mm /min. Obteniendo de esta manera el esfuerzo del material a una penetración máxima de 0.5 pulgadas.

Como se ha mencionado anteriormente, el presente proyecto contempla el diseño de la estructura de pavimento para una vía rural secundaria en el tramo referenciado en capítulos anteriores. A lo largo del corredor analizado, se identificó la existencia de un terraplén previamente conformado, asociado a intervenciones realizadas en etapas anteriores, el cual presenta capas de mejoramiento constituidas por materiales granulares tipo afirmado y pedraplén, con espesores variables aproximados entre 0,50 m y 1,80 m.

En aquellos sectores donde no se evidencian capas de mejoramiento claramente definidas, la subrasante corresponde al suelo natural del terreno, el cual ha experimentado cierto grado de consolidación debido a la circulación continua de vehículos y condiciones propias del sitio.

De acuerdo con los resultados del estudio geotécnico actualizado, se determinó que los suelos presentes a lo largo del tramo presentan una relativa homogeneidad, predominando materiales finos correspondientes a limos y arcillas de baja a media plasticidad. En términos de clasificación, estos suelos se agrupan principalmente dentro de los sistemas SUCS como CL, ML y, en menor proporción, combinaciones tipo CL-ML, asociados a depósitos aluviales característicos de la zona. Asimismo, de manera localizada se identifican materiales granulares finos con contenido de limos, clasificados como SM, los cuales se encuentran principalmente en capas de transición o mezclados con los materiales de mejoramiento existentes.

Esta condición geotécnica evidencia un comportamiento típico de suelos de baja permeabilidad, alta susceptibilidad a la humedad y variabilidad en su capacidad de soporte, aspectos que deben ser considerados en la definición de la estructura de pavimento y en las medidas de mejoramiento requeridas para garantizar un adecuado desempeño de la vía.

En la **Tabla 6** se resume los parámetros de diseño para los suelos explorados.

Tabla 6 – Parámetros de resistencia CBR (Inalterado – Sumergido - PDC).

Apique	Muestras	Profundidad (m)	CBR Inalterado	CBR Sumergido	Indice PDC (mm/golpe)	CBR (PDC) (%)
A-01	M1	1,50	6,30	4,49	27,10	5,59
	M2					
A-02	M1	1,50	5,80	3,69	24,60	6,40
	M2					
A-03	M1	1,50	5,75	3,23	24,88	6,30
	M2					
A-04	M1	1,50	5,43	3,30	24,83	6,32
	M2					
A-05	M1	1,50	5,86	3,70	23,44	6,85
	M2					
A-06	M1	1,50	5,24	3,10	22,87	7,09
	M2					
A-07	M1	1,50	6,37	4,41	23,05	7,01
	M2					
A-08	M1	1,50	6,92	4,64	25,20	6,19
	M2					
A-09	M1	1,50	5,80	3,15	24,12	6,58
	M2					

Fuente: Equipo consultor.

La gráfica de Capacidad de Soporte del Suelo (CBR) permite comparar el comportamiento de la subrasante a partir de tres condiciones: CBR inalterado, CBR sumergido y CBR estimado mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).

Los valores de CBR inalterado se ubican aproximadamente entre 5,2% y 6,9%, indicando una capacidad de soporte baja a media, coherente con la presencia predominante de suelos finos tipo CL y ML. Estos valores presentan una variabilidad moderada, lo que confirma la relativa homogeneidad del depósito.

El CBR sumergido presenta una reducción significativa, con valores entre 3,1% y 4,6%, evidenciando la sensibilidad del suelo frente al incremento de humedad, característica típica de materiales finos donde la resistencia disminuye al aumentar el contenido de agua.

Por su parte, los valores de CBR (PDC), obtenidos mediante ensayos in situ, oscilan entre 5,6% y 7,1%, mostrando una tendencia similar al CBR inalterado. Esto indica que la resistencia medida directamente en campo es consistente con la obtenida en laboratorio bajo condiciones naturales.

Sin embargo, es importante resaltar que el CBR (PDC) corresponde a un valor estimado a partir de correlaciones con la penetración del cono, por lo cual su interpretación debe hacerse como un indicador de la resistencia in situ del material bajo las condiciones existentes en el momento del ensayo, y no como un valor equivalente al CBR de laboratorio.



Imagen No. 13 Valores de CBR.

Fuente: Equipo consultor

8.3 SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO.

El criterio más difundido para la determinación de valores de la resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, que el 60, el 75 o el 87.2% de los valores individuales sea igual o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento, como se muestra en la **Tabla 7.**

Tabla 7 – Límites para selección de resistencia

Numero de ejes de 8.2 Toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$<10^{4}$	60
$10^{4} - 10^{6}$	75
$>10^{6}$	87.5

(**Fuente**: MS-1 Asphalt Institute, Thickness Dessing, 1981).

Definidos los valores de CBR, determinados mediante penetración CBR de laboratorio en muestras inalteradas, se organiza los valores de menor a mayor y analizarlos en conjunto para elegir un valor representativo de la capacidad de soporte de la unidad definitiva de diseño.

Tabla 8 – Valores de CBR ordenados

CBR (%)	Frecuencia	Número de valores mayores o iguales	% de valores iguales o mayores
3,1	1	11	100,0
3,15	1	10	90,9
3,23	1	9	81,8
3,3	1	8	72,7
3,69	1	7	63,6
3,7	2	6	54,5
4,41	1	4	36,4
4,49	1	3	27,3
4,64	2	2	18,2

Fuente: Equipo consultor

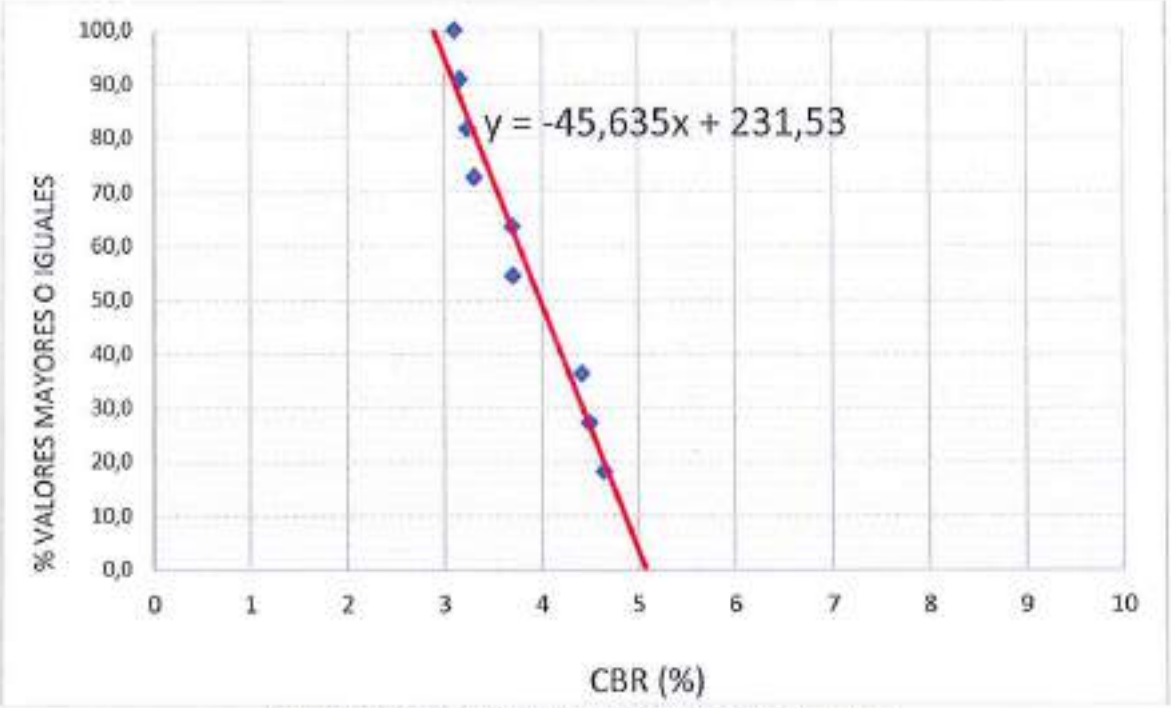


Imagen No. 14 CBR representativo de la subrasante.
Fuente: Equipo consultor

ECUACIÓN DE COMPORTAMIENTO	***Y=***	**-45,635**	***X±*** **231,53**
PERCENTIL SELECCIONADO		**75%**	

CBR DE DISEÑO	3,43%	*Mr*	5623

Tabla 9 Clasificación del suelo de acuerdo al CBR.1

CBR (%)	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 – 50	Bueno	Subbase y base	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3 A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando

Al presentarse unos C.B.R bajos se deberá mejorar la sub-rasante mediante un proceso de mejoramiento y refuerzo del suelo del sitio con material de afirmado y/o suelos granulares además de la utilización de Geotextil para separación de agregados y que garanticen la no contaminación de las capas a instalarse logrando que se afirme y aumente la capacidad de soporte del suelo.

Este concepto de mejoramiento de subrasantes con materiales mejorados como subbases, afirmados, crudos, etc., se sustenta con lo recomendado por el manual de diseño de pavimentos de concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS donde en su numeral 2.5 Categorías de subrasantes para la selección de espesores, menciona: ...Para subrasantes con CBR menores que 2, se requieren tratamientos especiales, como la sustitución de los materiales inadecuados o la modificación de sus características, con base en la adición de productos como la cal, el cemento u otros que la doten con mejores características mecánicas....

Como método preventivo se recomienda se realicen mejoramientos de subrasante con geotextiles y materiales que aumenten la capacidad de soporte del suelo por encima del 5% del CBR, y en caso de encontrarse fallos se traten con materiales granulares tipo crudo y/o piedra bola el cual es material disponible en zonas cercanas como el municipio de Tame, de fácil acceso y a bajo costo.

8.4 AJUSTE DEL CBR DE DISEÑO MEDIANTE EL MÉTODO DE IVANOV

La adopción de un ajuste del CBR de diseño mediante el método de Ivanov se justifica en que, para el tramo evaluado, la capacidad estructural del sistema no está gobernada exclusivamente por el suelo natural de subrasante, sino por la interacción entre éste y las capas de mejoramiento existentes

[1] HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Volumen 1.Clasificación del suelo de acuerdo al CBR. Tunja 2007. página 94

identificadas en campo. En la campaña de exploración se verificó la presencia de un terraplén conformado por materiales tipo pedraplén y material granular tipo crudo, con espesores variables que, en distintos sectores, oscilan aproximadamente entre 0,50 m y 1,80 m, los cuales hacen parte efectiva del sistema de soporte actual de la vía. Asimismo, el estudio geotécnico señala expresamente que, aunque dichos espesores fueron descartados para caracterizar el suelo natural, deben ser considerados en los análisis y cálculos de la estructura de pavimento, dado que modifican sustancialmente la distribución de esfuerzos y el comportamiento resistente del conjunto. Bajo estas condiciones, el método de Ivanov resulta técnicamente apropiado, ya que permite estimar un CBR equivalente de un sistema multicapa, incorporando el efecto estructural del mejoramiento granular sobre una subrasante de baja capacidad portante. De esta manera, el ajuste no solo representa mejor la condición real del corredor, sino que evita subestimar la capacidad del sistema existente y permite definir criterios de diseño más acordes con la realidad constructiva observada en el proyecto.

En el análisis de la capacidad de soporte de la subrasante, es importante considerar que el comportamiento estructural real del sistema no depende únicamente del suelo natural, sino también de las capas de mejoramiento existentes, como es el caso del terraplén conformado por material tipo crudo y pedraplén.

Para este propósito, se empleó el método de Ivanov, el cual permite determinar un CBR equivalente de un sistema multicapa (subrasante + material de mejoramiento), a partir del concepto de módulo equivalente, basado en la teoría elástica de Boussinesq.

Este método es ampliamente utilizado en el diseño de pavimentos para evaluar el efecto de una capa granular sobre una subrasante de baja capacidad portante, permitiendo cuantificar el incremento en la resistencia del sistema debido al espesor y calidad del material de mejoramiento.

La ecuación de Ivanov se presenta a continuación:

$$E_{1-2} = \frac{E_2}{1 - \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) tan^{-1}(n)\left(\frac{h_1}{2a}\right)}$$

$$n = \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{\frac{1}{2.5}}$$

Donde:

E1-2: Modulo ponderado de las capas
E2: Modulo de la Capa Inferior.
E1: Modulo de la capa superior
2a = 30.44cm

8.4.1 Fundamento del método

El método de Ivanov considera que:

El sistema está compuesto por:

- una capa inferior (subrasante) con módulo E_2
- una capa superior (mejoramiento) con módulo E_1

Existe una relación entre módulos:

$$n = \frac{E_1}{E_2}$$

A partir del espesor de la capa de mejoramiento (h), se calcula un módulo equivalente E_s del sistema, que posteriormente se puede convertir a un CBR equivalente.

Este enfoque permite evaluar cómo una capa granular distribuye esfuerzos y reduce deformaciones en la subrasante, incrementando su capacidad estructural.

8.4.2 Aplicación al proyecto

Para el tramo en estudio se tienen los siguientes parámetros:

CBR subrasante (diseño, método Instituto del Asfalto):

CBR=3,43%

Material de mejoramiento (crudo/pedraplén):

CBR=10%

Espesor de mejoramiento existente:

h= 50 cm

Módulos estimados:

Subrasante: E_{sr}=343 kg/cm²
Mejoramiento: E_{ge}=1000 kg/cm²

Relación de módulos:

n=1,53

Tabla 10 – Determinación del CBR equivalente de la subrasante mediante el método de Ivanov considerando el mejoramiento existente

Tipo de material	CBR promedio del material (%)	Esr (kg/cm2)	CBR material mejoramiento (%)	Ege (kg/cm2)	Hge (cm)	n	Eeq (Kg/cm2)	CBR (%)
CL	3,43	343	10	1000	50	1,53	836,0	8,36

Fuente: Equipo consultor

Aplicando la formulación de Ivanov, se obtiene un:

Módulo equivalente del sistema:

$$Eeq=836\ kg/cm^2$$

CBR equivalente:

$$CBR_{eq}=8,36\%$$

8.5 ESTIMACIÓN DE TRÁNSITO DE DISEÑO

Para el desarrollo de un proyecto de mejoramiento vial es indispensable realizar un estudio de tránsito que permita determinar la demanda actual y futura del corredor, a partir del análisis del volumen de tránsito existente y la proyección de la cantidad de vehículos que circularán durante el periodo de diseño.

En este caso, la vía Tame – Puerto Rondón se clasifica como una vía rural secundaria, cuya importancia radica en la conectividad que ofrece entre centros poblados y zonas productivas del departamento de Arauca. Considerando su ubicación geográfica y su función dentro de la red vial, el mejoramiento de sus condiciones físicas permitirá optimizar los niveles de servicio, aumentar la capacidad operativa y reducir los tiempos de viaje entre origen y destino.

Actualmente, un alto porcentaje del tramo en estudio presenta condiciones deficientes de transitabilidad, lo que limita el flujo vehicular y encarece los costos de operación. Sin embargo, al proyectar un escenario con condiciones óptimas de la vía, se espera un incremento en la demanda de tránsito, especialmente asociado a las actividades económicas predominantes en la zona, tales como la agricultura y la ganadería, lo cual contribuirá al desarrollo socioeconómico de la región.

Para la determinación del tránsito actual, se realizó la actualización del conteo vehicular previamente desarrollado en el año 2013, mediante la ejecución de un aforo manual durante un periodo de siete (7) días consecutivos, en una estación de control ubicada en el sector de Caño El Plato sobre la vía Tame – Puerto Rondón. El conteo se efectuó en jornadas diarias entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m., correspondientes a las horas de mayor circulación vehicular en el corredor, y posteriormente los resultados fueron expandidos a 24 horas mediante factores de ajuste acordes con el comportamiento del tránsito rural.

Adicionalmente, con el fin de obtener una estimación más representativa del tránsito actual, se tuvo en cuenta la interacción del corredor con la vía primaria Tame – Panamá, a partir del análisis de la serie histórica de tránsito reportada por el INVIAS. Este análisis permitió considerar un porcentaje de captación o desvío de tránsito desde la vía principal hacia la vía secundaria, reflejando de manera más realista la dinámica regional de movilidad.

A partir de la integración de:

- los resultados del aforo vehicular actualizado,
- la información histórica del estudio realizado en el año 2013,
- y el comportamiento del tránsito en la red vial principal cercana,

Se estableció un tránsito representativo del corredor, el cual constituye la base para la proyección del tránsito futuro.

Para la estimación del tránsito de diseño, se adoptó una tasa de crecimiento anual acorde con las condiciones socioeconómicas del sector y el comportamiento observado en la evolución del tránsito, con un horizonte de diseño de 10 años, a partir del cual se desarrollan los cálculos correspondientes en los numerales siguientes.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre el tránsito obtenido en el estudio del año 2013 y el tránsito actualizado, con el fin de evaluar la evolución de la demanda vehicular del corredor y sustentar la necesidad de actualizar los diseños.



Imagen No. 15 – Localización de Estaciones de Aforo Vehicular

Fuente: Google Earth editado por equipo consultor.

La ubicación de las estaciones de conteo deberá encontrarse a suficiente distancia de puntos de conflicto vehicular para que la recepción de movimiento no sea alterada por movimientos locales, o deben colocarse las estaciones necesarias para diferenciar el volumen de una zona específica a la de una rural (Manual Para Obtener Los Volúmenes De Tránsito En Carreteras de México, 2015), en el caso particular del Tramo en estudio la ubicación de las estaciones de conteo y/o aforo vehicular, dado el poco tráfico que circula por el tramo a diseñar debido a las características propias del sector, se determinó contabilizar durante una semana la totalidad de vehículos que ingresan al tramo desde y hacia la vía Tame - Puerto Rondón.

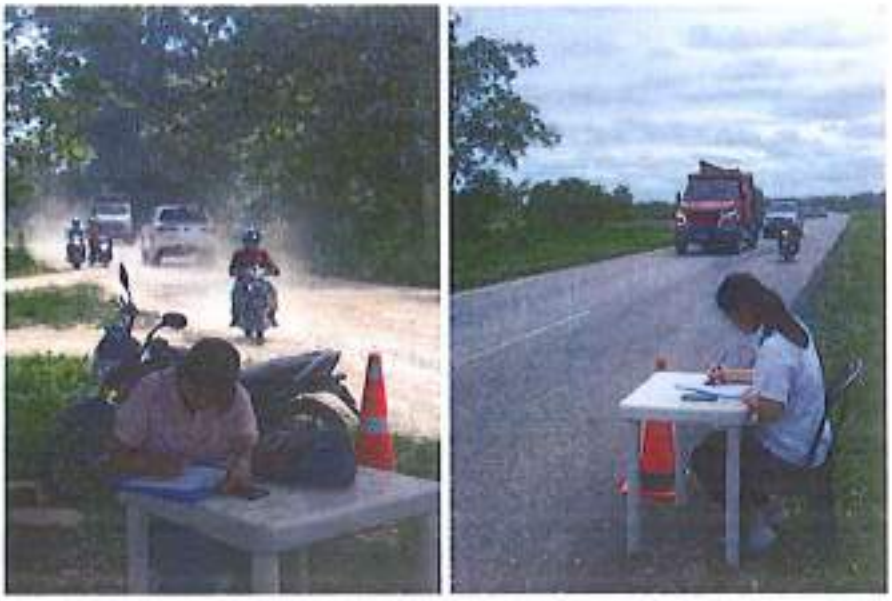


Imagen No. 16 – Estaciones de Aforo Vehicular
Fuente: Equipo consultor.

Se contabilizaron la totalidad de vehículos que circularon en ambos sentidos, concluyendo que el factor direccional de las vías es 0.50.

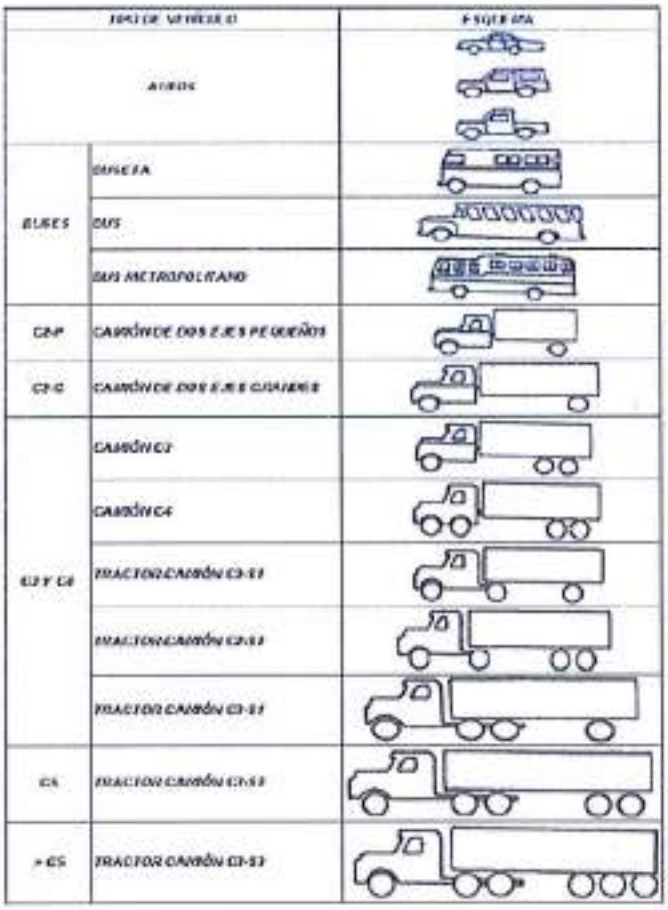


Imagen No. 17 – Esquema de clasificación de vehículos
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito (INVIAS)

El volumen vehicular existente en la zona corresponde a automóviles particulares, camionetas Pick-Up, buses y camiones C-2p, C-2g, C-3 y C-4.

Con el fin de actualizar las condiciones de tránsito del corredor vial Tame – Puerto Rondón, se realizó un conteo vehicular sintético de siete (7) dias consecutivos, construido de manera coherente con la información del estudio de tránsito realizado en el año 2013, el análisis del TPD actualizado y la interacción del corredor con la vía primaria Tame – Panamá.

La tabla siguiente presenta la distribución diaria del tránsito vehicular, discriminada por tipo de vehículo, considerando las categorías establecidas en el estudio original (autos, buses, camiones de dos ejes, tres y cuatro ejes, y vehículos pesados de mayor configuración). La composición vehicular utilizada mantiene la estructura porcentual del estudio de 2013, lo cual permite asegurar consistencia en el análisis comparativo entre ambas condiciones.

El comportamiento del tránsito durante la semana refleja variaciones típicas de vías rurales, con un incremento progresivo entre semana y valores ligeramente superiores hacia el final de la misma, asociados a actividades comerciales y de transporte de carga, mientras que el día domingo presenta una reducción relativa del flujo vehicular.

A partir de los valores diarios obtenidos, se determinó un Tránsito Promedio Diario (TPD) representativo, el cual corresponde al promedio semanal calculado. Este valor constituye la base para los análisis posteriores de proyección de tránsito y estimación de ejes equivalentes.

Es importante señalar que este aforo corresponde a un escenario ajustado de actualización, en el cual se integran:

- la información histórica del estudio de 2013,
- las condiciones actuales observadas en el corredor,
- y la influencia del tránsito proveniente de la vía primaria cercana,

Permitiendo obtener una estimación realista del comportamiento vehicular en la zona de estudio.

Del conteo vehicular se obtuvieron los siguientes volúmenes:

Tabla 11 – Volúmenes de Tránsito.

Aforo vehicular Actualizado de 7 días										
Conteo vehicular sintético coherente con el estudio 2013, el TPD actualizado y la interacción con la vía primaria Tame - Panamá.										
Día	Total	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	C6	Control	Observación
Lunes	812	587	21	86	94	21	1	2	0	Distribución Actualizada
Martes	828	599	22	88	95	22	1	1	0	Distribución Actualizada
Miércoles	840	608	22	89	97	22	1	1	0	Distribución Actualizada
Jueves	846	612	22	90	97	22	1	2	0	Distribución Actualizada
Viernes	854	618	22	91	98	22	1	2	0	Distribución Actualizada
Sábado	860	622	22	91	99	22	1	3	0	Distribución Actualizada
Domingo	784	567	20	83	90	20	1	3	0	Distribución Actualizada
Promedio / Total semanal	**832**	**602**	**22**	**88**	**96**	**22**	**1**	**2**	**0**	

Fuente: Equipo consultor

8.6 MODELO DE ACTUALIZACIÓN DEL TPD

Con el propósito de establecer un valor representativo del tránsito actual en la vía Tame – Puerto Rondón y definir su comportamiento durante el horizonte de diseño, se construyó un modelo de actualización del Tránsito Promedio Diario (TPD) a partir de tres insumos principales: el conteo histórico del año 2013, la evolución esperada del tránsito local y la posible captación de vehículos desde la vía primaria Tame – Panamá, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12 – Modelo de actualización del TPD.

Modelo de actualización del TPD				
Concepto	**Valor**	**Unidad**	**Fórmula**	**Comentario**
TPD base 2013	651	veh/día	dato histórico	Punto de partida
Crecimiento local 2013-2026	1,3%	%	entrada	Escenario conservador
TPD actualizado solo por crecimiento local	765	veh/día	TPD2013*(1+g)^13	Actualización sin captación adicional
Promedio histórico vía Tame - Panamá (2012-2017)	1.124	veh/día	promedio histórico	Referencia primaria
Porcentaje posible de desvío/captura	6,0%	%	entrada	Captura parcial desde vía primaria
Componente adicional por desvío	67	veh/día	Promedio principal * % desvío	Componente incremental
TPD actual modelado 2026	833	veh/día	suma	Modelo de actualización
Promedio aforo de 7 días	832	veh/día	promedio	Contraste de campo
TPD actual adoptado 2026	832	veh/día	promedio modelo y aforo	Valor recomendado de actualización

Proyección anual del TPD					
Año	TPD proyectado	Índice de crecimiento	Autos	Pesados	Comentario
2026	832	1,000	602	208	Proyección con tasa constante
2027	842	1,013	609	211	Proyección con tasa constante
2028	853	1,025	617	214	Proyección con tasa constante
2029	864	1,038	625	216	Proyección con tasa constante
2030	874	1,051	632	219	Proyección con tasa constante
2031	885	1,064	640	222	Proyección con tasa constante
2032	896	1,077	648	224	Proyección con tasa constante
2033	908	1,091	657	227	Proyección con tasa constante
2034	919	1,104	665	230	Proyección con tasa constante
2035	930	1,118	673	233	Proyección con tasa constante
2036	942	1,132	682	236	Proyección con tasa constante

Fuente: Equipo consultor

8.7 TPD BASE DE REFERENCIA

Como punto de partida se adoptó el valor de 651 veh/día, correspondiente al TPD reportado en el estudio de tránsito realizado en el año 2013. Este valor constituye la línea base histórica del corredor y sirve como referencia para evaluar la evolución del tránsito en el proceso de actualización.

A partir de este dato, se consideró una tasa de crecimiento local de 1,3% anual para el periodo comprendido entre 2013 y 2026. Esta tasa fue adoptada bajo un enfoque conservador, buscando reflejar el crecimiento natural del tránsito asociado a la dinámica socioeconómica del área de influencia, sin introducir inicialmente efectos extraordinarios de atracción o generación de viajes.

Con la aplicación de esta tasa de crecimiento durante trece años, el tránsito base se actualiza a un valor de 765 veh/día, el cual representa el comportamiento esperado del corredor si únicamente se tuviera en cuenta la evolución local del tránsito, manteniendo condiciones similares a las históricas y sin considerar influencia adicional de la red primaria.

8.8 COMPONENTE DE INTERACCIÓN CON LA VÍA TAME – PANAMÁ

Con el fin de complementar el análisis anterior y aproximar de mejor manera la realidad actual del corredor, se incorporó la posible influencia de la vía primaria Tame – Panamá, reconocida como el eje principal más cercano y con capacidad de transferir parte de su flujo hacia la vía secundaria Tame – Puerto Rondón.

Para ello se tomó como referencia el promedio histórico de tránsito de la vía Tame – Panamá para el periodo 2012–2017, equivalente a 1.124 veh/día. Sobre este valor se adoptó un porcentaje posible de desvío o captura del 6,0%, entendido como una fracción del tránsito de la vía principal que, por razones de conectividad, movilidad regional o intercambio territorial, puede incorporarse al corredor secundario en análisis.

La aplicación de este porcentaje genera un componente adicional de 67 veh/día, el cual se suma al tránsito actualizado únicamente por crecimiento local. En consecuencia, el TPD actual modelado para 2026 alcanza un valor de 833 veh/día.

Este resultado representa una estimación ajustada del tránsito actual, en la que no solo se considera el crecimiento histórico del corredor, sino también su interacción funcional con la red principal cercana.

Tabla 13 – Serie Histórica y composición de tránsito INVIAS Regional N°7.

ESTAC. No.	SECTOR	CODIGO VIA	LONGITUD (KM)	SERIE HISTÓRICA Y COMPOSICIÓN DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO TERRITORIAL CASANARE																					
				1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
192	EL CRUCERO-PAJARITO	6211	73	635	515	487	330	321	268	355	366	424	548	5.140	501	570	1.109	1.228	1.257	1.281	1.356	1.228	1.315	1.317
				[illegible]	5-10-49	15-04-57	[illegible]	09-11-46	17-11-00	14-09-58	3-12-64	9-10-58	5-11-63	46-10-64	59-12-08	48-10-46	2-05-20	3-07-41	51-09-35	37-07-58	41-01-12	40-09-57	51-08-41	46-7-45
134	PAJARITO-AGUAZUL	6211	38	734	624	910	2.027	286	211	311	305	357	337	876	903	1.147	1.235	1.259	1.255	1.406	1.462	1.494	1.430	1.510
				40-12-48	3-11-45	8-14-55	09-12-25	05-10-55	17-14-09	25-12-03	7-11-02	2-09-58	7-10-08	65-10-65	58-11-21	43-11-66	3-05-41	3-05-46	49-01-42	43-07-58	51-08-17	43-07-37	50-07-31	52-1-41
197	EL SECRETO-AGUACLARA	5006	14		387	287	249	317	260	344	329	292	308	943	494	597	554	651	525	525	1.163	668	532	611
					07-09-24	7-10-29	07-10-23	06-10-25	10-05-20	08-05-27	5-09-16	5-12-07	4-07-09	58-10-02	70-07-21	66-12-12	7-08-26	7-06-32	61-01-28	56-01-27	61-01-16	71-01-22	66-07-29	67-1-22
031	AGUAZUL-YOPAL	6510	38	1.028	3.711	3.103	391	2.840	3.012	2.040	3.046	4.008	3.809	1.863	4.465	4.881	604	7.829	7.313	7.499	8.186	8.057	8.308	8.179
				07-01-20	9-08-23	9-09-23	[illegible]	05-12-23	4-12-24	11-05-20	0-09-21	5-12-22	4-11-25	58-11-24	70-12-18	62-10-24	7-08-25	7-08-28	66-10-30	54-10-26	66-09-11	69-06-28	54-09-26	62-9-23
032	YOPAL-ARAUCANEY	6510	17	1.086	1.206	1.176	1.401	1.301	2.094	1.746	1.983	2.212	2.260	0.849	2.284	3.081	3.121	4.832	5.178	5.878	6.345	4.475	6.275	6.175
				04-06-40	9-07-09	9-07-29	04-08-08	01-06-03	0-06-26	01-06-31	0-05-02	9-03-10	0-09-32	05-10-25	70-09-02	59-07-25	3-07-48	7-08-37	64-03-42	58-07-49	65-12-02	73-05-08	68-10-10	70-11-11
033	AGUAREY-PAZ DE ARIPORO	6513	53	992	921	802	906	918	1.269	1.341	1.429	2.162	1.710	1.814	1.950	2.454	3.485	4.003	3.403	4.061	3.291	3.993	3.483	3.834
				58-10-34	3-09-35	9-10-31	02-09-20	05-10-22	8-08-32	14-05-36	3-10-29	5-04-46	5-10-31	05-11-23	67-10-23	59-08-34	7-05-38	7-05-38	53-07-43	52-09-42	53-05-42	29-07-38	58-07-29	57-10-11
999	AGUAZUL-MANI		58	370	191	308	409	413	624	679	725	1.233	762						1.572	2.105	2.230	2.408	1.958	2.171
				47-06-47	3-07-36	7-07-06	70-03-07	60-03-28	8-05-39	97-08-36	3-01-31	5-05-36	3-07-25						84-01-25	47-05-44	51-12-56	70-01-12	58-05-42	65-6-32
1097	RIO CUSIANA - AGUAZUL	6512	39	1.428	1.805	1.584	1.930	1.835	1.981	2.201	2.172	1.966	2.140	1.127	2.454	3.055	3.629	5.304	5.008	3.862	4.891	4.249	3.008	4.187
				05-05-29	3-09-08	5-09-28	70-09-08	66-05-07	8-07-34	94-06-30	2-10-09	5-10-27	1-10-29	69-11-23	72-10-19	62-12-36	5-06-28	7-07-34	56-03-37	51-07-42	53-05-41	54-05-48	55-05-07	61-7-41
1100	CUSIANA - LA CABUYA	6405	32	112	93	68	93	93	80	76			93	268	50	164	66		40					
				[illegible]	3-15-74	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	13-13-74			28-20-68	59-13-68	74-16-06	74-10-16	0-10-63		53-12-30					
1101	EL AMPARO-HATO COROZAL	6514	42	72	119	159	169	227	213	288	217		485	2.185	921	823	1.248	1.216	1.800	1.840	1.931	1.681	1.816	1.874
				39-13-51	3-13-68	11-13-26	33-09-29	69-07-26	27-11-32	69-10-64	5-15-35		02-09-30	66-19-26	62-09-12	54-07-09	5-09-19	3-11-35	63-04-25	47-08-34	69-02-29	63-03-20	59-05-25	56-11-15
1102	HATO COROZAL-LA CABUYA	6514	33	70	84	43	78	100	87	152	365		143	1.898	257	252	58	224	36	60	80	66	105	
				[illegible]	2-14-74	2-27-01	[illegible]	06-10-46	9-22-68	[illegible]	3-14-53		24-15-57	54-11-25	27-15-58	19-16-65	5-15-03	3-17-68	17-11-18	49-04-36	69-08-09	59-08-24	66-09-54	
1103	LA CABUYA-TAME	6515	62	173	209	153	134	160	134	208	190		127	332	246	366	12	237	553	637	605	599	1.053	1.193
				[illegible]	7-11-02	2-13-60	21-12-66	06-14-00	9-18-04	62-13-43	2-16-42		23-19-56	25-19-58	24-15-81	18-15-66	4-02-16	3-15-52	63-03-18	59-02-83	65-10-15	75-12-23	51-12-15	70-11-3
1141	GUACLARA - MONTERREY	6511	20	535	1.007	886	884	913	1.886	1.908	1.747	1.735	1.112	1.715	1.712	1.909	3.668	3.158	2.180	2.850	2.942	2.486	2.640	2.774
				72-09-21	7-09-27	9-09-25	06-09-20	68-09-25	12-07-31	06-05-43	5-15-40	3-07-38	2-06-30	53-11-36	62-05-28	62-01-11	5-07-44	5-07-40	44-03-49	41-08-51	45-07-51	41-09-41	41-09-45	40-11-46
1152	ENTRERREY-RIO CUSIANA	6512	45	557	906	1.098	1.190	1.086	1.414	1.813	1.902	1.703	1.347	2.218	1.822	1.850	3.855	3.605	3.489	3.301	3.018	2.980	2.873	2.947
				61-10-28	0-05-25	0-05-23	164-02	68-07-28	11-05-13	72-05-23	3-08-32	5-13-32	5-13-31	64-03-28	67-09-24	58-10-31	5-07-35	7-05-41	54-07-39	52-06-42	46-04-52	56-09-39	58-10-43	56-1-40
1153	TAME-SARAVENA	6510	98		1.318		140	1.033	1.162	905	788		998	414	1.650	1.132	1.920	885	1.009	1.786	1.976	2.229	2.480	1.986
					[illegible]		702-24	96-07-28	[illegible]	[illegible]	3-06-24		29-09-29	32-08-50	46-11-39	39-03-21	5-08-20	5-01-27	50-08-38	45-12-43	56-07-31	70-05-15	63-08-47	70-4-15
1104	TAME-PAMPA	6085	88				484	973	966	1.084	968		1.108	844	1.318		1.384	745	1.149	1.245	649	897	981	2.122
							[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1105	MAMA - LA ANTIOQUEÑA	6085	44				132	218	299	217	268		348	727	808	688	911	885	205	912	668	628	581	897
							09-13-26	09-15-30	4-07-34	08-20-68	9-12-41		51-08-41	52-11-37	69-11-04	71-08-21	2-10-38	1-04-30	78-02-26	80-09-37	64-08-21	52-09-26	56-11-15	66-11-43
1106	LA ANTIOQUEÑA-ARAUCA	6085	23				303	631	789	545	716		1.143	1.665	1.431	1.662	2.330	1.876	1.309	1.921	1.370	2.118	2.143	2.364
							47-18-05	13-08-21	01-11-30	08-10-21	2-09-29		62-13-23	68-11-21	73-11-16	59-12-15	3-11-48	3-11-33	79-05-10	71-11-18	58-07-31	62-06-36	63-06-12	64-10-12
1299	TAME - HATO COROZAL																		1.008					
																			62-06-22					
1301	ARIBO-PUERTO CARREÑO	4005																					1.946	1.181
																							59-06-33	65-6-7

Fuente: https://www.invias.gov.co/ (INVIAS)

8.9 CONTRASTE CON EL AFORO DE 7 DÍAS

Con el fin de verificar la razonabilidad del modelo de actualización, el valor obtenido fue contrastado con el aforo vehicular de 7 días, el comportamiento esperado del tránsito en el corredor y la influencia de la vía primaria.

El promedio de dicho aforo semanal fue de 832 veh/día, valor prácticamente coincidente con el TPD actual modelado de 833 veh/día. Esta cercanía entre ambos resultados evidencia una adecuada consistencia entre el modelo analítico y el escenario de conteo adoptado para la actualización.

Dado que la diferencia entre ambos valores es mínima, se adoptó como TPD actual para el año 2026 el valor de 832 veh/día, el cual se considera representativo, estable y técnicamente razonable para el desarrollo de los análisis posteriores del estudio de tránsito.

8.10 INTERPRETACIÓN DEL TPD ACTUALIZADO

El valor adoptado de 832 veh/día muestra un incremento frente al tránsito histórico de 2013, lo que confirma una evolución positiva de la demanda vehicular en el corredor. Este aumento no es abrupto ni desproporcionado, sino consistente con un escenario de crecimiento progresivo y con la función de la vía como corredor secundario rural al servicio de actividades agropecuarias, intercambio intermunicipal y conexión con vías de mayor jerarquía.

Desde el punto de vista técnico, el resultado obtenido permite afirmar que la vía presenta una demanda superior a la reportada en el estudio original, lo que justifica la necesidad de actualizar los diseños, revisar las condiciones de capacidad y servicio, y recalcular las solicitaciones estructurales del pavimento con base en condiciones más próximas a la realidad actual.

8.11 PROYECCIÓN ANUAL DEL TPD

Una vez definido el TPD actual adoptado para 2026, se realizó la proyección anual del tránsito para el horizonte 2026–2036, manteniendo una tasa de crecimiento constante de 1,3% anual.

Los resultados muestran una evolución gradual del tránsito, pasando de 832 veh/día en 2026 a 942 veh/día en 2036. Este comportamiento corresponde a una tendencia creciente moderada, coherente con el carácter rural y secundario del corredor y con las características socioeconómicas de su zona de influencia.

La tabla de proyección permite observar que:

- en 2027 el TPD asciende a 842 veh/día;
- en 2028 se proyecta en 853 veh/día;
- en 2029 alcanza 864 veh/día;
- en 2030 llega a 874 veh/día;

- en 2031 se ubica en 885 veh/día;
- en 2032 sube a 896 veh/día;
- en 2033 alcanza 908 veh/día;
- en 2034 llega a 919 veh/día;
- en 2035 asciende a 930 veh/día;
- y en 2036 se proyecta en 942 veh/día.

Esta progresión evidencia que el crecimiento del tránsito no responde a un comportamiento acelerado, sino a una dinámica sostenida y gradual. En consecuencia, la proyección obtenida resulta adecuada para emplearse como base del diseño, evitando tanto la subestimación de la demanda como una sobrevaloración injustificada.

8.12 COMPOSICIÓN VEHICULAR PROYECTADA

Además del crecimiento del TPD total, la tabla presenta una distribución simplificada entre autos y vehículos pesados. Para el año 2026 se estiman 602 autos y 208 vehículos pesados, mientras que para el año 2036 estos valores evolucionan a 682 autos y 236 vehículos pesados.

Este resultado indica que, aunque el tránsito liviano continúa siendo predominante, el componente pesado mantiene una participación importante dentro del corredor. Esta condición es especialmente relevante en el diseño estructural del pavimento, dado que son los vehículos pesados los que generan la mayor parte del deterioro acumulado sobre la estructura vial.

Por tanto, la proyección de la fracción pesada adquiere un papel fundamental en el cálculo de los ejes equivalentes de 8,2 toneladas y en la definición del tránsito de diseño.

8.13 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En términos generales, el modelo de actualización del TPD presenta varias observaciones técnicas:

Puede verse coherencia con el estudio de 2013, al partir del valor histórico de 651 veh/día y conservar la composición general del tránsito reportada en dicho análisis.

Incorpora el crecimiento natural del corredor, a través de una tasa anual conservadora, adecuada para una vía rural secundaria.

Reconoce la influencia de la vía primaria Tame – Panamá, lo cual permite ajustar la estimación del tránsito actual a una realidad territorial más completa.

Valida sus resultados mediante contraste con un aforo semanal, lo que fortalece la confiabilidad del valor adoptado para el año base 2026.

Genera una proyección gradual y técnicamente defendible, que puede emplearse con seguridad en los análisis de diseño geométrico, estructural y operacional.

Con base en el análisis realizado, se concluye que el TPD actual adoptado para el año 2026 es de 832 veh/día, resultado que representa de manera razonable las condiciones actuales del tránsito en la vía Tame – Puerto Rondón. Así mismo, la proyección a diez años muestra una evolución hasta 942 veh/día en 2036, reflejando un crecimiento moderado y consistente con la función del corredor dentro de la red vial departamental.

En consecuencia, el modelo de actualización del TPD constituye una base técnica confiable para la estimación del tránsito de diseño y para el cálculo posterior de los ejes equivalentes de 8,2 toneladas, los cuales se desarrollan en los numerales siguientes.

8.13.1 Parámetros y Variables de Diseño

Obtenida la información anteriormente descrita se debe calcular del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8,2 ton (80KN) que circularán por el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Siguiendo la metodología sugerida por los Manuales de diseño del INVIAS, se muestran a continuación los parámetros de diseño recomendados para la vía en estudio y sus respectivos cálculos para la obtención del tránsito de diseño en el periodo de diseño por el carril de diseño.

Un pavimento debe ser diseñado para soportar el transito inicial y aquel que pase durante su vida de servicio. Sin embargo, es necesario reconocer que no es fácil calcular tales cargas, por cuanto en el transito futuro intervienen factores muy complejos, dado que es muy difícil predecir los cambios en la economía regional general, en la población y en el uso de la tierra a lo largo de la vía durante el periodo de diseño (Alfonso Montejo F. Ingeniería de Pavimentos).

8.14 DATOS BASE Y SUPUESTOS DEL MODELO DE TRÁNSITO

Con el fin de estructurar el modelo de actualización del tránsito para la vía Tame – Puerto Rondón, se definieron una serie de datos base y supuestos técnicos, los cuales permiten garantizar coherencia con los estudios previos, así como representatividad frente a las condiciones actuales del corredor.

Estos datos se agrupan en tres componentes principales: el estudio de tránsito realizado en el año 2013, la información histórica de la vía primaria Tame – Panamá y la composición vehicular base utilizada para la actualización.

8.15 INFORMACIÓN BASE DEL ESTUDIO DE TRÁNSITO 2013

Como punto de partida para la actualización, se adoptaron los resultados del estudio de tránsito desarrollado en el año 2013 para la vía Tame – Puerto Rondón. En dicho estudio se reportó un Tránsito Promedio Diario (TPD) de 651 veh/día, el cual constituye el valor base para el análisis evolutivo del tránsito en el corredor.

Adicionalmente, el estudio definió un Número de Ejes Equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL) de 527.405, valor seleccionado para el diseño estructural del pavimento en ese momento. Este dato

resulta fundamental como referencia para evaluar la variación de las solicitaciones estructurales en el proceso de actualización.

En cuanto a los parámetros de diseño, se consideró un factor direccional (FD) de 0,50, correspondiente a una distribución equitativa del tránsito en ambos sentidos, y un factor de carril de diseño de 1,00, asumiendo que el tránsito pesado se concentra en un solo carril por sentido, condición típica en vías rurales de bajo volumen.

Estos parámetros se mantienen en la actualización, con el fin de conservar la consistencia metodológica con el estudio original y facilitar la comparación de resultados.

Tabla 14 – Datos Base para Modelo de Tránsito.

Datos base y supuestos del modelo			
Estudio 2013 - vía Tame - Puerto Rondón			
Variable	**Valor**	**Unidad**	**Observación**
TPD observado 2013	651	veh/día	Tomado del estudio 2013
N seleccionado 2013	527405	ESAL	Valor del estudio base
FD	0,50	-	Factor direccional asumido
Carril de diseño	1,00	-	Un carril por sentido

Fuente: Equipo consultor

8.16 ANÁLISIS DE LA SERIE HISTÓRICA DE LA VÍA TAME – PANAMÁ

Con el propósito de complementar el análisis del tránsito y considerar la interacción del corredor con la red vial principal, se analizó la serie histórica de tránsito correspondiente a la vía Tame – Panamá, la cual constituye el eje primario más cercano al área de estudio.

Tabla 15 – Resumen Serie Histórica Vía Tame - Panamá.

Año	TPD
2006	1108
2007	444
2008	1148
2009	-
2010	1084
2011	745
2012	1149
2013	1245
2014	649
2015	897
2016	681
2017	2122

Fuente: https://www.invias.gov.co/ (INVIAS) (Editada Equipo Consultor)

A partir de los registros disponibles para el periodo 2006–2017, se establecieron indicadores representativos del comportamiento del tránsito en esta vía, destacándose un promedio histórico del orden de 1.124 veh/día, el cual fue adoptado como referencia principal.

Así mismo, se identificó que para el año 2013 el TPD de la vía primaria era de 1.245 veh/día, lo que permite establecer una relación secundaria/principal cercana al 52,3%, evidenciando la importancia relativa de la vía Tame – Puerto Rondón dentro del sistema vial regional.

Con base en este análisis, se definieron los siguientes supuestos para el modelo de actualización:

Tasa de crecimiento local: se adoptó un valor de 1,3% anual, correspondiente a un escenario conservador que refleja la dinámica socioeconómica del área de influencia.

Porcentaje de desvío o captación: se consideró un valor de 6,0%, el cual representa una fracción del tránsito de la vía primaria que puede incorporarse al corredor secundario debido a condiciones de conectividad, accesibilidad y funcionalidad territorial.

Factor de agresividad de carga: se adoptó un factor de 1,35, con el fin de reflejar el posible incremento en la incidencia de vehículos pesados y en el daño relativo que estos generan sobre la estructura del pavimento en comparación con el escenario histórico.

Estos supuestos permiten construir un modelo más realista, al integrar tanto la evolución propia del corredor como su interacción con la red vial principal.

Tabla 16 – Análisis y Parámetros Adoptados de la Serie Histórica Vía Tame - Panamá.

Indicador	Valor	Unidad
Promedio 2012-2017	1.124	veh/día
Promedio 2006-2017 (sin 2009)	1.025	veh/día
TPD 2013 vía primaria	1.245	veh/día
Relación secundaria/principal en 2013	52,3%	%
Crecimiento local adoptado	1,3%	%
Porcentaje posible de desvío adoptado	6,0%	%
Factor de agresividad de carga	1,35x	x
Promedio histórico principal usado	1.124	veh/día

Fuente: Equipo consultor

8.17 COMPOSICIÓN VEHICULAR BASE

Para la distribución del tránsito por tipo de vehículo, se adoptó la composición vehicular del estudio de tránsito del año 2013, la cual se considera representativa de las condiciones operativas del corredor.

La estructura de participación vehicular se caracteriza por un predominio de vehículos livianos, con una participación del 72,4% correspondiente a automóviles, seguida por vehículos de carga de dos ejes (C2P y C2G), que en conjunto representan una fracción significativa del tránsito. Los vehículos de mayor configuración (C3-C4, C5 y C6) presentan una participación menor, pero son determinantes en el análisis estructural del pavimento debido a su mayor impacto en términos de carga.

Tabla 17 – Composición vehicular 2013

Composición vehicular 2013			
Clase	**Veh/día 2013**	**Participación**	**Nota**
Autos	471	72,4%	Se mantiene como base de reparto
Buses	17	2,6%	Se mantiene como base de reparto
C2P	69	10,6%	Se mantiene como base de reparto
C2G	75	11,5%	Se mantiene como base de reparto
C3-C4	17	2,6%	Se mantiene como base de reparto
C5	1	0,2%	Se mantiene como base de reparto
C6	1	0,2%	Se mantiene como base de reparto
Total	**651**	**100,0%**	

Fuente: Estudio de Transito del Consorcio Intervial BP – Contrato 121 de 2013

El mantenimiento de esta composición como base de reparto permite:

- garantizar la comparabilidad entre el estudio original y la actualización;
- asegurar la coherencia en la estimación de ejes equivalentes;
- y evitar la introducción de sesgos en la modelación del tránsito por falta de información detallada actualizada.

No obstante, se reconoce que la dinámica del transporte puede haber experimentado variaciones en la participación de vehículos pesados, razón por la cual el modelo incorpora un factor de ajuste en la agresividad de carga, el cual se refleja en los cálculos de tránsito de diseño.

8.18 INTEGRACIÓN DE LOS SUPUESTOS EN EL MODELO

La integración de los datos base y los supuestos descritos permite estructurar un modelo de actualización del tránsito que:

- parte de información real y verificada del estudio de 2013;
- incorpora el crecimiento natural del tránsito en el corredor;
- considera la influencia de la red vial primaria cercana;
- y ajusta el impacto de la carga vehicular sobre la infraestructura.

En conjunto, estos elementos proporcionan una base técnica sólida para la estimación del TPD actual, su proyección a futuro y el cálculo de los ejes equivalentes de diseño, los cuales se desarrollan en los numerales siguientes.

8.19 ESTIMACIÓN DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS (ESAL)

Con el fin de determinar las solicitaciones estructurales del pavimento para el periodo de diseño, se realizó la estimación del Número de Ejes Equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL) para el horizonte comprendido entre los años 2026 y 2035, con base en la información histórica disponible, el modelo de actualización del tránsito y los supuestos adoptados para la evolución de la carga vehicular.

8.20 PARÁMETROS DE REFERENCIA

Como punto de partida, se adoptaron los resultados del estudio de tránsito realizado en el año 2013, en el cual se definió un valor de:

N = 527.405 ESAL, correspondiente al tránsito acumulado de diseño para el periodo considerado en dicho estudio.

TPD base = 651 veh/día, obtenido a partir del aforo vehicular realizado en ese momento.

Estos valores constituyen la referencia para el proceso de actualización, permitiendo mantener coherencia con los diseños previamente desarrollados.

Para el escenario actual, se adoptó un TPD actualizado para el año 2026 de 832 veh/día, obtenido a partir del modelo de actualización que integra el crecimiento local del tránsito y la captación desde la vía primaria Tame – Panamá.

Adicionalmente, se incorporó un factor de agresividad de carga de 1,35, el cual permite reflejar un incremento moderado en el daño producido por los vehículos pesados respecto a las condiciones observadas en el año 2013. Este ajuste considera posibles cambios en la operación del transporte, tales como mayores niveles de carga, incremento en la participación de vehículos pesados o variaciones en las condiciones de servicio del corredor.

8.21 CÁLCULO DE LOS ESAL ACUMULADOS

El valor de los ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño se determinó a partir de la relación entre el tránsito actual y el tránsito base del estudio original, incorporando el factor de ajuste por agresividad de carga.

El cálculo de los ejes equivalentes de diseño se realizó a partir de la actualización proporcional del valor obtenido en el estudio de tránsito de 2013, considerando la variación del TPD y un ajuste por agresividad de carga. Este procedimiento se fundamenta en la metodología AASHTO adoptada por INVÍAS, en la cual el número de ejes equivalentes es directamente proporcional al volumen de tránsito y a los factores de equivalencia de carga.

Tabla 18 – Datos para estimación de ESAL

Concepto	Valor	Unidad	Fórmula	Comentario
N seleccionado estudio 2013	527.405	ESAL	dato histórico	Valor seleccionado por el estudio base
TPD base 2013	651	veh/día	dato histórico	Aforo base
TPD actual adoptado 2026	832	veh/día	desde Modelo_TPD	Actualización
Factor de agresividad de carga	1,35x	x	entrada	Ajuste moderado vs. 2013
ESAL 10 años adoptados (2026-2035)	909.956	ESAL	N2013*(TPDact/TPD 2013)*factor	Valor recomendado
Tasa de crecimiento anual	1,3%	%	entrada	Misma tasa del TPD
Suma factores de crecimiento 10 años	10,581666337	-	sumatoria	Periodo 2026-2035
ESAL diarios de diseño en 2026	236	ESAL/día	N/[365*sum(factores)]	Base para distribución anual

Fuente: Equipo consultor

De esta manera, el número de ESAL para el periodo 2026–2035 se obtiene mediante la expresión:

$$N = N_{2013} x \left(\frac{TPD_{actual}}{TPD_{2013}}\right) x F_{carga}$$

Donde:

- N_{2013} corresponde a los ejes equivalentes definidos en el estudio base,
- TPD_{actual} es el tránsito actualizado para el año inicial de diseño,
- TPD_{2013} es el tránsito base del estudio original,
- F_{carga} es el factor de agresividad de carga adoptado.

Tabla 19 – Estimación de ejes equivalentes de 8,2 t - periodo 2026-2035

Distribución anual de ESAL						
Año	Factor crecimiento	ESAL año	ESAL acumulado	TPD proyectado	ESAL/veh 2026	Comentario
2026	1,000	85.994	85.994	832	0,283	Servicio de 10 años
2027	1,013	87.069	173.062	842	0,283	Servicio de 10 años
2028	1,025	88.157	261.219	853	0,283	Servicio de 10 años
2029	1,038	89.259	350.478	864	0,283	Servicio de 10 años
2030	1,051	90.375	440.853	874	0,283	Servicio de 10 años
2031	1,064	91.504	532.357	885	0,283	Servicio de 10 años

Distribución anual de ESAL						
Año	Factor crecimiento	ESAL año	ESAL acumulado	TPD proyectado	ESAL/veh 2026	Comentario
2032	1,077	92.648	625.005	896	0,283	Servicio de 10 años
2033	1,091	93.806	718.811	908	0,283	Servicio de 10 años
2034	1,104	94.979	813.790	919	0,283	Servicio de 10 años
2035	1,118	96.166	909.956	930	0,283	Servicio de 10 años
Resultado	**909.956 ESAL**			**Periodo de diseño 2026-2035**		

Fuente: Equipo consultor

Como resultado de este proceso, se obtiene un valor de:

N = 909.956 ESAL

N = 909.956 Ejes de 8,2 Toneladas

Correspondiente al tránsito acumulado de diseño para un periodo de **diez (10) años**.

8.22 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

8.22.1 Tránsito

Tal como se ha indicado, se considera un tráfico pesado, para lo cual se hacen las transformaciones respectivas a ejes equivalentes para 10 años.

Debido al volumen de tráfico proyectado que soportará la estructura, se ha establecido un número de repeticiones de carga equivalente por eje simple para el volumen de tráfico total, según el criterio de análisis adoptado en el estudio de tránsito, el número de ejes equivalentes de 8.2 ton es:

TOTAL, TRANSITO DE DISEÑO N o WT18 (10 años)	**909.956 Ejes de 8.2 Ton**

8.22.2 Confiabilidad

La "Confiabilidad del Diseño (R)" se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado. La confiabilidad también puede ser definida como la probabilidad de que el número de repeticiones de cargas (Nt) que un pavimento pueda soportar para alcanzar un determinado nivel de serviciabilidad de servicio, no sea excedida por el número de cargas que realmente estén siendo aplicadas (Wt) sobre ese pavimento".

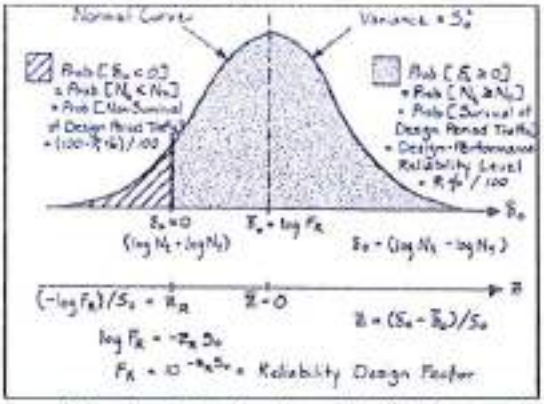


Imagen No. 18 – Criterio de confiabilidad estadística
Fuente: Apuntes de estadistica.

Si se ha definido a Wt18 como las cargas equivalentes de diseño y a WT como las cargas actuantes reales, se tendrá en la Figura "4.1", que el área en blanco representa la probabilidad de éxito del diseño, es decir que Nt≥NT cuando Po≥ Pt. Esta probabilidad se define como el "Nivel de Confiabilidad (R)" del proceso de diseño-comportamiento, y se expresa:

$$R=100 * \text{Probabilidad } (Nt \geq NT) = 100 * \text{Probabilidad } (d \geq 0)$$

Para un nivel determinado de Confiabilidad, (R), habrá un Factor de Confiabilidad-(FR)- que es función de la desviación estándar (So), y la cual, a su vez, toma en consideración la variación esperada en los materiales y el proceso constructivo que predominarán en el pavimento que se diseña, la posibilidad de variación en la predicción del tráfico a lo largo del período de diseño, y la variabilidad normal en el comportamiento del pavimento para un valor de Wt18.

La confiabilidad (R), en el Método AASHTO '93, se establece mediante la correcta selección de este "Factor de Confiabilidad en el Diseño (FR)", y para cuya determinación es necesario transformar la curva del proceso de diseño a una "curva normalizada",

En esta curva normalizada, donde el valor de Z = ZR es decir:

$$Z_R = (-\log FR) / S_0$$

Para un nivel determinado de confiabilidad, por ejemplo R = 75%, el valor de ZR puede ser obtenido de las curvas de distribución normal (Curvas de Gauss), y corresponde al área en el sector que va desde (-∞) hasta (100-R / 100). En una curva de Gauss se tiene que para R = 75%, el valor de ZR = (-0,674).La ecuación anterior también puede ser escrita como:

$$\log FR = -Z_R * S_0$$

O también como:

$$FR = 10^{-ZR * S0}$$

Ambas ecuaciones pueden ser consideradas como una definición algebraica del Factor de Confiabilidad de Diseño.

La **Tabla 20** permite obtener los niveles adecuados de Confiabilidad (R) para diferentes tipos de vías, clasificadas por la AASHTO, según su grado de servicio.

Tabla 20 – Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)

Clasificación de la vía	Urbana	Rural
Autopistas	85-99,9	80-99,9
Troncales	80-99	75-95
Locales	80-95	75-95
Ramales y Vías Agrícolas	50-80	50-80

Fuente: ASSHTO-93

La vía objeto de estudio se clasifica como una vía de segundo orden perteneciente a la red vial secundaria departamental, debido a que conecta dos cabeceras municipales y se articula directamente con una vía de primer orden del sistema nacional. De acuerdo con la normativa del Ministerio de Transporte e INVIAS, este tipo de vías cumple una función intermunicipal estratégica, actuando como corredor de integración regional y como vía alimentadora de la red primaria. En consecuencia, para efectos del diseño de pavimento, su nivel de importancia es superior al de una vía terciaria o agrícola, por lo que se adoptan criterios de diseño acordes con vías secundarias, incluyendo niveles de confiabilidad más exigentes.

$$R_{adoptado} = 80\%$$

Una vez seleccionado el valor de R que el Proyectista considere adecuado, se busca el valor de Z_R de la **Tabla 21.** Si el Proyectista carece de experiencia en el diseño, evidentemente, ya que mientras mayor sea el valor de R mayor será la confianza en el diseño, tratará de seleccionar los valores en el rango alto de la **Tabla 20.** El valor que representa a la Confiabilidad y que es llevado a la ecuación de diseño ASSHTO-93 es, finalmente, el valor Z_R

Tabla 21 – Valores de Z_R en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad

CONFIABILIDAD, %.	DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR, Zr.
50	0.000
60	-0.253
70	-0.254
75	-0.674
80	**-0.841**
85	-1.036
90	-1.282
91	-1.341
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	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

8.22.3 Desviación Estándar Del Sistema (S_o)

El valor de la desviación estándar (S_o) que se seleccione debe, por otra parte, ser representativo de las condiciones locales. La **Tabla 22** se recomienda para uso general, pero estos valores pueden ser ajustados en función de la experiencia para uso local

Tabla 22 – Recomendados para la Desviación Estándar (S_o)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 — 0.50 (0.45 valor recomendado)

Fuente: ASSHTO-93

8.22.4 Criterio De Comportamiento

La serviciabilidad de un pavimento se ha definido como su habilidad de servir al tipo de tráfico que utiliza la facilidad vial. La medida fundamental de la serviciabilidad, tal como fue establecida en el Experimento Vial de la AASHO, es el Índice de Serviciabilidad Actual (PSI), y que puede variar entre los rangos de cero (0) -vía intraficable- a cinco (5) -vía con un pavimento perfecto-. Los índices de serviciabilidad inicial (Po) y final -o terminal- (Pt), deben ser establecidos para calcular el cambio total en serviciabilidad que será incorporado en la ecuación de diseño. El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po) es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO para los pavimentos flexibles fue de 4,2. El Índice

de Serviciabilidad Final (Pt), es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la via antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la via cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

Para vias con caracteristicas de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico:

$$P_t = 2.5 - 3.0$$

Para vias con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas Interurbanas,

$$P_t = 2.0 - 2.5$$

Para vias locales, ramales, secundarias y agricolas se toma un valor de

$$P_t = 1.8 - 2.0$$

Se recomienda que, normalmente el valor de pt nunca sea menor de 1.8, aun cuando las características de tráfico de la vía sean muy reducidas.

De ser ese el caso, lo que se recomienda es disminuir el período de diseño.

Los criterios de aceptación por el público usuario de una vía, en función de la condición de servicio, que pueden servir como indicadores para la adecuada selección del valor de serviciabilidad final (Pt), son, de acuerdo a lo indicado en la Guia de Diseño AASHTO-93 son:

Tabla 23 – Recomendados para la Desviación Valores de Pt

Valor de P_t	% de usuarios que aceptan como buena la condición de servicio del pavimento
3.0	82
2.5	45
2.0	15

Fuente: ASSHTO-93

El valor de diseño para el criterio de comportamiento que se introduce en la ecuación de diseño es la diferencia entre Po y Pt, es decir:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

8.23 MÉTODO DE DISEÑO Y PARÁMETROS ADOPTADOS

El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) – versión 2004 – establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural, el cual se calcula en función de:

- El tráfico que circulará por la vía durante un determinado número de años (periodo de diseño).
- La resistencia del suelo natural (sub-rasante) que soportará al pavimento.
- Los niveles de serviciabilidad.

Asimismo, deben considerarse diversos factores de seguridad que garanticen que la solución obtenida cumpla con un determinado nivel de confianza, los mismos que funcionan a través de determinados parámetros estadísticos.

Cuando el Número Estructural requerido esté determinado, la estructuración del pavimento se realiza por medio de tanteos, indicando espesores para cada una de las capas tomadas en cuenta y calculando en función a estos espesores y a las características de los materiales considerados (haciendo uso de coeficientes estructurales y de drenaje) los números estructurales parciales, los mismos que deben satisfacer el valor total requerido una vez sumados.

Por razones simplemente constructivas (como, por ejemplo: el tamaño máximo de las partículas, el espesor mínimo para compactación de la capa superior, el tráfico y la estructura del pavimento), los espesores de las capas finales deben cumplir con determinados valores mínimos.

El método de la AASHTO - versión 1993 - proporciona la siguiente ecuación con la finalidad de calcular el Número Estructural Total (SN), el mismo que debe satisfacer la estructura del pavimento.

$$\log_{10} Wt18 = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Variables Independientes

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 8.2Ton o 80KN acumuladas en el periodo de diseño (n)

ZR: Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

So: Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

ΔPSI: Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la "planitud" (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial (Po)) y su planitud al final del periodo de diseño (Serviciabilidad Final (Pt)).

MR: Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

Variables Dependientes

SN: Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

El método AASHTO 93 proporciona la siguiente ecuación para la estructuración de un pavimento:

$$SN_{REQ} = a1\ D1 + a2m2\ D2 + a3m3\ D3$$

Dónde:

SN_{REQ}: Número Estructural Total requerido.

a1, a2, a3: Coeficientes estructurales de los materiales.

m2, m3: Coeficiente de drenaje de materiales granulares.

D1, D2, D3: Espesores asumidos de las capas.

Una vez obtenido el Número Estructural Total (SNT) requerido - el cual debe satisfacer la estructura total del pavimento – el dimensionamiento se reduce a un sencillo problema aritmético, debido a que a1, a2, a3, m2 y m3 son valores conocidos mientras que D1, D2 y D3 son valores asumidos, de modo tal que se debe cumplir con la igualdad una vez realizadas las operaciones indicadas en la ecuación (3).

El método también indica que cada una de las capas debe cumplir con un Número Estructural de capa (SNi). Los cálculos se realizan en forma similar que el Número Estructural Total pero considerando el Módulo Resiliente del material subyacente. De este modo, se garantiza que haya una coherencia estructural tanto entre el espesor total del pavimento y la calidad de la sub-rasante como entre el espesor de cada capa y la calidad del material de la capa inmediatamente inferior. Asimismo, existen valores mínimos que deben considerarse en función al volumen de tráfico.

Por otro lado, las correlaciones más utilizadas para determinar el Módulo de Resiliencia (MR) en función del CBR son las siguientes:

Para CBR < ó = 7 MR = 1500 CBR (psi)..... (α)

Para 7 < CBR ≤20 MR = 3000 CBR ^ 0.65 (psi)..... (β)

Para CBR > 20 MR = 4326 ln CBR + 241 (psi)..... (γ)

En el presente proyecto, se adopta un valor de CBR de diseño igual a 8,36%, obtenido a partir del análisis de la subrasante y ajustado mediante la aplicación del método de Ivanov. Este ajuste

considera la influencia estructural de las capas de mejoramiento existentes, particularmente el material granular tipo pedraplén y material crudo, con un espesor mínimo representativo de 0,50 m a lo largo del tramo evaluado.

La incorporación de este método permite estimar un CBR equivalente del sistema suelo–mejoramiento, reflejando de manera más realista las condiciones de soporte de la estructura existente, en lugar de considerar únicamente el comportamiento del suelo natural. En consecuencia, el valor adoptado integra tanto la capacidad portante de la subrasante como el efecto favorable del mejoramiento granular, constituyéndose en un parámetro adecuado para el dimensionamiento de la estructura de pavimento.

Entonces en (α):

$$MR = 3000\ CBR\ ^{\wedge}\ 0.65$$

$$MR = 3000\ (8{,}36)\ ^{\wedge}\ 0.65$$

MR = 11927,66 PSI

Ahora para las capas de Subbase Granular, Base Granular y Carpeta asfáltica tenemos:

8.23.1 Mezclas de Concreto Asfáltico para la Capa de Rodamiento y para Mezclas en Capas Intermedias (Distinta a Rodamiento)

a. Caso en que se conoce el Módulo Elástico de la mezcla asfáltica.

La **Imagen No. 19** presenta un gráfico que puede ser empleado para determinar el valor de (a_{rod} o a1) de mezclas densamente gradadas de concreto asfáltico, a partir del módulo de elasticidad [E_{ca}], el cual, a su vez, debe haber sido determinado mediante ensayos de laboratorio, o por ecuaciones de correlación. Debe alertarse sobre la determinación de los coeficientes estructurales en mezclas de concreto asfáltico con valores de [E_{ca}] mayores a 450.000 psi, ya que el incremento en rigidez va acompañado por un aumento en su susceptibilidad en el agrietamiento por temperatura y por fatiga, en el caso de MAC convencionales, no así en MAC de "Alto Módulo", las cuales son preparadas con asfaltos modificados, que les imparten propiedades especiales de elasticidad.

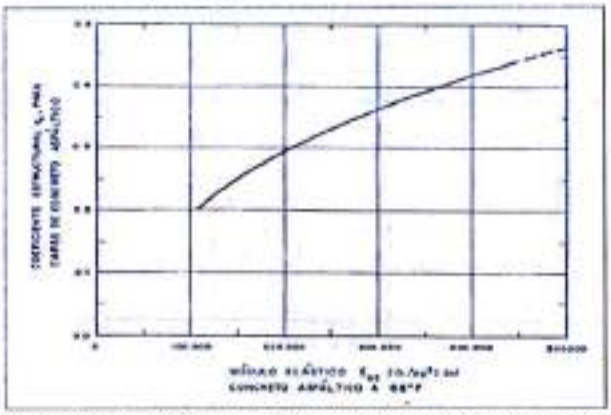


Imagen No. 19 – Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas de concreto asfáltico densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o capas intermedias, a partir del Módulo de Elasticidad
Fuente: ASSHTO-93

b. Caso en que NO se conoce el Módulo Elástico de la mezcla asfáltica.

En el caso de que no se disponga del valor del Módulo de Elasticidad de la mezcla asfáltica, puede emplearse el gráfico de la **Imagen No. 20**, para estimar el coeficiente estructural (a1), a partir de la estabilidad Marshall de la mezcla. (Este gráfico es el mismo que se emplea en el Método AASHTO '72 para la determinación del coeficiente estructural de las capas de concreto asfáltico.

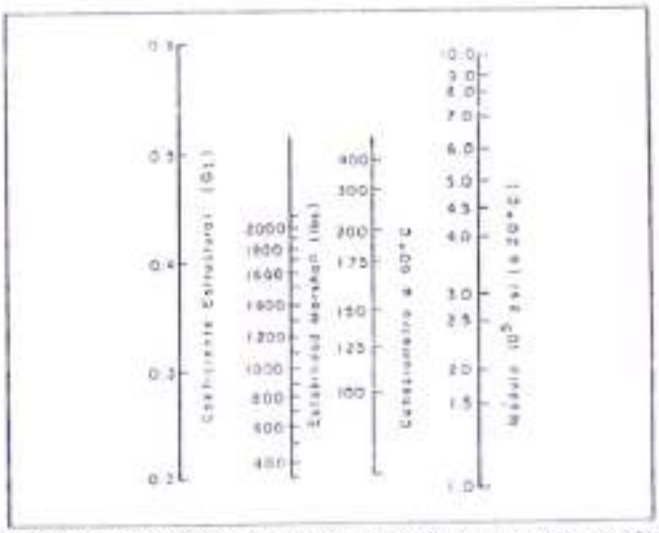


Imagen No. 20 – Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall
Fuente: ASSHTO-93

8.23.2 Bases granulares no-tratadas

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (a2) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, etc.), se

determina, a partir del Módulo de Elasticidad (Módulo Resiliente) (MRb), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$a_{base\ granular} = 0{,}249\ (\log MRb) - 0.977$$

Para esta ecuación debe tomarse en cuenta que el valor se acota en un máximo de 0.14, excepto cuando se emplea agregado siderúrgico con CBR>110%, cuando se acepta un valor de 0.15.

También puede emplearse el gráfico de la **Imagen No. 21**, para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa base de material granular no-tratado, cuando se disponga del valor de CBR, Hveem o Triaxial de Texas.

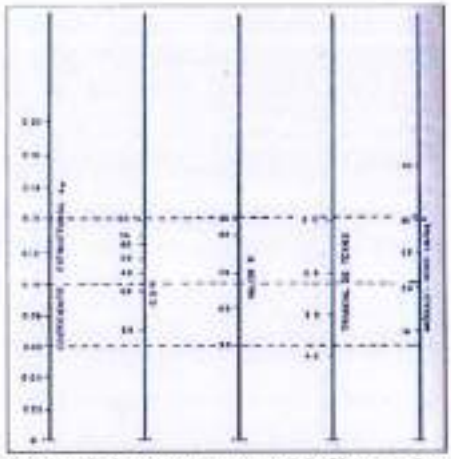


Imagen No. 21 – Valores del coeficiente estructural (a2) para bases granulares no-tratadas
Fuente: ASSHTO-93

8.23.3 Sub-bases granulares no-tratadas

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (asb o a3) (tal como es el caso de las sub-bases de grava cernida, granzón natural, granzón mezclado, etc.), se determina, a partir del Módulo de Elasticidad (Módulo Resiliente) (MRsb), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$a_{sub\text{-}base} = 0{,}227\ (\log MRsb) - 0.839$$

Para esta ecuación debe tomarse en cuenta que el valor se acota en un máximo de 0.13.

También puede emplearse el gráfico de la **Imagen No. 22**, para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa sub-base de material granular no-tratado, cuando se disponga del valor de CBR, Hveem o Triaxial de Texas

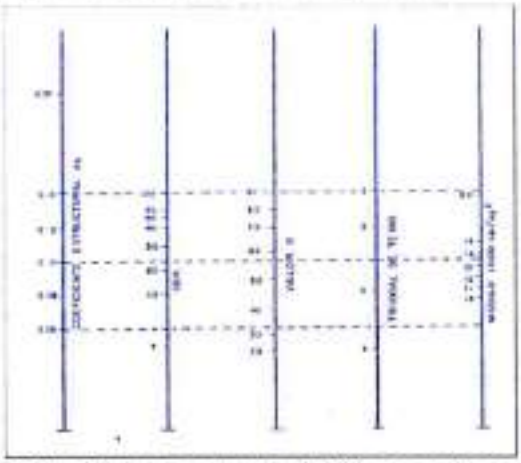


Imagen No. 22 – Valores del coeficiente estructural (a3) para subbases granulares no-tratadas
Fuente: ASSHTO-93

8.23.4 Características estructurales del pavimento

El Método AASHTO '04 para el diseño de pavimentos flexibles proporciona un sistema para ajustar los coeficientes estructurales en forma tal que tomen en consideración de los niveles de drenaje sobre el comportamiento del futuro pavimento.

El efecto de la calidad del drenaje sobre la estructura del pavimento se toma en cuenta a través de un "factor de ajuste (m)", -que se obtiene de la **Tabla 24**, y por el cual se multiplican los coeficientes estructurales de la base (a_b) o de la sub-base (a_{sb}), sólo en el caso de que los materiales/mezclas que constituyan estas capas sean del tipo no-tratados.

Tabla 24 – Recomendados para la Desviación Valores de Pt

Valores recomendados del Coeficiente de Ajuste (m) para los coeficientes estructurales de las capas de base y/o sub-bases no-tratadas

	Porcentaje del tiempo durante el cual la estructura de pavimento está sometido a condiciones de humedad cercanas a saturación			
Calidad de Drenaje de la Base o sub-base	Menos del 1 %	Entre el 1 y 5 %	Entre el 5 y 25 %	Más del 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: ASSHTO-93

Finalmente, para el cálculo del pavimento se tienen los siguientes datos:

a) Propiedades De Los Materiales

A.- Módulo de Resiliencia de la Base Granular (PSI): 19.197; para CBR=80

B.- Módulo de Resiliencia de la Sub-Base Granular (PSI): 14.954; para CBR=30

C.- Módulo de Resiliencia de Crudo tamaño Máximo 4" (PSI): 10.201; para CBR=10

b) Datos Del Tránsito Y Propiedades De La Sub-Rasante

A.- Número de Ejes Equivalentes Total (Wt18): 909.956 Ejes de 8.2 Ton

B.- Factor de Confiabilidad (R): 80%

Desviación Estándar Normal (Zr): -0,841

Desviación Estándar Total (So): 0,45

C.- Módulo de Resiliencia de la Sub-Rasante (Se tomo en cuenta Capa de Crudo (MR, PSI)): 11.927,66

D.- Serviciabilidad Inicial (pi): 4,2

E.- Serviciabilidad Final (pt): 2,5

F.- Período de Diseño (Años): 10

c) Estructuración Del Pavimento

A.- Coeficientes Estructurales de Capa

Concreto Asfáltico (a1): 0,35

Base Granular (a2): 0,12

Sub-Base Granular (a3): 0,10

B.- Coeficientes de Drenaje de Capa

Base Granular (m2): 0,80

Sub-Base Granular (m3): 0,80

De este modo, en la ecuación (2) obtenemos el Número Estructural Requerido Total (SNREQ):

Número Estructural Requerido Total (SNREQ): 2,66

8.23.5 Dimensionamiento De Pavimentos Flexibles Método AASHTO.

De acuerdo a los cálculos realizados en la ecuación anterior, se concluye que la estructura del pavimento será como se muestra en las siguientes tablas de diseño:

Tabla 25 – Calculo Estructura de Pavimento Método AASHTO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL METODO AASHTO		
PROYECTO: ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA		
TRAMO: SECTOR EL PLATO		
FECHA: MARZO DE 2026		
TIPO DE VÍA		Rural
CLASIFICACIÓN DE LA VÍA		Colectoras de Tránsitos
NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO		75-99
NIVEL DE CONFIANZA SELECCIONADO		80
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES W_{18}		909.956
DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL Z_R		-0,841
DESVIACIÓN ESTANDAR TOTAL S_0		0,45
SERVICIABILIDAD		
SERVICIABILIDAD INICIAL (P_o)		4,2
SERVICIABILIDAD FINAL (P_t)		2,5
$\Delta PSI = P_o - P_t$		1,7
CARACTERISTICAS DE LA SUBRASANTE		
CBR DE LA SUBRASANTE		8,36
MODULO RESILIENTE MR (PSI)		11927,46
CARACTERISTICAS DE LAS CAPAS GRANULARES		
CONCRETO ASFALTICO		
Coeficiente Estructural Concreto Asfaltico (a_1)		0,35
CBR DE LA BASE		80
MODULO RESILIENTE MR BASE (PSI)		19197,95
Coeficiente Estructural Base (a_2)		0,13
Coeficiente de Drenaje (m_2)		0,8
CBR DE LA SUBBASE		30
MODULO RESILIENTE MR SUBBASE (PSI)		16856,58
Coeficiente Estructural Subbase (a_3)		0,10
Coeficiente de Drenaje (m_3)		0,8
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN_{1+2})		2,66
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN_{1*})		0,79
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN_{2*})		0,89
NUMERO ESTRUCTURAL SUBBASE GRANULAR (SN_{3*})		0,98

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA		
	TEORICO	PROPUESTO
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm) (Min 7,5cm)	5,7	7,5
ESPESOR BASE GRANULAR (cm) (Min 15cm)	15,0	15,0
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm) (Min 15cm)	20,0	20,0
ESPESOR MEJORAMIENTO EN CRUDO (cm)		0,0
ESPESOR TOTAL (cm)		42,5

Página 1

Fuente: Equipo Consultor

ALTERNATIVAS DE DISEÑO SEGÚN MÉTODO AASHTO:

Tabla 26 – Alternativa 1 Estructura de Pavimento Método AASHTO

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA	
ALTERNATIVA 1	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR	15CM
SUBBASE GRANULAR	20CM

Fuente: Equipo Consultor

8.23.6 Dimensionamiento De Pavimentos Flexibles Método INVIAS

De acuerdo a los datos consignados en el método anterior de diseño, se concluye que la estructura del pavimento sugerido en las cartas del INVIAS será como se muestra en las siguientes tablas de diseño:

Tabla 27 – Calculo Estructura de Pavimento Método INVIAS

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA MEDIOS Y ALTOS VOLUMENES DE TRAFICO	
PROYECTO: ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA	
TRAMO: SECTOR EL PLATO	
FECHA: MARZO DE 2026	
CATEGORIA DE LA VIA	II
NUMERO TOTAL DE CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	1
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL (Fd)	50%
FACTOR CARRIL (Fca)	0,5
EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON (N):	909.956,00
NIVEL DE CONFIANZA	80%
EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON CORREGIDO (N'):	1.054.639,00
RANGO DE TRANSITO	1 - 2 X 10^6
DESIGNACIÓN TRANSITO	T2
REGIÓN CLIMATICA	R3
CBR DE LA SUBRASANTE	8,36
MODULO RESILIENTE (MR Kg/cm^2)	836
CATEGORIA DE LA SUBRASANTE	S3

Página 1

PARAMETROS DE DISEÑO

PARAMETROS DE DISEÑO	VALOR	CATEGORIA EN EL MANUAL
Módulo Resiliente Promedio (Kg/cm^2)	836	S3
Transito Equivalente de Diseño	1,05E+06	T2
TMAP	27°C	20°C-30°C
Precipitación mm/año	1761	<2000mm/año

Carta N° 3

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA	
ALTERNATIVA 1	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR	20CM
SUBBASE GRANULAR	30CM
ALTERNATIVA 2	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFALTICA	15CM
SUBBASE GRANULAR	30CM
ALTERNATIVA 3	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFALTICA	20CM
SUBBASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO	25CM

Fuente: Equipo Consultor

Carta No. 3
Región 3 (R3)
Cálido seco y cálido semihúmedo

TMAP 20°C – 30°C
Precipitación < 2000 mm/año

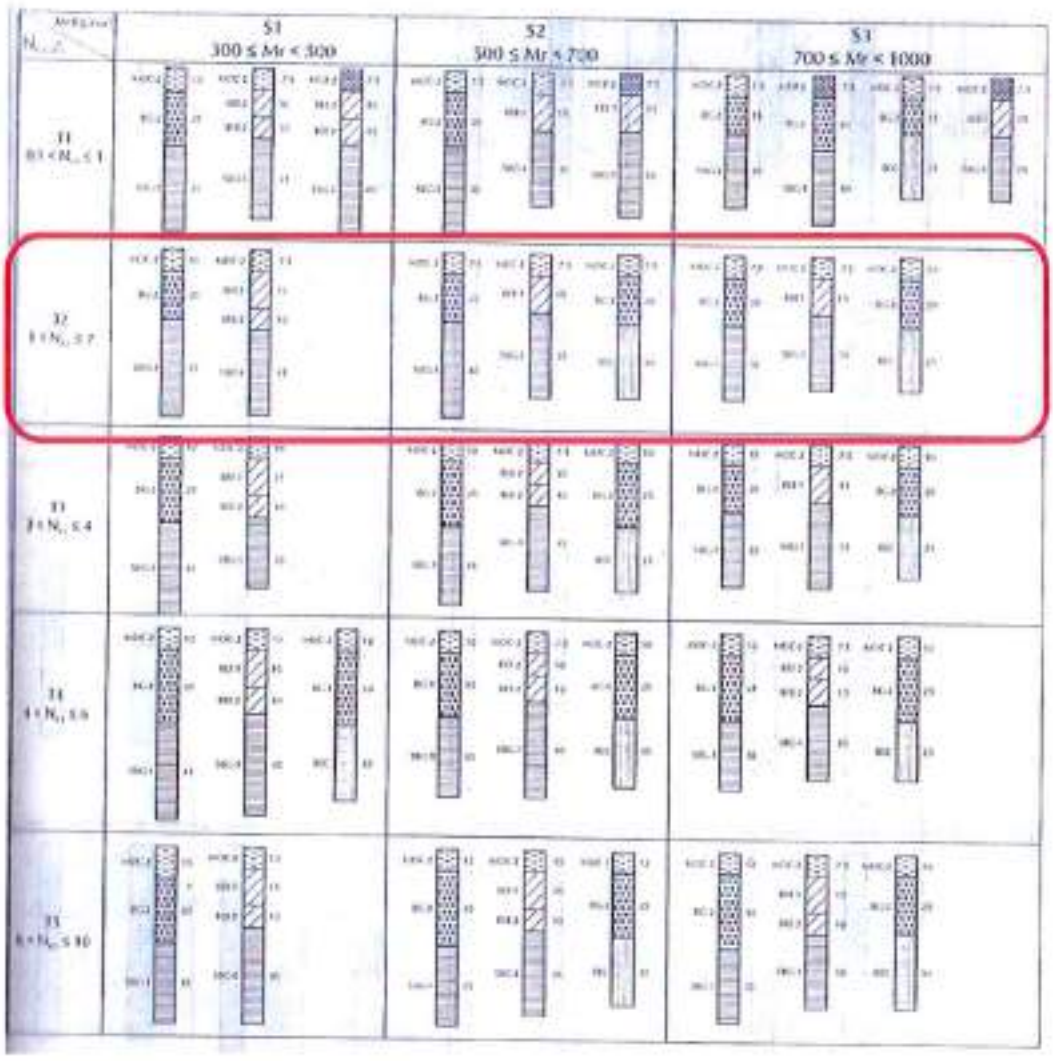


Imagen No. 23 – Valores del coeficiente estructural (a3) para subbases granulares no-tratadas
Fuente: ASSHTO-93

ALTERNATIVAS DE DISEÑO SEGÚN MÉTODO INVIAS:

Luego de aplicar el método para las tres unidades de diseño se observa que las alternativas de diseño son iguales para todos los casos.

Tabla 28 – Alternativa 2 Estructura de Pavimento Método INVIAS

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA UNIDAD DE DISEÑO 1	
ALTERNATIVA 1	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR - 2	20CM
SUBBASE GRANULAR	30CM
ALTERNATIVA 2	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA - 1	15CM
SUBBASE GRANULAR	30CM
ALTERNATIVA 3	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR - 2	20CM
BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO	25CM

Fuente: Equipo Consultor

8.23.7 CALCULO DE ESFUERZOS DEFORMACIONES Y DEFLEXIONES DE SERVICIO EN LA ESTRUCTURA PLANTEADA POR MEDIO DEL PROGRAMA DEPAV.



Imagen No. 24 – Calculo De Esfuerzos Deformaciones Y Deflexiones De Servicio
Fuente: Programa WINDEPAV

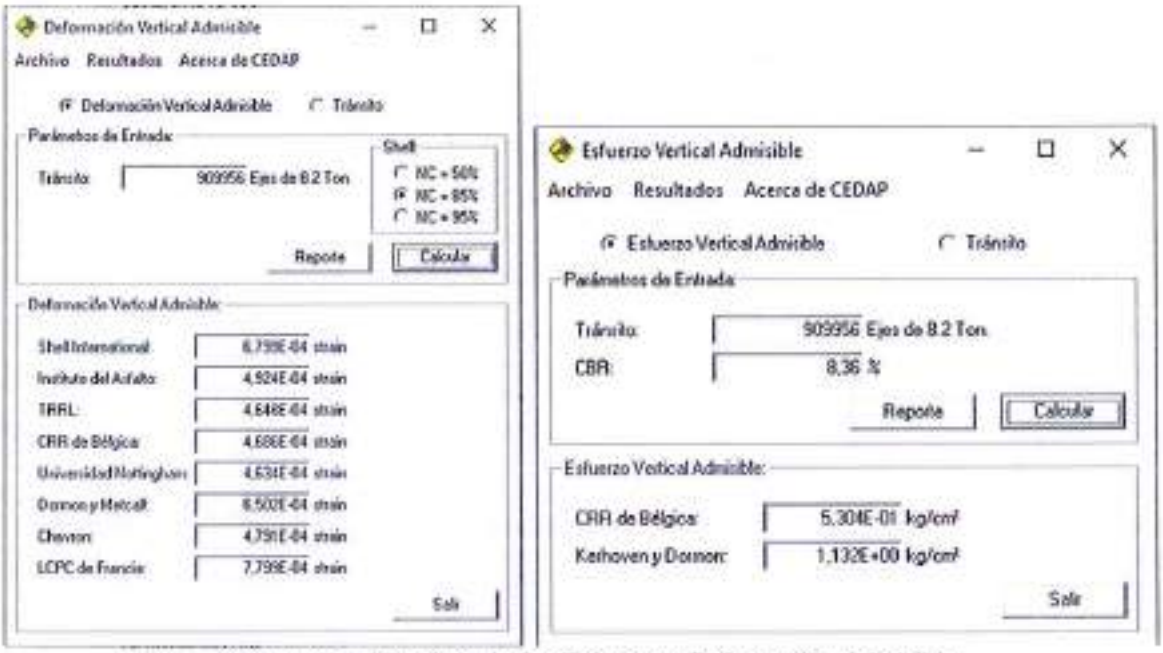


Imagen No. 25 – Calculo De Esfuerzo y Deformación Admisible
Fuente: Programa CEDAP

CONTROL DE FATIGA

Criterio o ley de la fatiga de la Shell

$\varepsilon_{radm} = (0.856 * Vb + 1.08)E_1^{-0.36} * (N/K)^{-0.20}$

ε_{radm}=	Deformación radial admisible por tracción en la base de la capa asfáltica
Vb=	Porcentaje de volumen de asfalto de la mezcla
E_1=	Modulo Dinámico de la mezcla Asfáltica
N=	Tránsito de diseño en ejes de 8,2ton
K=	Coeficiente de Calage (k1xk2xk3)
CBR_{SR}=	3,1
MR=Es=	4.620 PSI
MR=Es=	325 Kgf/cm2

Vb=	10
E_1=	4,0E+9 N/m2
N=	909956, Ejes de 8.2Ton
K=	8,25

ε_{radm}=	3,302E-04

ε_r=	2,860E-06	Cumple

CONTROL DE AHUELLAMIENTO

Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante, εz adm

ε_{zadm}= $2.1 * 10^{-2} * N^{-0.25}$ Con Nivel de confianza del 85%

ε_{zadm}=	6,799E-04

ε_z=	4,470E-04	Cumple

CONTROL DE LA DEFLEXIÓN

Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante, σz adm

$$\sigma_{z\,adm} = \frac{0.007 Esub}{(1+0.7\log N)}, kg/cm^2$$

$\sigma_{z\,adm}$	0,440 Kgf/cm2	
σ_z	0,175 Kgf/cm2	Cumple

Deflexión admisible del modelo estructural, Δz adm

$\Delta_{adm} = 26.32202 * (N)^{-0.2438}$

Δ_{adm}=	0,928 mm	
Δ_z=	0,783 mm	Cumple

Tabla 29 – Control de Esfuerzos y Deformaciones

CRITERIO POR CAPA	PARAMETRO	VALOR ADMISIBLE	VALOR DE SERVICIO	CHEQUEO	% DE CONSUMO	% DE RESERVA
Deformación radial admisible por tracción en la base de la capa asfáltica	εr	3,302E-04	2,860E-06	Cumple	0,87%	99,13%
Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante	ε_z	6,799E-04	4,470E-04	Cumple	65,74%	34,26%
Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante (Kgf/cm²)	σ_z	0,440 Kgf/cm2	0,175 Kgf/cm2	Cumple	39,89%	60,11%
Deflexión (mm)	Δ_z	0,928 mm	0,783 mm	Cumple	84,36%	15,64%

Fuente: Equipo Consultor

Se cumplió con la condición que todos los valores de servicio fueran de menor magnitud que los valores admisibles en cuanto a deformación, deflexión y esfuerzo del modelo estructural planteado.

8.23.8 DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

a) **Terreno de Fundación.** - El suelo de fundación en el tramo evaluado corresponde predominantemente a materiales finos, clasificados como arcillas de baja plasticidad (CL) y limos (ML), con presencia localizada de suelos intermedios tipo CL-ML y materiales granulares finos como SM. Estos suelos presentan condiciones relativamente homogéneas a lo largo del corredor, con comportamiento caracterizado por baja a moderada capacidad de soporte y alta sensibilidad a la humedad.

Durante las inspecciones de campo se evidenció la existencia de un terraplén previamente conformado, el cual incluye capas de mejoramiento con materiales granulares tipo pedraplén y material crudo, con espesores variables a lo largo del tramo. En algunos sectores estas capas han sido parcialmente erosionadas o reducidas, mientras que en otros constituyen parte importante del sistema estructural existente.

Adicionalmente, se identificaron zonas donde la rasante actual se encuentra cercana al nivel natural del terreno o incluso por debajo de éste, lo cual incrementa la exposición del suelo de fundación a condiciones de saturación, especialmente en periodos de lluvias o crecientes propias de la dinámica hidráulica de la región.

Bajo estas condiciones, la subrasante presenta una capacidad portante limitada, particularmente cuando se encuentra en estado saturado, lo que hace necesario considerar su comportamiento dentro de un sistema estructural compuesto, donde las capas de mejoramiento existentes juegan un papel fundamental en la respuesta mecánica del conjunto.

b) **Capa de Subrasante Mejorada.-** Teniendo en cuenta las condiciones geotécnicas del corredor y la presencia de materiales de mejoramiento existentes, el diseño de la estructura de pavimento considera el aporte estructural del sistema conformado por la subrasante natural y las capas de pedraplén y material granular tipo crudo, mediante la adopción de un CBR equivalente ajustado con el método de Ivanov.

No obstante, durante la etapa constructiva podrán identificarse sectores puntuales con presencia de suelos inadecuados, zonas blandas o fallas localizadas que no son completamente detectables en la fase de exploración. En estos casos, se deberá realizar la excavación del material comprometido y su reemplazo mediante la conformación de capas de mejoramiento con material granular grueso tipo piedra bola o crudo, con espesores mínimos del orden de 0,20 m, garantizando una adecuada compactación y estabilidad del soporte.

Dado que el proyecto se desarrolla en una zona de llanura aluvial con alta influencia de niveles freáticos y susceptibilidad a inundación, resulta fundamental complementar estas intervenciones con un adecuado manejo del drenaje, tanto superficial como subsuperficial, que permita controlar la infiltración de agua hacia la estructura del pavimento.

Asimismo, en caso de ser necesario se recomienda la conformación de un terraplén con materiales seleccionados que permitan mejorar las condiciones de elevación de la rasante,

reduciendo la influencia de las zonas inundables y favoreciendo la estabilidad global de la estructura. No obstante, la definición final de estas intervenciones deberá estar soportada por estudios hidráulicos específicos, los cuales permitan evaluar el comportamiento del flujo superficial y las condiciones de inundación del sector. En consecuencia, el diseño y dimensionamiento de dichas soluciones deberá ser desarrollado y aprobado por un ingeniero hidráulico, quien, en su calidad de especialista, definirá las alternativas más adecuadas conforme a las condiciones hidrológicas e hidráulicas del proyecto.

En este contexto, el enfoque adoptado en el diseño no se basa en soluciones de refuerzo tipo geosintéticos, sino en el aprovechamiento estructural de los materiales existentes y en la implementación de mejoramientos localizados, complementados con un adecuado sistema de drenaje, como estrategia más acorde con las condiciones del proyecto y la disponibilidad de materiales en la región.

c) **Sub-Base.-** La capa de subbase estará conformada por un material granular tipo afirmado, el cual deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Artículo 320 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS vigente, en cuanto a granulometría, plasticidad, desgaste y demás propiedades mecánicas exigidas para este tipo de materiales.

El material será colocado y compactado al 98% de la Máxima Densidad Seca del ensayo Proctor Modificado, conformando una capa con espesor mínimo de 0,20 m, de acuerdo con la estructura de pavimento definida en el diseño.

Como referencia, el material de subbase podrá ajustarse a las franjas granulométricas establecidas para subbase granular tipo SBG-1 o SBG-2, según la disponibilidad de materiales en la zona y lo definido por la entidad contratante, quien deberá establecer los criterios de aceptación y control de calidad de los materiales a emplear.

Tabla 30 – Franjas granulométricas para subbase granular (SBG-1 y SBG-2)

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	SBG-1	SBG-2
50.0 mm	2"	100	
37.5 mm	1 ½ "	70-95	100
25.0 mm	1"	60-90	75-95
12.5 mm	½"	45-75	55-85
9.5 mm	3/8"	40-70	45-75
4.75 mm	No.4	25-55	30-60
2.0 mm	No.10	15-40	20-45
425 µm	No.40	6-25	8-30
75 µm	No.200	2-15	2-15

Fuente: INVIAS – Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Artículo 320.

Debido a las condiciones actuales del terreno, caracterizadas por irregularidades en la superficie del terraplén existente y variabilidad en los niveles de la subrasante mejorada, se

deberá realizar una verificación geométrica detallada de las cotas de diseño a nivel de subrasante, conforme a lo establecido en el diseño geométrico del proyecto.

En función de esta verificación, y considerando que la subbase granular constituye la primera capa estructural del pavimento, será necesario ejecutar una capa de nivelación con material de subbase granular, con el fin de corregir las irregularidades existentes y garantizar una superficie uniforme.

Esta actividad permitirá:

- asegurar el cumplimiento de los espesores de diseño de la estructura de pavimento,
- mejorar las condiciones de apoyo de las capas superiores,
- y garantizar la adecuada conformación geométrica de la vía a lo largo de todo el tramo.

d) **Base.-** La capa de base estará conformada por un material granular seleccionado, el cual deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Artículo 330 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS vigente, en cuanto a calidad de los agregados, granulometría, resistencia y demás propiedades mecánicas exigidas para este tipo de capas estructurales.

El material deberá corresponder preferiblemente a un suelo tipo A-1-a (0), con un CBR mínimo del 80%, garantizando un adecuado comportamiento estructural. La capa será colocada en un espesor mínimo de 0,15 m y compactada al 100% de la Máxima Densidad Seca (MDS) del ensayo Proctor Modificado, conforme a lo establecido en la normativa vigente.

En cuanto a su gradación, el material deberá ajustarse a alguna de las franjas granulométricas definidas para bases granulares tipo BG-1 o BG-2, dependiendo de la disponibilidad de materiales en la zona y de las condiciones particulares del proyecto. La selección definitiva del material deberá ser aprobada por la interventoría, con base en los ensayos de laboratorio correspondientes.

Tabla 31 – Franjas granulométricas del material de base granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1	70-100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45
425 µm	No.40	10-30	10-30
75 µm	No.200	5-15	5-15

Fuente: INVIAS – Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Artículo 330.

Considerando que la base granular se apoya sobre una subbase previamente nivelada, se deberá garantizar que dicha superficie cumpla con las tolerancias geométricas requeridas. En caso de presentarse irregularidades residuales, estas deberán ser corregidas mediante ajustes en la capa de subbase granular, evitando compensaciones directas con la base.

Lo anterior tiene como objetivo:

- garantizar la uniformidad del espesor de la base granular,
- asegurar una adecuada distribución de esfuerzos,
- y evitar variaciones locales que puedan comprometer el desempeño estructural del pavimento.

e) **Carpeta Asfáltica en Mezcla Densa en Caliente tipo MDC-19-** La capa de rodadura estará conformada por una mezcla asfáltica en caliente tipo Mezcla Densa en Caliente MDC-19, la cual deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Artículo 450 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS vigente, en lo referente a calidad de materiales, diseño de mezcla, producción, transporte, colocación y compactación.

El espesor de la carpeta asfáltica adoptado en el diseño corresponde a 7,5 cm, valor definido a partir del dimensionamiento estructural mediante la metodología AASHTO y verificado a través del análisis mecanístico, garantizando un adecuado comportamiento frente a las solicitaciones de tránsito proyectadas.

La mezcla MDC-19 deberá cumplir con los parámetros de estabilidad, flujo, contenido de vacíos y contenido óptimo de ligante establecidos en la normativa vigente, asegurando su desempeño estructural y funcional como capa superior del pavimento.

Considerando que el proyecto se localiza en una zona de clima cálido, con temperaturas elevadas durante gran parte del año, se deberá garantizar que la mezcla asfáltica presente una adecuada resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento), así como estabilidad a altas temperaturas de servicio.

En concordancia con lo anterior, y en ausencia de ensayos específicos de módulo dinámico de la mezcla, en el diseño estructural se adoptó un coeficiente estructural conservador a_1=0.35 y un módulo elástico representativo de 22.000 kg/cm², valores coherentes con el comportamiento esperado de mezclas densas en caliente en condiciones de clima cálido, los cuales fueron utilizados en la modelación mecanística del pavimento.

La carpeta asfáltica cumple funciones fundamentales dentro de la estructura, tales como la distribución de cargas hacia las capas inferiores, la provisión de una superficie de rodadura segura y confortable, y la impermeabilización del sistema, reduciendo la infiltración de agua hacia las capas granulares y la subrasante, aspecto especialmente relevante dadas las condiciones hidrogeológicas del corredor.

Finalmente, la selección definitiva de la mezcla, incluyendo tipo de ligante, granulometría y contenido óptimo de asfalto, deberá ser validada mediante diseño de mezcla en laboratorio y aprobada por la interventoría, considerando la disponibilidad de materiales en la región y las condiciones particulares del proyecto.

8.23.9 Capas Del Pavimento

Los materiales para construcción de las capas del pavimento, deberán cumplir las especificaciones técnicas estipuladas en la entidad contratante pudiéndose tomar como referencia las normas INVIAS en especial los siguientes artículos:

Art. 300-13 Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, sub-bases granulares y bases granulares y estabilizadas.

Art. 230-13 Mejoramiento De La Subrasante

Art. 320-13. Norma para Sub-bases granulares.

Art. 400-13. Disposiciones Generales De Pavimentos Asfalticos

8.23.10 Fuentes De Materiales

El proyecto se localiza dentro del área rural del municipio de Tame. Los materiales a emplear deberán cumplir con los requisitos de las especificaciones INVIAS acorde con la experiencia local. Por la información conocida de la zona estos materiales se obtienen de canteras y plantas de trituración en el sector de Tame y Saravena, tal como se muestra en informe de Geología el cual hace parte de esta consultoría.

9. CONCLUSIONES

- El diseño de la estructura de pavimento para el tramo en estudio se desarrolló con base en la actualización de los estudios técnicos previos, integrando la información del estudio de tránsito, geotecnia y condiciones actuales del corredor, lo cual permitió establecer una solución estructural coherente con las solicitaciones reales del proyecto.

- A partir del estudio de tránsito actualizado, se determinó un tránsito de diseño equivalente a 909.956 ejes simples equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL) para el periodo de diseño considerado, valor que constituye la base para el dimensionamiento estructural del pavimento.

- Desde el punto de vista geotécnico, la subrasante está conformada predominantemente por suelos finos tipo CL y ML, con baja a moderada capacidad portante y alta susceptibilidad a la humedad. El análisis de laboratorio permitió establecer un valor representativo de CBR natural de la subrasante de aproximadamente 3,48%, evidenciando condiciones de soporte deficientes bajo estados de saturación.

- No obstante, considerando la presencia de capas de mejoramiento existentes conformadas por materiales tipo pedraplén y material granular crudo, se procedió a realizar el ajuste del CBR mediante el método de Ivanov, obteniéndose un valor equivalente de diseño de CBR = 8,36%, el cual refleja de manera más realista el comportamiento del sistema suelo–mejoramiento.

- Con base en los parámetros adoptados y mediante la aplicación del método AASHTO-93 para pavimentos flexibles, se determinó un Número Estructural requerido de SN = 2,66, el cual fue satisfecho mediante la siguiente estructura:

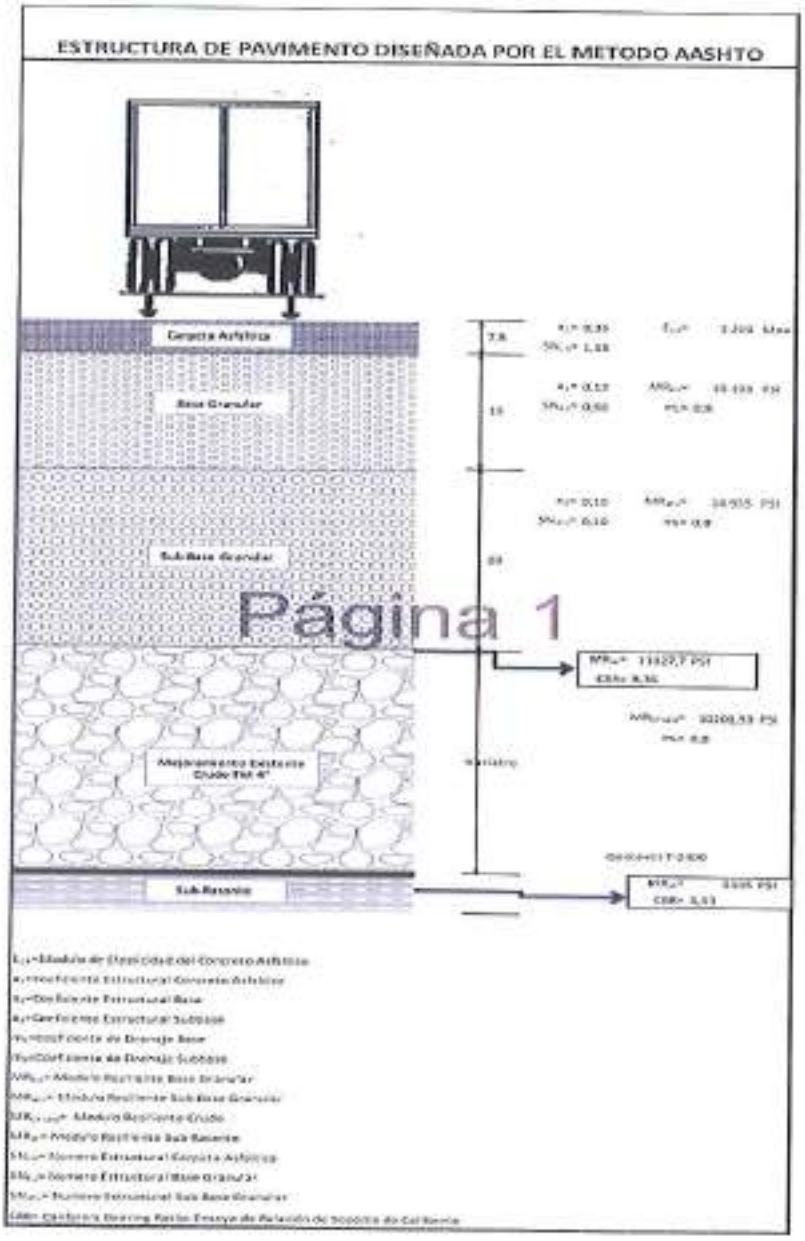
    - Carpeta asfáltica en mezcla densa en caliente MDC-19: 7,5 cm
    - Base granular: 15 cm
    - Subbase granular: 20 cm

- El análisis mecanístico realizado mediante el software WinDepav evidenció que la estructura propuesta presenta un comportamiento adecuado frente a las solicitaciones de tránsito, sin evidenciar falla por fatiga ni deformación permanente, con factores de daño significativamente inferiores a la unidad.

- En términos generales, la estructura diseñada presenta un adecuado nivel de confiabilidad y seguridad estructural, siendo consistente con las condiciones de tránsito, características geotécnicas del corredor y condiciones ambientales propias de la zona de estudio.

- Teniendo en cuenta la metodología tradicional usada en Colombia para el diseño de pavimentos flexibles se puede usar la siguiente estructura vial:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA	
ALTERNATIVA 1	
MDC-19	7,5CM
BASE GRANULAR	15CM
SUBBASE GRANULAR	20CM



10. RECOMENDACIONES

- Durante la etapa constructiva, se deberá realizar una verificación detallada de las condiciones reales de la subrasante, identificando zonas blandas o fallas localizadas que no hayan sido detectadas durante la fase de estudios, las cuales deberán ser tratadas mediante excavación y reemplazo con materiales granulares adecuados.

- Se recomienda ejecutar una nivelación rigurosa de la subrasante mejorada, utilizando material de subbase granular cuando sea necesario, con el fin de garantizar una superficie uniforme que permita el cumplimiento de los espesores de diseño de la estructura de pavimento.

- Dadas las condiciones del proyecto, especialmente su localización en una zona de llanura aluvial con susceptibilidad a inundación, se considera fundamental la implementación de un sistema de drenaje eficiente, tanto superficial como subsuperficial, que permita controlar la infiltración de agua y proteger la estructura del pavimento.

- Las soluciones relacionadas con el manejo hidráulico, incluyendo la elevación del terraplén y control de inundaciones, deberán ser definidas y aprobadas por un ingeniero hidráulico, quien deberá desarrollar los estudios correspondientes y establecer las medidas más adecuadas según las condiciones del proyecto.

- Se deberá garantizar un estricto control de calidad de los materiales, especialmente en las capas granulares (subbase y base) y en la mezcla asfáltica, verificando el cumplimiento de las especificaciones INVIAS en cuanto a granulometria, resistencia, compactación y propiedades mecánicas.

- Para la carpeta asfáltica tipo MDC-19, se recomienda validar en laboratorio el diseño de mezcla, asegurando su desempeño frente a condiciones de altas temperaturas, con énfasis en la resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento).

- Finalmente, se recomienda que durante la construcción se realice un adecuado control geométrico y de compactación, con el fin de asegurar la correcta conformación de las capas y el desempeño esperado de la estructura de pavimento a lo largo de su vida útil.

- Las conclusiones y recomendaciones establecidas en el presente Informe Técnico son sólo aplicables para el área en estudio.

11. BIBLIOGRAFÍA

- CAL Y MAYOR, R. CARDENAS, J. (2007). Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones Octava Edición México, México
- MONTEJO FONSECA, A. (2010). Ingeniería de Pavimentos Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño Tercera Edición. Bogotá, Colombia.
- PROYECTOS TIPO DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP (2020) Mejoramiento
- LONDOÑO NARANJO, Cipriano y ALVAREZ PABÓN, Jorge Alberto. Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito / Cipriano Alberto Londoño Naranjo; Jorge Alberto Alvarez Pabón; Instituto Colombiano de Productores de Cemento. – Medellín: ICPC; 2008. 114p.
- MONTEJO FONSECA, A. (2010). Ingeniería de Pavimentos Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño Tercera Edición. Bogotá, Colombia.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE-INVIAS, «MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA VIAS CON BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO,» BOGOTA, 2007.
- CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL, «NOCIONES SOBRE METODOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS VOL II,» UPTC, TUNJA, 2010.
- CAL Y MAYOR, R. CARDENAS, J. (2007). Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones Octava Edición México, México
- PROYECTOS TIPO DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP (2020) Mejoramiento de vías terciarias. Bogotá, Colombia.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington: AASHTO, 1986.1993. 1998. 2 vol.

12. ANEXOS

Anexo No.1 – Documentos Profesional

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo SERGIO ANDRÉS CLARO LÓPEZ, identificado con CC 5.488.552 de Ocaña, en calidad de Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Vial y Especialista en Gerencia de Proyectos con matrícula profesional No. 54202-105833 NTS certifico que realicé el **DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO** para el proyecto producto de la "**ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA**".

En consecuencia, asumo toda la responsabilidad referente al **DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO** y eximiendo al Departamento de Arauca, de cualquier responsabilidad, civil, penal o administrativa, por cualquier falla u omisión del presente DISEÑO.

Declaro así mismo, que asumo la responsabilidad por los perjuicios que por causa de ellas pueda deducirse, exonerando a Departamento de Arauca de cualquier responsabilidad

Acepto y reconozco que la revisión efectuada por el departamento no constituye una aprobación al estudio y/o diseño, sino una verificación del cumplimiento de las normas aplicables.

Se expide a los veinte (20) días del mes de marzo de 2026

Atentamente,

Nombre: SERGIO ANDRÉS CLARO LÓPEZ. Firma:

Profesión: Ingeniero Civil, C.C 5.488.552

Título de posgrado: Magister en Ingeniería Vial Matrícula Profesional No 54202-105833 NTS

REPÚBLICA DE COLOMBIA

OPNIA

Matrícula Profesional No.

54202-106833 NTS

a de Expedición: 22[illegible]2004

Nombre:
SERGIO ANDRES
CLARO LOPEZ
Identificación
C.C. 5468552
Profesión
INGENIERO CIVIL
Institución
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

VALIDO SOLO PARA EL PRACTICO ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TECNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA ESTRUCTURA VIAL EN LA VIA TAME - PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA





REPUBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACION PERSONAL
CEDULA DE CIUDADANIA

NUMERO 5.468.552
CLARO LOPEZ
APELLIDOS
SERGIO
NOMBRES
FIRMA

VALIDO SOLO PARA EL PROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VIA LA GLORIA – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE CESAR



FECHA DE NACIMIENTO 18-SEP-1980
OCAÑA
(NORTE DE SANTANDER)
LUGAR DE NACIMIENTO
1.70 O+ M
ESTATURA G.S. RH SEXO
23-SEP-1998 LA GLORIA
FECHA Y LUGAR DE EXPEDICION
REGISTRADOR NACIONAL
CARLOS ARIEL SANCHEZ TORRES

NUIP 1.065.834.208

A-2555430 00189720 M 0008 BOGOTA 20091023 00174155 1 A 0065105208

VALIDO SOLO PARA EL PROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VIA LA GLORIA – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE CESAR

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4427209

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que SERGIO ANDRES CLARO LOPEZ, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 5468552, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 54202-106833 desde el 22 de Abril de 2004, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 161.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veinticuatro (24) días del mes de Abril del año dos mil veintiseis (2026).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firma del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.