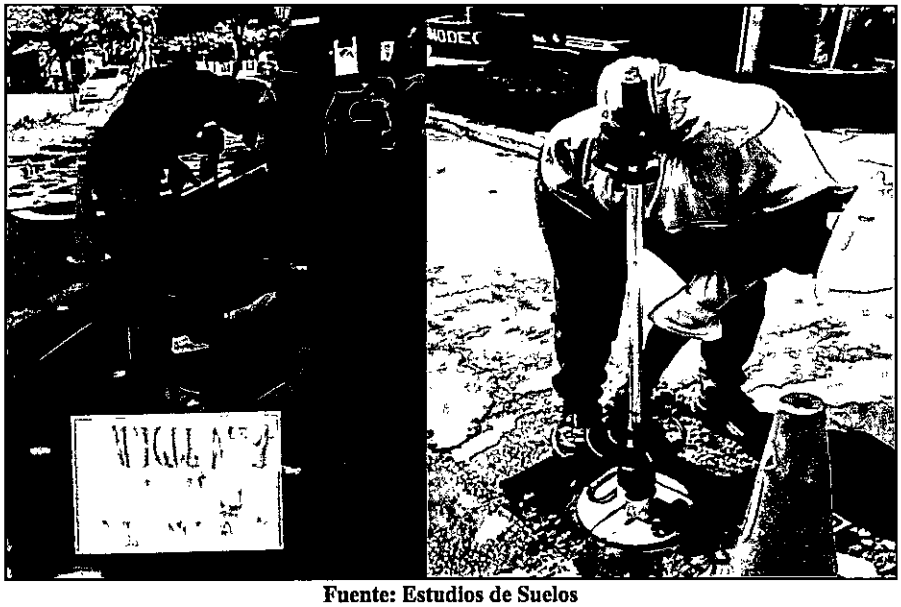
# 2. CRITERIOS DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.

# CRITERIOS DE DISEÑO Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS



**Fuente: Estudios de Suelos**

| | | |
|---|---|---|
| VERSION: 001<br>VERSION: 002 | Fecha: 13/08/2025<br>Fecha: 25/03/2026 | INFORME: CALCULO DE MEJORAMIENTO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE |

25 DE MARZO 2026

# ÍNDICE

INTRODUCCION ..... 3
ALCANCES DEL PROYECTO ..... 4
1. MARCO DE REFERENCIA LEGAL ..... 4
1.1 NORMAS GENERALES ..... 4
2. ANTECEDENTES ..... 5
2.1 MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL CON LWD. ..... 6
2.2 ESTADO ACTUAL DE LA VÍA. ..... 7
2.3 INVENTARIO DE DAÑOS ..... 9
2.4 PRUEBAS DE CAMPO ..... 9
2.5 ESPESORES DE CAPAS EXISTENTES ..... 11
3. EVALUACION DE ALTERNATIVAS ..... 11
3.1 TRANSITO ..... 13
3.2 DISEÑO ESTRUCTURAL ..... 14
PARAMETROS DE ENTRADA ..... 14
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO ..... 18
NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO ..... 21
4. CONCLUSIONES ..... 31
5. BIBLIOGRAFÍA ..... 33
6. ANEXOS ..... 34

# INTRODUCCION

El presente documento tiene como objetivo realizar la revisión, validación y análisis técnico de la información suministrada por la empresa IBARRA INGENIERÍA & LABORATORIO y CONSTRUCCIONES TOPOGRAFÍA Y SERVICIOS S.A.S., correspondiente a las mediciones efectuadas mediante deflectometría con equipo LWD y los resultados de los apiques ejecutados sobre la Calle 7 del municipio de Villanueva, departamento de Casanare.

A partir de esta información, se busca establecer un diagnóstico integral del comportamiento estructural del pavimento, que permita correlacionar las condiciones actuales de la estructura con los resultados obtenidos en el inventario de daños y el índice de falla previamente determinado. Este análisis constituye la base para definir técnicamente las alternativas de intervención requeridas para recuperar y garantizar la serviciabilidad del corredor vial.

En este contexto, el estudio contempla la evaluación de dos escenarios de intervención claramente diferenciados. El primero corresponde a una alternativa de rehabilitación menor a corto plazo, con un horizonte de servicio aproximado de dos (2) años, orientada a la recuperación funcional de la vía mediante intervenciones localizadas y tratamientos superficiales que permitan mejorar las condiciones de rodadura y confort de los usuarios. El segundo escenario considera una alternativa de refuerzo estructural, con un horizonte de diseño del orden de diez (10) años, la cual implica la evaluación de la capacidad estructural del paquete de pavimento existente y la definición de soluciones que garanticen su desempeño frente a las solicitaciones del tránsito proyectado.

De esta manera, el presente documento permite no solo validar la información técnica existente, sino también estructurar alternativas de intervención viables desde el punto de vista técnico y funcional, facilitando la toma de decisiones en función del nivel de inversión y el periodo de servicio requerido para la vía en estudio.

# ALCANCES DEL PROYECTO

El presente proyecto se desarrolla a partir de la información técnica previamente disponible, correspondiente al inventario de daños, levantamiento de campo y delimitación de los tramos viales objeto de intervención sobre la Calle 7 del municipio de Villanueva – Casanare. En este contexto, el alcance contempla la evaluación estructural del pavimento existente mediante la medición de deflexiones utilizando el deflectómetro de impacto liviano (LWD), con el fin de estimar la capacidad de soporte del sistema de capas que conforman la estructura vial.

A partir de los resultados obtenidos en campo, se realiza el análisis e interpretación de los parámetros derivados de la deflectometría, los cuales permiten establecer la condición estructural actual del pavimento y su capacidad para responder a las solicitaciones del tránsito proyectado. Esta información se integra con el diagnóstico funcional previamente desarrollado, con el propósito de definir de manera técnica las necesidades de intervención en cada uno de los tramos evaluados.

El alcance incluye la formulación de alternativas de intervención orientadas a la recuperación de la serviciabilidad de la vía, considerando tanto soluciones de corto plazo asociadas a rehabilitación menor, como alternativas de mayor alcance relacionadas con refuerzos estructurales. Estas propuestas se plantean en función del comportamiento estructural identificado, las condiciones de deterioro existentes y los requerimientos de servicio definidos para el corredor vial.

En consecuencia, el estudio no solo permite caracterizar el estado actual del pavimento desde el punto de vista estructural, sino también establecer criterios técnicos para la toma de decisiones respecto a las intervenciones requeridas, garantizando que estas sean coherentes con las condiciones reales de la vía y las exigencias del tránsito futuro.

# 1. MARCO DE REFERENCIA LEGAL

## 1.1 NORMAS GENERALES

El diseño de la estructura de pavimento del proyecto en mención se realizará de acuerdo con la normativa vigente de ámbito nacional, en particular con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2022), las cuales establecen los lineamientos técnicos para la

ejecución de actividades de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos, así como los requisitos de calidad de materiales, procedimientos constructivos y controles de obra.

De igual manera, se tendrán en cuenta las Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras del INVIAS (2022), que definen los métodos para la caracterización y verificación de los materiales empleados en las diferentes capas del pavimento, garantizando el cumplimiento de los parámetros técnicos exigidos durante la etapa de construcción y control de calidad.

Para el diseño estructural del pavimento se emplearán los criterios, parámetros y procedimientos establecidos en la metodología AASHTO 93, ampliamente utilizada a nivel nacional e internacional, la cual permite determinar el número estructural requerido en función de las condiciones de tránsito, confiabilidad, variabilidad y capacidad de soporte de la subrasante, constituyéndose en una herramienta fundamental para el dimensionamiento de estructuras de pavimentos flexibles.

Complementariamente, para la evaluación de la condición funcional del pavimento y la definición de las intervenciones requeridas, se considerarán los lineamientos de la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos del Ministerio de Transporte (2002), así como la metodología del Banco Mundial para la determinación del Índice de Falla (IF), la cual permite clasificar el estado del pavimento a partir de la severidad y extensión de los deterioros, estableciendo criterios técnicos para la priorización de actividades de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

Adicionalmente, se tendrán en cuenta criterios de evaluación basados en el Índice de Condición del Pavimento (PCI), utilizado como herramienta complementaria para el diagnóstico del estado superficial, permitiendo establecer una correlación entre el nivel de deterioro y las alternativas de intervención definidas en el marco de las políticas de conservación vial.

En conjunto, la aplicación de este marco normativo garantiza que las soluciones planteadas en el presente estudio cumplan con los estándares técnicos exigidos a nivel nacional e internacional, asegurando la durabilidad, funcionalidad y adecuado desempeño del pavimento durante su vida útil.

# 2. ANTECEDENTES

A continuación, se hace un recuento de la información previa requerida para el análisis estructural del tramo vial objeto del presente informe.

# 2.1 MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL CON LWD.

La evaluación de la condición estructural actual del pavimento en la Calle 7 del municipio de Villanueva se fundamenta en mediciones directas realizadas en campo mediante el uso del deflectómetro de impacto liviano (LWD). Este equipo permite estimar in situ la rigidez de las capas que conforman la estructura del pavimento, a partir de la determinación del módulo de deformación dinámica (Ev) del material bajo la placa de carga.

El parámetro Ev obtenido a partir de los ensayos representa la capacidad de respuesta del sistema estructural frente a cargas dinámicas, constituyéndose en un indicador clave para la valoración de la capacidad de soporte del pavimento existente y su comportamiento ante las solicitaciones del tránsito. En este sentido, los resultados derivados de las mediciones con LWD sirven como base para el análisis técnico de la condición estructural del tramo evaluado.



Fuente: Google Earth pro

Adicionalmente, los valores de rigidez obtenidos pueden ser correlacionados con parámetros de diseño estructural, tales como el módulo resiliente (Mr) y el Número Estructural (SN) definido en la

metodología AASHTO 93, permitiendo estimar la capacidad estructural efectiva del pavimento existente. Esta relación facilita la comparación entre la estructura actual y la estructura requerida para las condiciones de tránsito proyectado, constituyéndose en un insumo fundamental para la definición de alternativas de intervención, ya sea mediante rehabilitación o refuerzo estructural.

Con el ensayo de LWD se busca Medir in situ la rigidez o capacidad de soporte de una capa de suelo, granular o pavimento, a través del módulo de deformación dinámica (Ev).

Del trabajo de campo realizado el 18 de julio de 2025 se obtienen los siguientes resultados:

*Tabla 01. Resumen resultado de ensayo LWD*

| No. | UBICACIÓN / ABSCISA | N°CAPA | COSTADO | ESPESOR DE LA CAPA (mm) | P/PA | FUERZA DE IMPACTO (KN) | PRESION (Mpa) | DEFLEXION PROMEDIO mm (s) | Evd MODULO DEFORMACION DINAMICA (Mn/mt2) | MODULO DE CAMPO Mpa ($E^1$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CALLE 7 N°3-44 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,242 | 93,0 | 144,0 |
| 2 | CALLE 7 N°4-18 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,272 | 82,7 | 128,1 |
| 3 | CALLE 7 ESTACION BOMBEROS | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,246 | 91,5 | 141,7 |
| 4 | CALLE 7 N°6-50 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,214 | 105,1 | 162,9 |
| 5 | CALLE 7 N°7-34 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,248 | 90,7 | 140,5 |
| 6 | CALLE 7 N°9-40 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,243 | 92,6 | 143,4 |
| 7 | CALLE 7 N°10-52 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,240 | 93,8 | 145,2 |
| 8 | CALLE 7 N°9-58 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,253 | 88,9 | 137,8 |
| 9 | CALLE 7 N°11-60 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,322 | 69,9 | 108,2 |
| 10 | CALLE 7 N°12-66 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,350 | 64,3 | 99,6 |
| 11 | CALLE 7 N°13-48 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,355 | 63,4 | 98,2 |
| 12 | CALLE 7 N°13-37 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,350 | 64,3 | 99,6 |
| 13 | CALLE 7 N°PLAZA DE MERCADO | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,239 | 94,1 | 145,8 |
| 14 | CALLE 7 N°11-55 | UNICA | DER | -- | 0,98 | 7,0 | 0,10 | 0,305 | 73,8 | 114,3 |

Fuente: IBARRA INGENIERIA & LABORATORIOS SAS

Las lecturas se realizaron del punto 1 a 11 en la calzada derecha y del 12 al 14 en la calzada izquierda, de estas lecturas se obtiene que se tiene un módulo promedio de 129,2 MPa.

## 2.2 ESTADO ACTUAL DE LA VÍA.

En el marco de la evaluación del estado de la infraestructura vial urbana del municipio de Villanueva – Casanare, se identificó la necesidad de realizar un diagnóstico detallado sobre la condición funcional del pavimento de la Calle 7, la cual constituye un corredor vial de importancia para la movilidad local.

A partir de la inspección visual realizada en campo, se evidenció que la vía presenta un deterioro progresivo de su superficie de rodadura, caracterizado principalmente por la presencia de intervenciones previas asociadas a obras de redes de servicios públicos domiciliarios. Estas intervenciones han dado lugar a un bacheo generalizado y heterogéneo, ejecutado sin criterios técnicos uniformes, lo cual ha generado discontinuidades en la superficie del pavimento y pérdida de la regularidad longitudinal y transversal de la vía.

En las imágenes analizadas se observa claramente la existencia de múltiples zonas intervenidas mediante parches asfálticos y de concreto, con diferencias notorias en textura, nivel y adherencia respecto a la estructura original. En varios sectores, dichos bacheos presentan deterioro prematuro, evidenciado en fisuración periférica, desprendimiento de material y pérdida de confinamiento, lo que indica una deficiente ejecución o ausencia de un adecuado proceso de reposición estructural de las capas afectadas.

Adicionalmente, se identifican patologías como fisuración tipo piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales, así como zonas con desgaste superficial y pérdida de agregado, las cuales se concentran especialmente en áreas previamente intervenidas. Este comportamiento es consistente con procesos de fatiga estructural localizados y con la alteración de las condiciones originales de soporte del pavimento producto de excavaciones para instalación o mantenimiento de redes.

Se evidencia igualmente que las intervenciones no han sido objeto de una adecuada articulación técnica ni de control posterior, generando una superficie de rodadura discontinua que afecta la comodidad, seguridad y operación de los usuarios. La presencia de rejillas, tapas de inspección y empates deficientes entre materiales también contribuye a la generación de irregularidades y concentraciones de esfuerzos en la estructura del pavimento.

En este contexto, el estado actual de la vía refleja una condición típica de deterioro inducido por intervenciones antrópicas no controladas, en la cual el bacheo deja de ser una solución de mantenimiento localizada y pasa a constituirse en un problema generalizado que compromete la serviciabilidad del corredor vial.

Lo anterior justifica la necesidad de realizar un inventario de daños detallado y la aplicación de metodologías de evaluación funcional, con el fin de cuantificar el nivel de deterioro existente y definir técnicamente las intervenciones requeridas para recuperar la condición de servicio de la vía, bajo criterios de uniformidad, durabilidad y cumplimiento normativo.

## 2.3 INVENTARIO DE DAÑOS

Con base en el inventario de daños y en los resultados obtenidos del Índice de Falla (IF) para los diferentes tramos evaluados de la Calle 7, se evidenció un comportamiento heterogéneo de la vía, con valores que oscilan entre 5 y 41, lo cual indica la coexistencia de sectores en buen estado funcional que requieren mantenimiento, así como tramos con deterioro moderado y severo que demandan intervenciones de rehabilitación y reconstrucción. Esta condición se encuentra directamente asociada a la presencia de fallas de tipo estructural, como fisuración tipo piel de cocodrilo, y fallas funcionales, como pérdida de agregado y fisuración superficial, muchas de ellas relacionadas con intervenciones previas de redes de servicios públicos.

En este contexto, y considerando la necesidad de recuperar de manera inmediata la serviciabilidad del corredor vial, se concluye que es técnicamente viable plantear una intervención a corto plazo basada en la ejecución de reparcheo localizado en puntos críticos, orientado a corregir las afectaciones de tipo estructural más severas, especialmente en los tramos donde el IF es superior a 30. Complementariamente, para atender las deficiencias de tipo funcional presentes a lo largo del corredor, se recomienda la aplicación de una capa de micropavimento o lechada asfáltica, la cual permitirá mejorar la regularidad superficial, restituir la impermeabilidad y optimizar las condiciones de rodadura de la vía.

No obstante, dado que estas intervenciones corresponden a soluciones de carácter principalmente funcional y de alcance limitado en términos estructurales, se establece que, para garantizar un desempeño adecuado en horizontes de servicio superiores a dos (2) años, es necesario realizar una evaluación complementaria que incluya el análisis del tránsito proyectado y la capacidad estructural del paquete de capas existente. Lo anterior permitirá definir con mayor precisión si la estructura actual es suficiente para soportar las solicitaciones futuras o si se requiere la implementación de soluciones de rehabilitación estructural o reconstrucción parcial o total, asegurando así la sostenibilidad técnica y económica de la intervención.

## 2.4 PRUEBAS DE CAMPO

Se realizaron apiques para determinar los espesores reales del paquete estructural que conforma el pavimento, de la misma forma, para conocer características de los materiales que componen la estructura de pavimento, de estos ensayos se obtuvo la siguiente información:

Espesores de capa en el tramo vial

| APIQUE | N° MUESTRA | LIMITE LIQUIDO | LIMITE LIQUIDO | IP | HUMEDAD NATURAL | CBR | USC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 3.6 | 36.9 | GM |
| | 2 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 11.3 | 2.8 | SM |
| 2 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 4.3 | 76.1 | SP |
| | 2 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 4.5 | 30.3 | GP |
| | 3 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 10.9 | 2.01 | SM |
| 3 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 15.8 | 4.8 | GM |
| | 2 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 12.1 | 3.62 | SM |
| 4 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 12.2 | 4.9 | GM |
| | 2 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 12.6 | 3.62 | SM |
| 5 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 70.6 | 2,9 | GW-GM |
| | 2 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 3.5 | 30.3 | GP |
| | 3 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 8.7 | 3.2 | GM |

Fuente: CONSTRUCCIONES, TOPOGRAFIA Y SERVICIOS S.A.S

Con el propósito de verificar las condiciones reales del paquete estructural del pavimento, se realizaron apiques a lo largo del tramo vial, permitiendo identificar tanto los espesores de las capas como las características físicas y mecánicas de los materiales que conforman la estructura. A partir de los ensayos de laboratorio efectuados sobre las muestras obtenidas, se determinó que los materiales presentan, en general, bajos índices de plasticidad (IP = 0%), lo que indica un comportamiento predominantemente granular. En cuanto a la clasificación SUCS, se evidencia la presencia de materiales tipo GM, SM, SP y GP, correspondientes a gravas y arenas con diferentes gradaciones.

Los valores de humedad natural presentan variabilidad, con registros entre aproximadamente 3,5% y 70,6%, lo cual puede estar asociado a condiciones locales de drenaje y exposición de los materiales. Por su parte, los resultados de CBR muestran una dispersión importante, con valores que oscilan entre aproximadamente 2% y 76%; sin embargo, esta variabilidad no obedece necesariamente a una condición deficiente del suelo, sino a la presencia de diferentes capas dentro del paquete estructural del pavimento, donde se identifican materiales granulares de mejor calidad (altos CBR) correspondientes a capas de base o subbase, y materiales de menor capacidad de soporte asociados a niveles inferiores o subrasante.

En este sentido, los resultados obtenidos reflejan una estructura estratificada, con capas que cumplen funciones diferenciadas dentro del sistema de pavimento, lo

cual debe ser considerado en el análisis estructural y en la definición de las alternativas de intervención.

## 2.5 ESPESORES DE CAPAS EXISTENTES

Según lo evidenciado en los perfiles derivados de los apiques realizados los espesores en el tramo en análisis son los siguientes:

Espesores de capa en el tramo vial

| Tramo | Espesores de estructura | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Capa Asfáltica (cm) | Material Granular 1 (cm) | Material Granular 2 (cm) | Espesor total (cm) |
| Apique 1 | 6 | - | 58 | 64 |
| Apique 2 | 4 | 15 | 20 | 39 |
| Apique 3 | 5 | - | 37 | 42 |
| Apique 4 | 5 | - | 37 | 42 |
| Apique 5 | 5 | 30 | 50 | 85 |

Fuente: CONSTRUCCIONES, TOPOGRAFIA Y SERVICIOS S.A.S

# 3. EVALUACION DE ALTERNATIVAS

De manera complementaria al inventario de daños y al cálculo del Índice de Falla, se realizó la revisión de la matriz de selección de tratamientos del Manual de Rehabilitación de Pavimentos del INVIAS. Esta matriz permite relacionar el tipo de deterioro identificado en campo con las posibles alternativas de intervención, clasificadas en restauración, refuerzo, reciclado, reconstrucción y tratamientos previos.

Para el caso de la Calle 7, los deterioros predominantes corresponden principalmente a fisuración longitudinal, transversal, fisuración tipo piel de cocodrilo, pérdida de agregados, desprendimientos superficiales, parches existentes y afectaciones asociadas a intervenciones de redes de servicios públicos. De acuerdo con la matriz, estos deterioros admiten tratamientos diferenciados según su severidad, extensión y origen.

En los sectores donde predominan fallas funcionales, como pérdida de agregados, pulimento superficial, fisuras aisladas y deterioros leves de la capa de rodadura, la matriz permite considerar tratamientos de conservación tales como sellado de fisuras, riego negro, lechada asfáltica, micropavimento o tratamientos superficiales, los cuales se orientan a recuperar la impermeabilidad, mejorar la textura y retardar el avance del deterioro. Estos tratamientos son compatibles con una alternativa de

intervención de corto plazo, siempre que previamente se atiendan los daños localizados de mayor severidad.

Deterioros típicos de los pavimentos asfalticos y posibles técnicas de rehabilitación

| CATEGORÍA DEL DETERIORO | TIPO DE DETERIORO | R1 RESTAURACIÓN | | | | | | | R2 REFUERZO | | R3 RECICLADO | | | R4 RECONSTRUCCIÓN | | TRATAMIENTOS PREVIOS | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TRATAMIENTO SUPERFICIAL | RIEGO EN NEGRO | LECHADA ASFÁLTICA | MICROAGLOMERADO (EN FRÍO O CALIENTE) | SELLO ARENA-ASFALTO | MEZCLA DRENANTE | SOBRECAPA DELGADA | SOBRECAPA ESTRUCTURAL | FRESADO Y SOBRECAPA | RECICLADO SUPERFICIAL EN CALIENTE | RECICLADO EN FRÍO EN EL SITIO | RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE | REMOCIÓN Y REEMPLAZO DE CAPAS | WHITETOPPING | PARCHEO | BACHEO | MEJORAMIENTO DEL DRENAJE | GEOTEXTILES* | GEOMALLAS* | SAMI | SELLO DE GRIETAS | RUTEO Y SELLO | MICROFRESADO | FRESADO | RELLENO DE ZONAS AHUELLADAS | CAPA DE NIVELACIÓN |
| FISURAS | Longitudinal | x | | o | o | o | x | | • | o | x | x | x | x | x | x | x | x | • | • | x | | x | | | | |
| | Piel cocodrilo | | | | | | x | | • | x | x | • | • | • | • | | • | o | o | • | x | o | | | | | |
| | Transversal | x | | o | o | | | | • | • | • | o | • | o | o | o | o | | • | • | x | o | | o | | | |
| | Reflexión | x | | o | o | | | | • | • | • | o | • | o | o | o | o | | • | • | x | o | | o | | | |
| | Bloque | x | | o | o | | | | o | • | • | o | • | o | o | | | | • | • | • | o | | o | | | |
| | Borde | o | | o | o | | | | o | • | o | o | • | | | | • | o | o | o | | o | | | | | |
| DEFORMACIÓN | Ahuellamiento | | | | x | | | | • | • | • | o | • | • | • | • | • | o | | | | o | | o | • | • | • |
| | Ondulaciones | | | | | | | • | o | • | o | o | • | o | o | • | • | | | | | | | • | • | | o |
| | Levantamientos | | | | | | | o | • | • | o | • | • | • | • | • | • | | | | | | | • | • | | • |
| | Depresiones | | | | | | | o | o | o | | o | • | • | • | o | • | o | | | | | | | • | o | • |
| | Resaltos en sobrecapas | | | | o | • | | | o | | | o | o | o | o | o | • | | • | | o | | o | • | • | | |
| DESPRENDIMIENTOS | Descascaramiento | | | | | | | | • | | | o | • | o | o | | • | | | o | | | | | | | |
| | Ojos pescado | | | | | | | | • | o | | o | • | o | o | o | • | | o | • | | | | | | | |
| | Pérdida de agregados | • | o | • | • | o | • | • | o | • | • | o | • | o | o | • | • | o | • | • | | | | o | • | | |
| | Pérdida de ligante | | | | | | | | • | | | | • | o | o | | • | | o | o | | | | | | | |
| | Pulimento de agregados | • | | • | • | o | • | o | o | • | • | | o | o | o | • | • | | | | | | | • | • | | |
| | Bombeo | | | | | | | | o | | | | • | • | • | | • | | o | o | | | | | | | |
| OTROS | Segregación | | | | | | | o | o | o | o | • | • | o | o | o | • | | o | o | | | | | | | |
| | Cuarteado | | | | | | | • | o | o | • | o | • | o | o | • | • | | | | | | | • | • | | |
| | Exudación | | | o | o | | • | | o | o | o | o | • | o | o | o | • | | | o | | | | o | • | | |

• Tratamiento más adecuado  o Tratamiento marginal  * Requiere sobrecapa y otro tratamiento superficial apropiado
x Se requieren técnicas o productos especiales  **Ocasionalmente se puede requerir una capa de nivelación

Fuente: Guía Metodológica para el Diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras

Para los tramos donde se identifican fallas de mayor compromiso, como fisuración tipo piel de cocodrilo, baches, desprendimientos severos o zonas con reparcheos deteriorados, la matriz indica la necesidad de ejecutar tratamientos previos, tales como parcheo, bacheo, reparación localizada y sello de grietas, antes de aplicar una solución superficial continua. En este sentido, para el escenario de dos (2) años, resulta técnicamente procedente plantear una intervención combinada: primero, corrección puntual de zonas críticas mediante reparcheo o bacheo, y posteriormente la aplicación de una capa de micropavimento o lechada asfáltica a lo largo del tramo para recuperar la serviciabilidad funcional.

Por su parte, cuando los deterioros presentan carácter estructural, alta severidad o extensión significativa, especialmente en presencia de piel de cocodrilo, deformaciones, hundimientos o pérdida de soporte, la matriz orienta hacia alternativas de mayor alcance como refuerzo, reciclado o reconstrucción. Estas soluciones no deben definirse únicamente con base en la inspección visual, sino que requieren ser validadas mediante el análisis del tránsito proyectado, la

capacidad estructural medida mediante deflectometría y la caracterización de los materiales existentes.

En consecuencia, la evaluación de la matriz INVIAS confirma que la alternativa de corto plazo puede enfocarse en rehabilitación menor y conservación funcional, mediante reparcheos puntuales y tratamiento superficial continuo. No obstante, para un horizonte de vida útil de diez (10) años, la presencia de deterioros estructurales y tramos con Índice de Falla asociado a rehabilitación mayor o reconstrucción exige desarrollar una revisión estructural detallada que permita definir si la solución más adecuada corresponde a un refuerzo asfáltico, reciclado, reconstrucción parcial o reconstrucción total del paquete de pavimento.

## 3.1 TRANSITO

Los estudios de tránsito se desarrollan con el propósito de cuantificar y caracterizar el flujo vehicular en un punto específico del sistema vial, constituyéndose en un insumo fundamental para la definición de las solicitaciones a las que estará sometida la estructura de pavimento durante su vida útil. Para la presente evaluación, el estudio de tránsito determinó una proyección de tránsito acumulado para un periodo de diseño de diez (10) años, la cual sirve como base para el análisis estructural del corredor vial.

**Proyección del tránsito acumulado a 10 años**

| PROYECCION DEL TRANSITO ACUMULADO A 10 AÑOS | | |
|---|---|---|
| TPD | 9449 | Transito Promedio Diario |
| A | 6,50 | Porcentaje estimado de vehiculos pesados (buses y camiones) |
| B | 50 | Porcentaje de vehiculos pesados que emplean el carril de diseño |
| r | 4,5 | Rata Anual de crecimiento del tránsito |
| F | 2,20 | Factor Camion Prom. Mopt Ingeroute (Prom. C2, C3, C4 y C5 ). |
| n | 10 | Período de diseño |
| N | 3.097.894 | Ejes equivalentes en el carril de diseño |
| N | 3,1E+06 | Ejes equivalentes en el carril de diseño |

No obstante, considerando que dentro del presente estudio se plantea inicialmente una alternativa de intervención de corto plazo orientada a rehabilitación menor, se hace necesario ajustar esta proyección a un horizonte de servicio menor, del orden de dos (2) años, manteniendo como referencia el Tránsito Promedio Diario (TPD) obtenido en el estudio. Este parámetro permite realizar la proyección del tránsito acumulado para diferentes periodos de diseño, mediante la aplicación de los factores de crecimiento y condiciones de operación definidas,

adaptando así el análisis a las necesidades específicas de cada alternativa de intervención.

En este sentido, a partir del tránsito proyectado a diez (10) años, se procederá a estimar el tránsito acumulado equivalente para un periodo de dos (2) años, correspondiente a la alternativa de rehabilitación menor, así como para el horizonte de diseño mayor asociado a una solución de refuerzo estructural. Este enfoque permite definir soluciones diferenciadas en función del nivel de intervención requerido, garantizando que cada alternativa responda de manera adecuada a las solicitaciones reales del tránsito durante su periodo de servicio.

**Proyección del tránsito acumulado a 2 años**

| PROYECCION DEL TRANSITO ACUMULADO A 2 AÑOS | | |
|---|---|---|
| TPD | 9449 | Transito Promedio Diario inicial |
| A | 6,5% | Porcentaje estimado de vehiculos pesados (buses y camiones) |
| B | 50,00% | Porcentaje de vehiculos pesados que emplean el carril de diseño |
| r | 4,50% | Rata Anual de crecimiento del tránsito |
| F.C. | 2,20 | Factor camión |
| n | 2 | Período de diseño |
| N | 515.551 | Ejes equivalentes en el carril de diseño |
| N | 5,2E+05 | Ejes equivalentes en el carril de diseño |

## 3.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el diseño de la estructura de Pavimento se empleó el método AASHTO y los datos aportados por el estudio de suelos y estudio de tránsito, para definir los espesores de capas que garanticen el confort y seguridad a los usuarios y el comportamiento ante las cargas de uso, garantizando el correcto funcionamiento de la estructura de pavimento, según las necesidades del proyecto, se presenta tres alternativas en pavimento flexible para cada uno de los periodos de diseño.

Este método AASHTO´93 se clasifica dentro de los procedimientos de diseño basados en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de resultados de tramos de prueba.

### PARAMETROS DE ENTRADA

- **Confiabilidad**

Se refiere al grado de certidumbre de que un diseño dado pueda llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones. Un nivel de confianza alto implica un pavimento más costoso y por lo tanto mayores costos iníciales, pero también pasara más tiempo hasta que ese pavimento necesite una reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores. Por el contrario, un nivel de confiabilidad bajo da pavimentos más económicos, pero con un mayor costo de mantenimiento. En base a lo dicho, hay un nivel de confiabilidad óptimo es el cual la suma de los costos iníciales y de mantenimiento dan un mínimo. Los niveles de confiabilidad recomendados por el método son:

Niveles de confiabilidad aconsejados

| Tipo de camino | Confiabilidad recomendada | |
|---|---|---|
| | Zona urbana | Zona rural |
| Rutas interestatales y autopistas | 85-99.9 | 80-99.9 |
| Arterias principales | 80-99 | 75-99 |
| Colectoras | 80-95 | 75-95 |
| Locales | 50-80 | 50-80 |

Fuente: Método AASHTO 93

Para el presente estudio se trabaja con una confiabilidad del 90%, esto debido a que la vía prestara servicios de colectora y/o arteria principal. La confiabilidad se expresa en la fórmula de diseño del método AASHTO, mediante la desviación estándar (Zr).

- **Serviciabilidad**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente P.S.I. (present serviciability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, Po es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal, Pu es función de la categoría del camino y se adopta en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son:

Serviciabilidad inicial

Para pavimento de Concreto = 4.5
**Para pavimento de Asfalto = 4.2**

Serviciabilidad final

Para Autopistas = 2.5
**Para Carreteras = 2.0**

Para el presente proyecto se cuenta con una diferencia de PSI de 2,2.

- **Caracterización de la sub-rasante**

La sub-rasante es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, se dispone de la información aportada en el estudio de reflectometría y por los valores de CBR determinados en los apiques, la deflectometría se utilizara para determinar las condiciones usando las capas existentes y los CBR de los apiques para la estructura nueva para 10 años de vida útil.

Datos a partir de la lectura del LWD

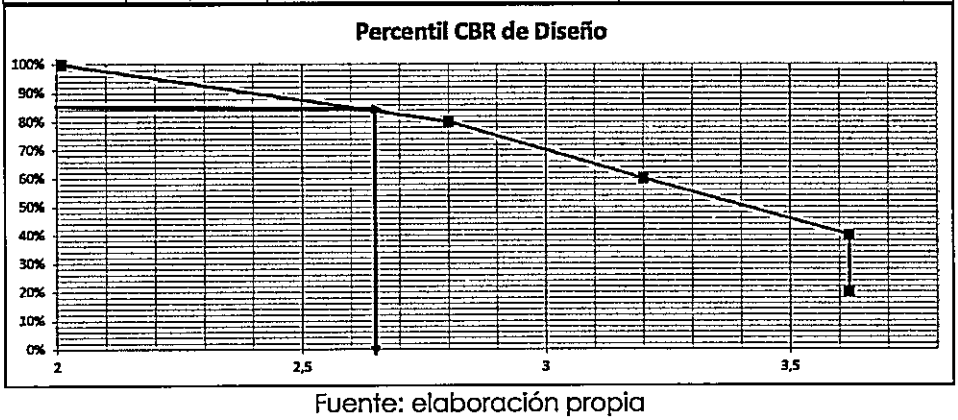
| SECTOR | Módulo de deformación dinámica promedio (Mpa) | Mr (Mpa) | Mr (PSI) | Coeficiente estructural (ai) | CBR | Módulo Elástico (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 137,93 | 179,309 | 25999,805 | 0,163 | 13,79 | 94,38 |
| 2 | 151,7 | 197,21 | 28595,45 | 0,173 | 15,17 | 100,31 |
| 3 | 133,65 | 173,745 | 25193,025 | 0,160 | 13,37 | 92,50 |
| 4 | 98,9 | 128,57 | 18642,65 | 0,130 | 9,89 | 76,28 |
| 5 | 119,9 | 155,87 | 22601,15 | 0,149 | 11,99 | 86,29 |

Fuente: elaboración propia

Con base en los datos de los apiques establecemos el CBR de diseño para la estructura de pavimento nueva, es decir sin usar las capas existentes y para el período de vida útil de 10 años en condiciones críticas.

Percentil de diseño

| Orden | CBR | # valores iguales o mayores | % valores iguales o mayores |
|---|---|---|---|
| 1 | 2,01 | 5 | 100% |
| 2 | 2,8 | 4 | 80% |
| 3 | 3,2 | 3 | 60% |
| 4 | 3,62 | 2 | 40% |
| 5 | 3,62 | 1 | 20% |




Fuente: elaboración propia

Se obtiene para un percentil del 85% un CBR de diseño de 2,65%, al ser un CBR menor de 3% se recomienda realizar un. Mejoramiento de rasante, por esta razón se realiza el cálculo mediante la fórmula de Ivanov.

CBR equivalente

| FORMULA IVANOV | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CBR | | E Inf | E Sup. | n | n^3.5 | h1 (cm) |
| SUBRASANTE | GRANULAR | kg/cm2 | | | | |
| 2,65 | 15 | 261 | 899 | 1,64 | 5,65 | 20 |
| h1/2a | tan-1(n*h1/2a) (rad) | 1-(1/n^3,5) | 2/pi | 2/pi*i*j | E equiv. (kg/cm2) | CBR |
| 0,66 | 0,82 | 0,82 | 0,64 | 0,43 | 459 | 5,85 |
| SISTEMA EQUIVALENTE | | | | | | |
| CBR EQUIVALENTE= | 5,85 | % | | | | |

Fuente: elaboración propia

Con el uso de una capa de mejoramiento tipo afirmado de 20 cm se tiene un CBR equivalente de 5,85%, para trabajar las condiciones de construcciones nuevas. A partir de los CBR inalterados calculamos el CBR de diseño en condiciones actuales y sin saturación para calcular el número estructural requerido para la propuesta de mantenimiento.

CBR para la propuesta de mantenimiento en condiciones normales de uso

| APIQUE | CBR | CBR PROMEDIO (%) | MODULO (PSI) |
|---|---|---|---|
| 1 | 6,25 | 5,8 | 8700,0 |
| 2 | 4,06 | | |
| 3 | 6,27 | | |
| 4 | 6,27 | | |
| 5 | 6,27 | | |

Fuente: elaboración propia

- **Coeficiente de Drenaje**

Este parámetro depende de la calidad de drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje.

Cuando se consideran todas las fuentes posibles de agua, la protección contra la entrada del agua en la sección estructural del pavimento consiste en la interceptación del agua subterránea y la impermeabilización de la superficie. Para obtener un adecuado drenaje de los pavimentos deben proveerse sistemas para:

- Drenaje superficial.
- Drenaje del agua subterránea.
- Drenaje estructural.

La Guía AASHTO considera los efectos del drenaje en el diseño de pavimentos flexibles mediante la modificación de los coeficientes estructurales (ai x mi) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en el cual el pavimento estará sometido a niveles de humedad cercanos a la saturación.

En el proceso de diseño de pavimentos flexibles es necesario determinar los coeficientes de drenaje, m2 y m3, que se aplican exclusivamente a las capas de base y subbase granulares no tratadas respectivamente. Se debe tomar en cuenta que en el sistema de drenaje del ensayo vial AASHTO se calificó como "Aceptable", y que el agua libre se removiera en el transcurso de una semana.

Teniendo en cuenta que las condiciones bajo las cuales se desarrolló la metodología de diseño (aceptable), se toma como parámetro de coeficiente de drenaje de la sub base de 0,9, el cual corresponde a porcentaje de tiempo en que la estructura estará expuesta a humedades cercanas a la saturación entre el 5% y el 25%.

Días de lluvia al año en Villanueva

| Días de | ene. | feb. | mar. | abr. | may. | jun. | jul. | ago. | sept. | oct. | nov. | dic. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lluvia | 4,2 días | 5,9 días | 11,7 días | 17,8 días | 21,1 días | 19,9 días | 18,6 días | 17,2 días | 16,3 días | 18,7 días | 15,2 días | 7,9 días |

Fuente: https://es.weatherspark.com/y/25942/Clima-promedio-en-Villanueva-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette

Según la tabla anterior se tienen 174,5 días de lluvia al año, lo que equivale al 47,80%, con este valor se selección a el coeficiente en función de la siguiente tabla:

Coeficiente de drenaje

| Calidad del Drenaje | Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Menos del 1% | 1% - 5% | 5% - 25% | más del 25% |
| Excelente | 1.25 - 1.20 | 1.20 - 1.15 | 1-15 - 1.10 | 1.10 |
| Bueno | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 |
| Mediano | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 |
| Malo | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 |
| Muy malo | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 - 0.70 | 0.70 |

Fuente: Método AASHTO 93

## CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

Al definir las variables de entrada se pasa al cálculo del número estructural, el método AASHTO ha implementado la siguiente fórmula de diseño:

$$LogW_{18} = Zr \times So + 9.36 \times Log(SN+1) - 0.2 + \left( \frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{(4.2-1.5)}\right)}{0.40 + \left(\frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times LogMr - 8.07$$

Donde;
$W_{18}$ = ESAL`S
Zr = Desviación estándar normal
So = Error estándar combinado
SN = Número estructural
Mr = Módulo resiliente efectivo
ΔPSI = Pérdida de Serviciabilidad

El número estructural, "SN", es un número abstracto que expresa la resistencia estructural requerida del pavimento para una combinación de soporte del suelo "MR", tránsito total expresado en ejes equivalentes, índice de servicio final y medio ambiente. El "SN" requerido debe convertirse en espesores de rodadura, base y subbase mediante el uso de coeficientes apropiados que representen la resistencia de los materiales de construcción.

Los coeficientes de capa están basados en el módulo de elasticidad y han sido determinados mediante el análisis de esfuerzos y deformaciones unitarias en sistemas de pavimento multicapa. La solución de la anterior ecuación representa el valor medio del tránsito que puede ser soportado por unas condiciones determinadas, es decir, existe una probabilidad del 50% de que el tránsito verdadero al momento de alcanzar el índice de servicio final sea mayor o menor que el predicho. Por lo que, para evitar deterioros tempranos se ha implementado un factor de confiabilidad en el proceso de diseño.

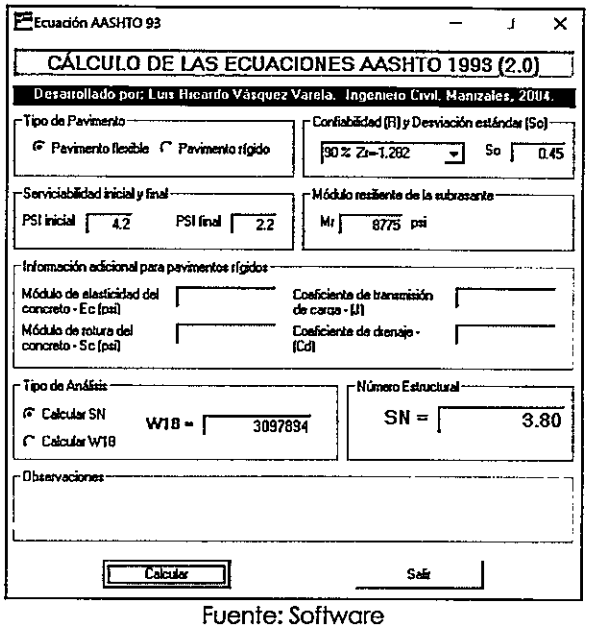
Números estructurales requeridos

| Vida útil | Tipo de intervención | Tránsito (ejes equivalentes) | Módulo de Rasante | ESTRUCTURA | SN REQUERIDO |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 AÑOS | REHAB.ESTRUCT. | 3.097.984 | 8775,0 | NUEVA | 3,80 |
| 2 AÑOS | REHAB.FUNCIONAL | 790.853 | 3975,0 | EXISTENTE | 2,88 |

Fuente: elaboración propia

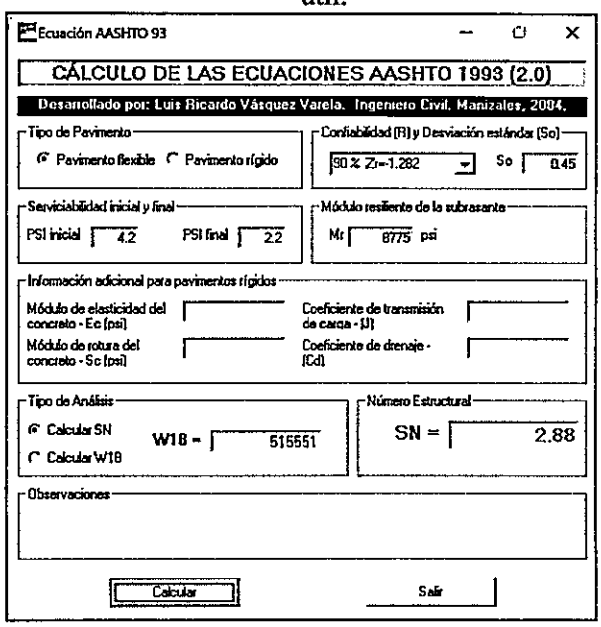
En el cálculo del valor del número estructural requerido se utilizó la formula general de la metodología AASHTO, mediante el uso del software Ecuación AASHTO/93.

Vista ventana de resultado de cálculo del Número estructural requerido para 10 años de vida útil.




Fuente: Software

Vista ventana de resultado de cálculo del Número estructural requerido para 2 años de vida útil.




Fuente: Software

Mediante el uso de la fórmula de la metodología AASHTO/93 se calculó los valores de numero estructural requerido por cada condición, este valor se debe comparar con los valores de numero estructural efectivo, para el cálculo del número estructural requerido para las condiciones de la propuesta de mantenimiento se trabajó con un So diferente porque no se trata de una vía nueva, de la misma forma, se trabajó con los valores de CBR inalterado sin saturar, pues así se establecen las condiciones al momento de las lecturas de los ensayos LWD, con los cuales se trabajó para dicha propuesta.

## NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO

Para el cálculo de los números estructurales efectivos, en la estructura nueva es decir para 10 años de vida útil, se utiliza el procedimiento normal de diseño de la metodología AASHTO 93, a partir de las variables establecidas de entrada, el diseño se realiza mediante un sistema denominado "Diseño por Análisis de Capas"., en donde se relaciona las condiciones de tránsito, resistencia del suelo, capacidad estructural y confiabilidad para determinar el Número Estructural (SN) requerido. El procedimiento parte de estimar el tránsito proyectado en términos de ejes equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL), definir el índice de serviciabilidad inicial y final, seleccionar el nivel de confiabilidad y el desvío estándar total, y evaluar la capacidad de soporte del suelo mediante el módulo resiliente (Mr). Con estos parámetros, la ecuación de diseño calcula el SN, el cual se distribuye entre las capas del pavimento utilizando coeficientes estructurales y factores de drenaje, determinando así los espesores óptimos de la carpeta asfáltica, base y subbase para garantizar el desempeño durante el periodo de diseño.

En el caso de la alternativa de rehabilitacion funcional para el periodo de vida útil de 2 años se hace a partir de los valores derivados del ensayo LWD y el uso de coeficientes de la capa asfáltica en función de su condición. Mediante el uso de la formula definida en la metodología AASHTO se calcula el numero estructural en función de los espesores, lo manuales recomiendan ajustar los valores obtenidos cuando las estructuras de pavimento sobrepasan los 70 cm, sin embargo, como los ensayos se realizaron con un equipo LWD que tiene una profundidad de influencia de hasta 60 cm, se ajustó los espesores de capa a este valor para poder aplicar el valor de coeficiente estructural de capa calculado a partir de la lectura del equipo.

- ***Diseño de rehabilitación para 10 años***

Con los datos de entrada ya mencionados se procedió a calcular el paquete estructural de pavimento que cumpla para las condiciones de tránsito acumulado para un periodo de vida útil de 10 años.

## SUB- RASANTE

DATOS

$$LogW18 = Zr*So+9.36*Log(SN+1)-0.2+ \frac{Log(\Delta PSI/(4.2-1.5))}{0.40+(1.094/(SN+1)^{5.19})} + 2.32*LogMr-8.07$$

| | | |
|---|---|---|
| Eac | 294342 | Modulo Elastico del Concreto Asfaltico,PSI |
| R | 90 | Confiabilidad,% |
| zr | -1,282 | Desviación Estándar Normal |
| So | 0,45 | Error Estándar Combinado |
| Δ psi | 2 | Diferencia de Indices de Servicio |
| CBR | 5,85 | % |
| MR | 8775 | PSI |
| w18 | 3,10E+06 | EJES 8.2 TON |

| Log w18 | Ecuación | SN | SN real |
|---|---|---|---|
| 6,491067 | 6,490571739 | 3,79220019 | ***3,79*** |

## BASE

DATOS

$$LogW18 = Zr*So+9.36*Log(SN+1)-0.2+ \frac{Log(\Delta PSI/(4.2-1.5))}{0.40+(1.094/(SN+1)^{5.19})} + 2.32*LogMr-8.07$$

| | | |
|---|---|---|
| zr | -1,282 | Desviación Estándar Normal |
| So | 0,45 | Error Estándar Combinado |
| Δ psi | 2 | Diferencia de Indices de Servicio |
| CBR | 80 | % |
| MR | 28787,64722 | PSI |
| w18 | 3,10E+06 | EJES 8.2 TON |

| Log w18 | Ecuación | SN | SN real |
|---|---|---|---|
| 6,491067 | 6,491028079 | 2,46695491 | ***2,47*** |

## SUB-BASE

DATOS

$$LogW18 = Zr*So+9.36*Log(SN+1)-0.2+ \frac{Log(\Delta PSI/(4.2-1.5))}{0.40+(1.094/(SN+1)^{5.19})} + 2.32*LogMr-8.07$$

| | | |
|---|---|---|
| zr | -1,282 | Desviación Estándar Normal |
| So | 0,45 | Error Estándar Combinado |
| Δ psi | 2 | Diferencia de Indices de Servicio |
| CBR | 30 | % |
| MR | 14749,82336 | PSI |
| w18 | 3,10E+06 | EJES 8.2 TON |

| Log w18 | Ecuación | SN | SN real |
|---|---|---|---|
| 6,491067 | 6,490974909 | 3,15253581 | ***3,15*** |

## COEFICIENTES Y NUMEROS ESTRUCTURALES

DATOS:

| | | |
|---|---|---|
| a1= | 0,362 | Coeficiente estructural |
| a2= | 0,132 | Coeficiente estructural |
| a3= | 0,107 | Coeficiente estructural |
| SN1= | 2,467 | Número Estructural |
| SN2= | 3,153 | Número Estructural |
| SN3= | 3,792 | Número Estructural |
| mi= | 0,900 | Coeficiente de Drenaje |

| ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ESPESORES | D1 | D2 | D3 | SN CALCULADO | SN REAL |
| PULGADAS | 4,724 | 7,874 | 11,811 | 3,79 | 3,79 |
| CENTIMETROS | 12,0 | 20,0 | 30,00 | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| RODADURA - INV 450 | ***MDC-19*** | 12,0 cm | 62,0 cm |
| BASE GRANULAR - INV 330 | ***BG-38*** | 20,0 cm | |
| SUB-BASE - INV 320 | ***SBG-50*** | 30,0 cm | |
| MEJORAMIENTO | ***AFIRMADO*** | 20,0 cm | |
| **CBR SUB RASANTE =** | **5,85** | **%** | |

- ***Propuesta de rehabilitación para 2 años***

Como se pudo determinar en la inspección visual del estado del pavimento del tramo vial analizado, el tipo de patología predominante indica que una de las posibles causas de su presencia es el envejecimiento de la capa de la mezcla asfáltica, teniendo en cuenta los resultados del inventario de daños se tiene la siguiente sectorización.

Sectorización en función del Índice de falla

| ***INDICE DE FALLA*** / ***TRAMO VIAL*** | ***IF*** | ***CALZADA*** | ***INTERVENCION*** |
|---|---|---|---|
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 2 Y 3 | 5 | I | MANTENIMIENTO |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 3 Y 4 | 5 | I | MANTENIMIENTO |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 4 Y 5 | 17 | I | REHABILITACION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 5 Y 6 | 16 | I | REHABILITACION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 6 Y 7 | 17 | I | REHABILITACION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 8 Y 7 | 26 | I | REHABILITACION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 8 Y 9 | 30 | I | REHABILITACION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 9 Y 10 | 32 | I | RECONSTRUCCION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 10 Y 11 | 32 | I | RECONSTRUCCION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 11 Y 12 | 41 | I/D | RECONSTRUCCION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 12 Y 13 | 23 | I/D | REHABILITACION |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 13 Y 14 | 39 | I/D | RECONSTRUCCION |

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, al analizar los resultados del ensayo de deflectometría se evidencia módulos elásticos de la capa que permiten definir que existe vida remanente de las estructuras existentes, por este motivo se mantiene la idea de una rehabilitación funcional para un periodo de vida util de 2 años.

Sectorización en función del ensayo de deflectometría

| INDICE DE FALLA / TRAMO VIAL | IF | CALZADA | INTERVENCION | SECTOR VIAL |
|---|---|---|---|---|
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 2 Y 3 | 5 | I | MANTENIMIENTO | SECTOR 1 |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 3 Y 4 | 5 | I | MANTENIMIENTO | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 4 Y 5 | 17 | I | RESTAURACION | SECTOR 2 |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 5 Y 6 | 16 | I | RESTAURACION | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 6 Y 7 | 17 | I | RESTAURACION | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 8 Y 7 | 26 | I | RESTAURACION | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 8 Y 9 | 30 | I | RESTAURACION | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 9 Y 10 | 32 | I | RECONSTRUCCION | SECTOR 3 |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 10 Y 11 | 32 | I | RECONSTRUCCION | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 11 Y 12 | 41 | I/D | RECONSTRUCCION | |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 12 Y 13 | 23 | I/D | RESTAURACION | SECTOR 4 |
| CALLE 7 ENTRE CARRERAS 13 Y 14 | 39 | I/D | RECONSTRUCCION | SECTOR 5 |

Con base en la sectorización en función de los módulos elásticos se puede concluir que el sector más crítico es el sector 4, el cual se ubica entre las carreras 12 y 13.

| SECTOR | Módulo de deformación dinámica promedio (Mpa) | Mr (Mpa) | Mr (PSI) | Coeficiente estructural (ai) | CBR | Módulo Elastico (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 137,93 | 179,309 | 25999,805 | 0,163 | 13,79 | 94,38 |
| 2 | 151,7 | 197,21 | 28595,45 | 0,173 | 15,17 | 100,31 |
| 3 | 133,65 | 173,745 | 25193,025 | 0,160 | 13,37 | 92,50 |
| 4 | 98,9 | 128,57 | 18642,65 | 0,130 | 9,89 | 76,28 |
| 5 | 119,9 | 155,87 | 22601,15 | 0,149 | 11,99 | 86,29 |

Con esta sectorización y teniendo en cuenta que el ensayo deflectométrico se realizó solo sobre las capas granulares se asume para el cálculo del número estructural efectivo (actual) un valor de coeficiente de capa de 0,25, lo anterior con base en lo definido en el manual de rehabilitación del INVIAS como se detalla a continuación:

Ajuste Numero estructural efectivo

| MATERIAL | CONDICION SUPERFICIAL | COEFICIENTE ESTRUCTURAL |
|---|---|---|
| Concreto asfaltico | Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad | 0,35 a 0,40 |
| | <10% piel de cocodrilo de baja severidad y/o 5% de fisuras transversales de media y alta severidad | 0,25 a 0,35 |
| | >10% piel de cocodrilo de baja severidad y/o <10% piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad. | 0,20 a 0,30 |
| | >10% piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% piel de cocodrilo de severidad alta y/o 10% de fisuras transversales de media y alta severidad. | 0,14 a 0,20 |
| | >10% piel de cocodrilo de severidad alta y/o >10%de fisuras transversales de severidad alta | 0,08 a 0,15 |

Aunque el análisis estructural indica que la estructura existente cuenta con vida remanente para el periodo de dos años, se requiere mejorar el estado actual, de tal forma que se garantice el coeficiente estructural asumido en los cálculos, para tal fin se propone realizar trabajos de rehabilitación (conservación, restauración y reconstrucción) como rutina sellado de fisuras en bloque y bacheo en las zonas donde hay piel de cocodrilo o se evidencia la existencia de afectaciones estructurales causadas por reparaciones en redes de servicios públicos para luego aplicar una capa de micropavimento como una medida funcional y de conservación de superficie orientada a mejorar el confort de rodadura, impermeabilizar la carpeta y retardar el deterioro superficial sin pretender aportar capacidad estructural significativa.

Análisis de SN efectivo y SN requerido

| Capa | Espesor (cm) | coeficiente estructural (ai) | coeficiente de drenaje (mi) | SN effectivo | SN Requerido |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sector 1. Calle 7 entre Cr 2 y 4 - Calzada Izquierda** | | | | | |
| RODADURA | 6 | 0,250 | - | 0,591 | |
| GRANULAR 1 | | 0,163 | 0,900 | 0,000 | |
| GRANULAR 2 | 54 | 0,163 | 0,900 | 3,123 | |
| | 60 | | | **3,713** | **2,880** |
| **Sector 2. Calle 7 entre Cr 4 y 9 - Calzada Izquierda** | | | | | |
| RODADURA | 4 | 0,250 | - | 0,394 | |
| GRANULAR 1 | 15 | 0,173 | 0,900 | 0,917 | |
| GRANULAR 2 | 41 | 0,173 | 0,900 | 2,507 | |
| | 60 | | | **3,818** | **2,880** |
| **Sector 3. Calle 7 entre Cr 9 y 12 - Calzada Izq. y calle 7 entre cr 11 y 12 calzada Der.** | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,250 | - | 0,492 | |
| GRANULAR 1 | | 0,160 | 0,900 | 0,000 | |
| GRANULAR 2 | 55 | 0,160 | 0,900 | 3,120 | |
| | 60 | | | **3,612** | **2,880** |
| **Sector 4. Calle 7 entre Cr 12 y 13 - Calzada Derecha e izquierda** | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,250 | - | 0,492 | |
| GRANULAR 1 | | 0,130 | 0,900 | 0,000 | |
| GRANULAR 2 | 55 | 0,130 | 0,900 | 2,541 | |
| | 60 | | | **3,033** | **2,880** |
| **Sector 5. Calle 7 entre Cr 13 y 14 - calzada Derecha e Izquierda** | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,250 | - | 0,492 | |
| GRANULAR 1 | 30 | 0,149 | 0,900 | 1,588 | |
| GRANULAR 2 | 25 | 0,149 | 0,900 | 1,323 | |
| | 60 | | | **3,403** | **2,880** |

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos del análisis de los resultados del ensayo LWD, con ayuda de la información reportada en los apiques nos permite comparar los números estructurales aportados por las capas existentes contra el número estructural

requerido calculado a partir de la proyección del tránsito para dos años y los valores de CBR inalterado en condiciones de humedad normal.

Como se observa los valores de número estructural aportado por las capas existentes son mayores al requerido en función de la proyección del tránsito a dos años, sin embargo, se busca recuperar la infraestructura vial aportando confort, seguridad y serviciabilidad, para este fin se propone las siguientes intervenciones:

| Capa | Espesor (cm) | coeficiente estructural (ai) | coeficiente de drenaje (mi) | SN effectivo | SN Requerido | Intervención |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sector 1. Calle 7 entre Cr 2 y 4 - Calzada Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 6 | 0,300 | - | 0,709 | | Rehabilitacion funcional mediante capa de asfalto de 5cm |
| GRANULAR 1 | | 0,163 | 0,900 | 0,000 | | |
| GRANULAR 2 | 54 | 0,163 | 0,900 | 3,123 | | |
| | 60 | | | 3,831 | 2,880 | |
| **Sector 2. Calle 7 entre Cr 4 y 9 - Calzada Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Rehabilitacion funcional mediante capa de asfalto de 5cm |
| GRANULAR 1 | 15 | 0,173 | 0,900 | 0,917 | | |
| GRANULAR 2 | 40 | 0,173 | 0,900 | 2,446 | | |
| | 60 | | | 3,954 | 2,880 | |
| **Sector 3. Calle 7 entre Cr 9 y 12 - Calzada Izq. y calle 7 entre cr 11 y 12 calzada Der.** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Rehabilitacion funcional mediante capa de asfalto de 5cm |
| GRANULAR 1 | | 0,160 | 0,900 | 0,000 | | |
| GRANULAR 2 | 55 | 0,160 | 0,900 | 3,120 | | |
| | 60 | | | 3,710 | 2,880 | |
| **Sector 4. Calle 7 entre Cr 12 y 13 - Calzada Derecha e izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Rehabilitacion funcional mediante capa de asfalto de 5cm |
| GRANULAR 1 | | 0,130 | 0,900 | 0,000 | | |
| GRANULAR 2 | 55 | 0,130 | 0,900 | 2,541 | | |
| | 60 | | | 3,132 | 2,880 | |
| **Sector 5. Calle 7 entre Cr 13 y 14 - calzada Derecha e Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Rehabilitacion funcional mediante capa de asfalto de 5cm |
| GRANULAR 1 | 30 | 0,149 | 0,900 | 1,588 | | |
| GRANULAR 2 | 25 | 0,149 | 0,900 | 1,323 | | |
| | 60 | | | 3,502 | 2,880 | |

Nota: el carril se definió en el sentido del recorrido del inventario de daños es decir de abscisa mayor a menor.

Como se observa en todos los sectores el Número Estructural efectivo (SN efectivo) es superior al Número Estructural requerido (SN requerido = 2,880), por lo que la estructura existente, desde el punto de vista de capacidad estructural, todavía satisface la demanda de diseño. En consecuencia, las intervenciones propuestas corresponden principalmente a rehabilitación funcional y de conservación. Es importante mencionar que las afectaciones localizadas en cada uno de los tramos representan mas de un 70% del area, y los costos de reparcheo y lechadas estarian al mismo nivel de implantar una capa funcional de asfalto de 5cm.

A partir de ello, la selección del tipo de intervención debe entenderse así:

- cuando el superávit estructural es amplio y el deterioro es superficial o localizado, procede una intervención liviana, como reparcheo y sello de fisuras.

- cuando la capacidad estructural es suficiente, pero la carpeta presenta desgaste, pérdida de textura, fisuración superficial, envejecimiento o deformaciones moderadas, procede el fresado y reposición de capa asfáltica.

En todos los casos propuestos, la estructura del pavimento presenta una reserva estructural positiva, es decir, cuenta con capacidad remanente suficiente para soportar las solicitaciones previstas. El margen estructural aproximado sería:

- Sector 1: 3,831 – 2,880 = 0,951
- Sector 2: 4,068 - 2,880 = 1,074
- Sector 3: 3,971 - 2,880 = 0,830
- Sector 4: 3,276 - 2,880 = 0,252
- Sector 5: 3,876 - 2,880 = 0,622

Desde este enfoque, la intervención no está dirigida a incrementar de manera sustancial el SN, sino a recuperar la condición funcional, corregir daños superficiales, mejorar la regularidad, restituir textura, impermeabilizar la superficie y prolongar la vida útil de la estructura existente.

Con base en el análisis del Número Estructural (SN), el inventario de daños y el Índice de Falla, se plantea una alternativa de rehabilitación funcional para un periodo de vida útil de dos (2) años, orientada a la recuperación de la serviciabilidad del corredor vial sin modificar de manera significativa la capacidad estructural existente.

En todos los sectores evaluados, el SN efectivo es superior al SN requerido (2,880), lo cual indica que la estructura del pavimento conserva capacidad portante suficiente para el horizonte de corto plazo. En este sentido, la intervención se enfoca en la corrección de deterioros puntuales y la mejora de la condición funcional de la superficie.

**Sector 1. Calle 7 entre Cr 2 y 4 – Calzada Izquierda**

En este sector, la estructura existente presenta una capacidad estructural adecuada (SN efectivo = 3,831 > SN requerido = 2,880), lo que indica que no se requiere refuerzo estructural.

Los deterioros observados corresponden principalmente a afectaciones superficiales y puntuales, tales como:

- fisuración longitudinal y transversal;
- fisuración en bloque incipiente;
- pérdida de impermeabilidad;
- desgaste superficial moderado.

La intervención propuesta de reparcheo, sello de fisuras y micropavimento o lechada asfáltica es la más adecuada, dado que:

- los daños no comprometen estructuralmente toda la sección;
- se requiere restituir la condición superficial y la impermeabilidad.

**Beneficios técnicos:**

- restitución de la continuidad superficial;
- sellado de grietas y control de infiltración;
- mejoramiento de la textura y regularidad;
- extensión de la vida útil sin intervención estructural.

**Sector 2. Calle 7 entre Cr 4 y 9 – Calzada Izquierda**

Este sector presenta la mayor capacidad estructural (SN efectivo = 3,954), lo cual confirma que la estructura es suficiente para el periodo de análisis.

Los deterioros identificados están asociados principalmente a:

- reparcheos existentes deteriorados;
- fisuración superficial;
- pérdida de agregado;
- discontinuidad en la capa de rodadura por intervenciones previas.

La alternativa de reposicion asfaltica de 5cm es adecuada porque:

- permite corregir zonas críticas generadas por intervenciones de redes;
- mejora la uniformidad de la superficie;
- no requiere intervención estructural.

**Beneficios técnicos:**

- homogenización de la superficie de rodadura;
- mejora del confort y seguridad vial;
- sellado general de la superficie;
- control de deterioro progresivo.

**Sector 3. Calle 7 entre Cr 9 y 12 y Cr 11 y 12 – Calzada Izquierda y Derecha**

El sector presenta un SN efectivo = 3,710, superior al requerido, evidenciando suficiencia estructural.

Las patologías predominantes corresponden a:

- fisuración tipo piel de cocodrilo localizada;
- fisuración en bloque;
- desgaste superficial;
- zonas intervenidas con parches.

La intervención propuesta es adecuada porque:

- las fallas estructurales son localizadas y no generalizadas;
- la estructura global conserva su capacidad portante.

**Beneficios técnicos:**

- eliminación de fallas críticas mediante reparcheo;
- detención de la propagación de fisuración;
- mejora de la impermeabilidad y textura;
- recuperación de la serviciabilidad general.

**Sector 4. Calle 7 entre Cr 12 y 13 – Calzada Derecha e Izquierda**

Este sector presenta el menor SN efectivo (3,132), aunque aún superior al requerido, lo que indica que se encuentra cercano al límite estructural.

Los deterioros incluyen:

- fisuración más extendida;
- pérdida de material superficial;
- zonas con desgaste avanzado;
- presencia de irregularidades.

La solución planteada es adecuada porque:

- permite intervenir sin sobrecargar la estructura;
- atiende las fallas sin necesidad de refuerzo inmediato.

**Beneficios técnicos:**

- recuperación funcional sin intervención estructural;
- control de deterioros antes de que evolucionen;
- mejora de la regularidad superficial;
- reducción de infiltraciones.

**Sector 5. Calle 7 entre Cr 13 y 14 – Calzada Derecha e Izquierda**

El sector presenta un SN efectivo = 3,502, indicando suficiencia estructural.

Los deterioros observados corresponden a:

- parches deteriorados;
- fisuración superficial;
- desgaste y pérdida de agregado;
- discontinuidad de la capa de rodadura.

La alternativa es adecuada porque:

- los daños son predominantemente funcionales;
- la estructura aún tiene capacidad suficiente.

**Beneficios técnicos:**

- corrección de fallas localizadas;
- mejora de la textura y adherencia;
- uniformización de la superficie;
- prolongación de la vida útil a corto plazo.

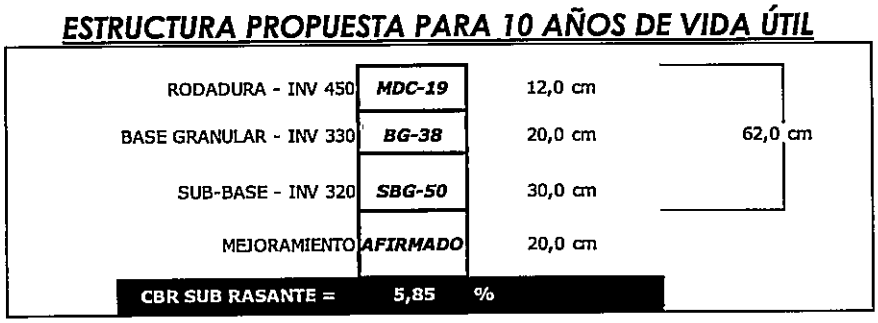
# 4. CONCLUSIONES

Después del análisis realizado al informe del estudio de deflectometría y con base en la inspección visual de tramo, se realizaron los cálculos necesarios para suplir las necesidades de uso definidas en el estudio de tránsito para un periodo de vida útil de 10 años y 2 años, con base en los anterior se concluye lo siguiente:

- Para garantizar el cumplimiento de los análisis hechos se requiere que las mezclas asfálticas usadas cumplan con los requisitos de calidad establecidos en el artículo 450 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS 2022 y los aspectos de resistencia definidos en el presente documento.
- Se considera imprescindible verificar durante construcción la competencia mecánica y caracterización de los materiales empleados en las intervenciones del objeto contractual, con las frecuencias indicadas por las Normas y Especificaciones del Instituto Nacional de Vías.
- Durante el proceso constructivo se debe garantizar las temperaturas de transporte, extendida y compactaciones definidas por el proveedor de la mezcla asfáltica, de la misma forma, se deberá evitar la segregación de la mezcla en la extendida, dando cumplimiento a las disposiciones definidas en las especificaciones aplicables al proyecto.
- La inspección visual evidencio fisuracion longitudinal, transversal y en bloque, sectores con piel de cocodrilo, discontinuidades por intervenciones previas. Por esta condicion no se recomienda la lechada asfaltica o el micropavimento como solucion principal, ya que no garantizan una correccion integral ni una superficie homogenea de rodadura.

- En el análisis a 10 años se presentan alternativas de pavimentos nuevas clasificándose como actividades de rehabilitación funcional del paquete estructural de pavimento, esto implica la remoción y ajuste de los espesores de capas granulares y asfáltica.

***ESTRUCTURA PROPUESTA PARA 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL***




- Para el periodo de análisis de 2 años se plantean una serie de intervenciones que buscan responden a una lógica de conservación y rehabilitación superficial

o semiestructural, en la que se busca corregir deterioros funcionales, recuperar la capa de rodadura, mejorar la regularidad superficial, restituir impermeabilidad, evitar la progresión del daño hacia capas inferiores y corregir el bombeo en algunas zonas. La intervención propuesta es técnicamente adecuada para un horizonte de corto plazo, ya que:

- existe suficiencia estructural en todos los sectores;
- los deterioros son predominantemente superficiales o localizados;
- se optimiza la inversión al evitar intervenciones mayores innecesarias;
- se recupera la serviciabilidad del corredor vial de manera eficiente.

| Capa | Espesor (cm) | coeficiente estructural (ai) | coeficiente de drenaje (mi) | SN effectivo | SN Requerido | Intervención |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sector 1. Calle 7 entre Cr 2 y 4 - Calzada Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 6 | 0,300 | - | 0,709 | | Reposicion de la carpeta asfaltica en una capa de 5cm |
| GRANULAR 1 | | 0,163 | 0,900 | 0,000 | | |
| GRANULAR 2 | 54 | 0,163 | 0,900 | 3,123 | | |
| | 60 | | | 3,831 | 2,880 | |
| **Sector 2. Calle 7 entre Cr 4 y 9 - Calzada Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Reposicion de la carpeta asfaltica en una capa de 5cm |
| GRANULAR 1 | 15 | 0,173 | 0,900 | 0,917 | | |
| GRANULAR 2 | 40 | 0,173 | 0,900 | 2,446 | | |
| | 60 | | | 3,954 | 2,880 | |
| **Sector 3. Calle 7 entre Cr 9 y 12 - Calzada Izq. y calle 7 entre cr 11 y 12 calzada Der.** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Reposicion de la carpeta asfaltica en una capa de 5cm |
| GRANULAR 1 | | 0,160 | 0,900 | 0,000 | | |
| GRANULAR 2 | 55 | 0,160 | 0,900 | 3,120 | | |
| | 60 | | | 3,710 | 2,880 | |
| **Sector 4. Calle 7 entre Cr 12 y 13 - Calzada Derecha e Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Reposicion de la carpeta asfaltica por una capa de 5cm |
| GRANULAR 1 | | 0,130 | 0,900 | 0,000 | | |
| GRANULAR 2 | 55 | 0,130 | 0,900 | 2,541 | | |
| | 60 | | | 3,132 | 2,880 | |
| **Sector 5. Calle 7 entre Cr 13 y 14 - calzada Derecha e Izquierda** | | | | | | |
| RODADURA | 5 | 0,300 | - | 0,591 | | Reposicion de la carpeta asfaltica por una capa de 5cm |
| GRANULAR 1 | 30 | 0,149 | 0,900 | 1,588 | | |
| GRANULAR 2 | 25 | 0,149 | 0,900 | 1,323 | | |
| | 60 | | | 3,502 | 2,880 | |

No obstante, se recomienda que, para periodos de diseño superiores, se realice una evaluación estructural más detallada que permita definir la necesidad de refuerzo o reconstrucción.

- En cualquiera de las alternativas la ejecución deberá cumplir con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras – INVIAS 2022 (Art. 450 y relacionadas).
- La selección final de la alternativa de intervención deberá considerar un análisis costo–beneficio que incluya el horizonte de servicio deseado, ya que todas las soluciones planteadas cumplen técnicamente con los parámetros de diseño y operación para los periodos evaluados.

# 5. BIBLIOGRAFÍA

1. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, "Normas de ensayo de materiales para carreteras", Bogotá D.C., 2022.

2. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, "Especificaciones generales de construcción de carreteras", Bogotá D.C., 2022.

3. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN, "método AASHTO 93", San Juan, 1998.

4. MONTEJO, Alfonso, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras". Santafé de Bogotá, 2001.

5. HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando," Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimento, Tunja, 2012.

6. REYES LIZCANO, Fredy Alberto, "Diseño racional de Pavimentos, Bogotá, 2009.

7. SANCHEZ SABOGAL, Fernando, "Pavimentos asfalticos de Carreteras – Guía práctica para los estudios y diseños, Bogotá, 2016.

8. ARENAS LOZANO, Hugo León, "Tecnología del Cemento asfáltico, Popayán, 2000, segunda edición.

***JOHATHAN ANDRES GAVIRIA CONTRERAS***
*CC: 1.121.844.182 DE VILLAVIECENCIO*
*M.P. 25202-193762 CND*
*ING. CIVIL*
*ESP. EN DISEÑO Y CONSTRUCCIONES DE VIAS Y AEROPISTAS*
*ESP. EN GERENCIA DE PROYECTOS*
*MAGISTER EN GERENCIA DE PROYECTOS*