

INFORME DE REHABILITACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

VÍA LIMONAR

Preparado para:



por:



Diciembre de 2025

FICHA TÉCNICA

Nombre del Informe: Informe de Rehabilitación y Diseño de Pavimentos / Vía Limonar		Código Interno Proyecto (APSA): 25-020-03-C
Nombre del Proyecto al cual Pertenecen: Vía Limonar		Tipo de Versión del Informe: Informe final
Identificación del Mandante: TERRINORTE EICE GIRARDOTA	Contraparte Técnica: Mauricio Montoya	Clasificación: Evaluación estructural de pavimentos
Identificación del Ejecutante: Consultores en Administración de Pavimentos APSA S. A. S. Carrera 80 # 39 – 157, Oficina 803. Medellín, Colombia.	Gerente Técnico: David Saldaña M.	Fecha (última modificación): 5 de diciembre de 2025
	Ingeniero de Proyecto: Samuel Salgado Jasmín Tobón	Número de páginas 28 páginas de informe
Resumen: En el presente informe se describe la metodología usada para el análisis de rehabilitación y diseño del pavimento en la vía Limonar y se exponen los resultados correspondientes. El detalle de los cálculos puede ser consultado en el anexo correspondiente.		

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS	6
3. DEFINICIÓN DE CARRILES	7
4. METODOLOGÍA PARA LA REHABILITACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	8
4.1. Solicitaciones de Transito	8
4.2. Análisis de Vida Remanente y Diseño de Pavimentos.....	9
4.2.1. Metodología AASHTO	10
4.2.2. Parámetros de diseño	12
5. ANÁLISIS DE LA VIDA REMANENTE	15
6. DISEÑO DE PAVIMENTOS NUEVOS	17
7. RESULTADOS Y COMENTARIOS FINALES	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejes equivalentes de diseño	8
Tabla 2. Ancho de calzada	9
Tabla 3. Sectores Homogéneos, Vía Limonar	10
Tabla 4. Confiabilidad, R	12
Tabla 5. Confiabilidad y desviación normal estándar	12
Tabla 6. Parámetros y variables de diseño (ASSHTO)	15
Tabla 7. Resultados Vida Remanente	16
Tabla 8. Datos de entrada Sector 5, Cálculo del NE requerido	17
Tabla 9. Parámetros de Diseño de Pavimento Nuevo, Sector 5.....	17
Tabla 10. Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas m _i	18
Tabla 11. Espesores mínimos	19
Tabla 12. Resultados Diseño de Pavimentos Nuevo, Sector 5	19
Tabla 13. Datos de entrada Sectores 1, 2 y 3. Cálculo del NE requerido.....	19
Tabla 14. Parámetros de Diseño de Pavimento Nuevo, Sectores 1, 2 y 3	20
Tabla 15. Opción 1: Rehabilitación y diseño del pavimento	22
Tabla 16. Opción 2: Diseño del pavimento nuevo	23
Tabla 17. Resumen cantidades	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto	5
Figura 2. Definición de Carriles	7
Figura 3. Clasificación climática de Colombia por humedad con base en el Índice de Thornthwite.....	18

ANEXOS

- Anexo A. Estudio de Tránsito
- Anexo B. Rehabilitación y Diseño de pavimentos

1. INTRODUCCIÓN

La vía Limonar, ubicada en el municipio de Girardota (Antioquia), se origina en la Autopista Norte, a la altura de la parcelación El Limonar (PR 13+350 de la Ruta 2510 en sentido Girardota – Medellín), y se extiende a lo largo de aproximadamente 11 kilómetros, conectando las veredas rurales de El Limonar, La Holanda (parte baja y parte alta) y Portachuelo. Esta vía constituye un corredor estratégico de conectividad interveredal, con proyección hacia los municipios de San Pedro de los Milagros y Don Matías.

Actualmente, el tramo presenta un alto grado de deterioro estructural y superficial, evidenciado por fisuras, pérdida de capa de rodadura, asentamientos y deficiencias en el sistema de drenaje.

El área de influencia directa está conformada por zonas agropecuarias, con actividades como ganadería, producción lechera y cultivos agrícolas; así como zonas de uso residenciales y recreativos, representados en fincas de descanso, parcelaciones campestres y centros turísticos. Esta condición multipropósito le confiere a la vía una alta relevancia socioeconómica dentro del territorio rural del municipio.

En la Figura 1 se muestra un esquema general de la ubicación de la vía Limonar, la cual comprende los tramos A y B (La Holanda Parte Alta y Baja respectivamente).



Figura 1. Ubicación del proyecto
Fuente: Elaboración propia

2. OBJETIVOS

Los principales objetivos de la asesoría técnica son:

- Calcular la vida remanente de los pavimentos flexibles por la metodología AASHTO y su posterior rehabilitación.
- Diseñar la estructura de pavimentos para los sectores en afirmado.

3. DEFINICIÓN DE CARRILES

La definición de los carriles se realiza con base en el sentido Autopista Norte - Vereda La Holanda. Definiendo la abscisa 0+000 en la Autopista Norte, por lo tanto, el abscisado crece en dirección Sur-Norte, desde Autopista Norte hacia la Vereda La Holanda. A continuación, se presenta un esquema ilustrativo de esta definición.

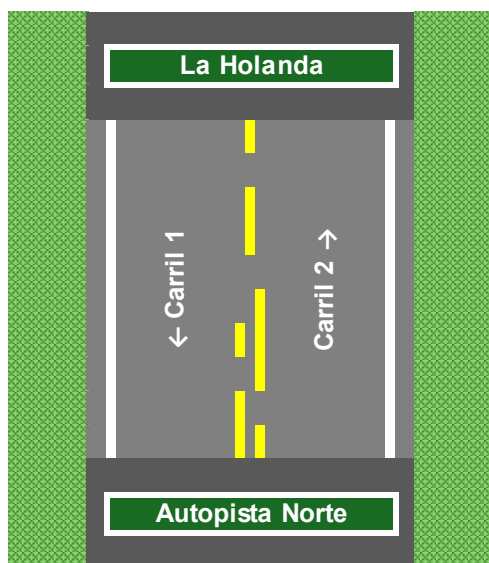


Figura 2. Definición de Carriles

Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA PARA LA REHABILITACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

Teniendo en cuenta la sectorización de la vía y aplicando la metodología que se describe a continuación, se realizaron los cálculos para obtener la vida remanente de los pavimentos flexibles. Luego, comparando con las solicitudes de tránsito se determinó la obra de rehabilitación necesaria que se debe llevar a cabo para la recuperación del nivel de servicio del pavimento en uso. Además, se realiza el diseño del pavimento nuevo.

4.1. Solicitaciones de Tránsito

El tránsito en el diseño de pavimentos es una variable importante, cualquiera sea la metodología que se emplee o el tipo de pavimento que se desee construir. Los métodos de diseño dimensionan la estructura de pavimento para un determinado número de pasadas de un eje o vehículo, y no para un lapso.

Se emplearon los datos proyectados en ejes equivalentes de 8.2 Ton presentados en el Anexo A. De esta manera los ejes equivalentes de diseño para un periodo de 10 años se presentan a continuación:

Tabla 1. Ejes equivalentes de diseño

Estación de Conteo		ESAL	Abscisa Inicial	Abscisa Final
1	Ingreso a Limonar	3,232,991	0+000	5+950
2	Ingreso a Portachuelo	311,152	5+950	10+900
3	Intersección H	394,065	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por el cliente, Informe: “Estudio De Tráfico, Para La Rehabilitación De La Vía Que Conduce A Las Veredas Portachuelo, Limonar, La Holanda Parte Baja Y La Holanda Parte Alta Del Municipio De Girardota Antioquia INFO-TEC-TRAN-001-V1-2025”.

El Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013, establece en el capítulo 2, apartado 2.7 que: “si la calzada va a tener menos de cinco (5) metros de ancho, se deberá considerar en el cálculo todo el tránsito esperado en los dos sentidos, pues salvo en el momento en que se crucen, los vehículos circularán centrados y tenderán a producir una sola zona de canalización”.

Tabla 2. Ancho de calzada

Abscisa	Carril 1	Carril 2	Ancho Calzada (m)
0+200	2.57	2.57	5.1
1+100	2.20	2.20	4.4
1+300	1.90	1.90	3.8
1+650	1.75	1.75	3.5
2+100	1.90	1.90	3.8
2+250	2.25	2.25	4.5
2+850	2.00	2.00	4.0
3+150	1.90	1.90	3.8
7+300	1.75	1.75	3.5
8+300	1.85	1.85	3.7
8+450	2.60	2.60	5.2
8+500	1.75	1.75	3.5
9+300	2.35	2.35	4.7
9+350	1.75	1.75	3.5
Ancho Calzada Promedio			4.1

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis de Vida Remanente y Diseño de Pavimentos

El análisis de la vida remanente de los pavimentos se realiza para evaluar el tiempo que le queda a un pavimento antes de que alcance un nivel de deterioro que requiera su rehabilitación o reemplazo. Este análisis es crucial porque ayuda a planificar el mantenimiento y las intervenciones necesarias, optimizando el uso de recursos y garantizando la seguridad vial.

La definición de los sectores homogéneos del pavimento (sectorización) de La vía Limonar, se llevó a cabo mediante el método de diferencias acumuladas con base en la deflexión máxima normalizada producto de la evaluación estructural del pavimento. Los sectores homogéneos resultantes se presentan a continuación:

Tabla 3. Sectores Homogéneos, Vía Limonar

SECTORES HOMOGÉNEOS						
Sector	Tipo de Pavimento	Abscisa		Longitud (m)	Intervención	Ejes Equivalentes de Diseño
		Inicial	Final			
1	Asfalto	0+000	5+950	5,950	Rehabilitación	3,232,991
2	Asfalto	5+950	8+000	2,050	Rehabilitación	311,152
3	Asfalto	8+000	9+650	1,650	Rehabilitación	311,152
4	Placa Huella	9+650	9+980	330	N/A	-
5	Afirmado	9+980	10+900	920	Diseño de pavimento Nuevo	311,152

Fuente: Elaboración propia

Para los sectores 1, 2 y 3 comprendidos entre las abscisas 0+000 y 9+650, debido a su estado actual en condición deficiente y marginal (basado en la metodología VIZIR) se propone el fresado del espesor total de la carpeta asfáltica actual y la reposición y/o refuerzo de carpeta asfáltica necesaria para cumplir con los ejes de diseño a 10 años.

Para el sector 5, se propone el diseño de pavimentos nuevo, tomando como punto de partida los valores mínimos de los espesores de carpeta asfáltica y base granular propuestos en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013.

A continuación, se expone la metodología utilizada para el cálculo de la vida remanente de los pavimentos existentes y para el diseño del pavimento nuevo.

4.2.1. Metodología AASHTO

El método de diseño AASHTO 93 se fundamenta en la ecuación empírica obtenida del ensayo vial AASHTO realizado en Ottawa, Illinois. Desde su publicación en 1958 la ecuación de diseño ha sido modificada en varias ocasiones, 1973, 1986 y 1993. Todas las versiones están soportadas en la pérdida de serviciabilidad y en el cálculo del número estructural necesario para lograr un periodo de vida útil adoptado por el diseñador (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993a).

La primera modificación en 1972 se realizó con el fin de poder emplear la ecuación AASHTO de manera generalizada en sitios donde no fue obtenida, esta publicación

ingresa un factor R empírico a la ecuación para ajustar el número estructural y un factor de soporte del suelo S. La modificación de 1986 realizó una caracterización más racional de la subrasante y los materiales granulares, de esta manera se incluye el módulo resiliente para la caracterización de la subrasante y para obtener los coeficientes estructurales, de igual manera, en esta publicación se incluyen los coeficientes de drenaje y el concepto de confiabilidad y variabilidad. La modificación de 1993 estuvo enfocada a la rehabilitación de pavimentos y a la utilización de ensayos no destructivos para el retro cálculo de la estructura. (Barry R, Schwartz, & Boudreau, May 2006).

La ecuación AASHTO que actualmente se utiliza para el diseño de pavimentos flexibles se presenta a continuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{p_i - p_f}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Ecuación 1. Ecuación AASHTO pav. flexible

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

- W_{18} : ejes equivalentes de diseño
- SN: número estructural
- P_i : índice de serviciabilidad inicial
- P_f : índice de serviciabilidad final
- a_i : coeficiente estructural
- M_R : módulo resiliente
- Z_R : nivel de confiabilidad
- S_0 : desviación estándar combinada
- m_i : coeficiente de drenaje

4.2.2. Parámetros de diseño

4.2.2.1. Confiabilidad

El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de confiabilidad (FS) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_R) y de la desviación normal del error combinado (S_0) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

Tabla 4. Confiabilidad, R

Clasificación	Confiabilidad (R %)	
	Urbano	Rural
Interestatal y autopistas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Coletores	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Elaboración propia a partir de la Guía AASHTO 1993.

En las ecuaciones de diseño, la confiabilidad condiciona el valor de Z_R , desviación normal estándar, esto se indica en la tabla siguiente:

Tabla 5. Confiabilidad y desviación normal estándar

Confiabilidad (R)	Desviación normal estándar (Z_R)
50,0%	0,000
60,0%	-0,253
70,0%	-0,524
75,0%	-0,674
80,0%	-0,842
85,0%	-1,036
90,0%	-1,282
91,0%	-1,341
92,0%	-1,405
93,0%	-1,476
94,0%	-1,555
95,0%	-1,645
96,0%	-1,751
97,0%	-1,881
98,0%	-2,054
99,0%	-2,326
99,9%	-3,090

Fuente: Elaboración propia

El error estándar combinado y la confiabilidad del diseño se pueden entender también como un factor de seguridad que amplifica el tránsito de diseño. Este factor está dado por:

$$FS = 10^{-Z_R \times S_0}$$

Ecuación 2. Factor de seguridad

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

El Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013, sugiere adoptar un nivel de confiabilidad en el diseño del setenta por ciento (70%) esto debido a la clasificación de la vía, además, de una desviación estándar $S_0 = 0.44$.

4.2.2.2. Serviciabilidad

El pavimento se diseña para que sirva por un determinado lapso llamado vida de diseño, que se refiere al período durante el cual la serviciabilidad se mantiene dentro de ciertos límites; terminada la vida útil de diseño deberá rehabilitarse. La ecuación de diseño establece un estado inicial del pavimento (P_i), que depende exclusivamente de las posibilidades tecnológicas disponibles para construirlo y un nivel de deterioro considerado como final o inconveniente para transitar (P_f).

La guía AASTHO 93, sugiere un índice de serviciabilidad final de 2.0 para vías con menores volúmenes de tráfico, además, sugiere un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 para pavimentos flexibles en base al AASHO Road Test. Por otro lado, el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013, sugiere adoptar una pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = 2.2$

4.2.2.3. Coeficientes Estructurales

La versión 1993 del método AASHTO enfatiza la conveniencia de asignar el coeficiente estructural adecuado a cada capa del pavimento, considerando las propiedades reales de los materiales que las constituyen.

- Coeficiente estructural mezcla asfáltica: en función de la temperatura media anual promedio, su valor será:

$$\begin{array}{ll} a = 0.44 & \text{TMAP} \leq 13^{\circ}\text{C} \\ a = 0.37 & 13^{\circ}\text{C} < \text{TMAP} \leq 20^{\circ}\text{C} \\ a = 0.30 & 20^{\circ}\text{C} < \text{TMAP} \leq 30^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Para el caso de la vía Limonar se adopta un Coeficiente estructural de la mezcla asfáltica de 0.30.

- Coeficiente estructural base granular: 0.14
- Coeficiente estructural subbase granular: 0.12

4.2.2.4. Módulo Resiliente de la Subrasante

Se utiliza el valor promedio del sector homogéneo obtenido con la FWD aplicando un factor de ajuste de 0.33.

5. ANÁLISIS DE LA VIDA REMANENTE

Con los resultados obtenidos en el retrocálculo de la deflectometría, y utilizando el método AASHTO se procedió a realizar el cálculo de la vida remanente de cada uno de los sectores. La metodología utilizada en este estudio para la estimación de la vida remanente de los pavimentos consiste en calcular el tránsito admisible, expresado en Ejes Equivalentes, utilizando como valores de entrada los parámetros de diseño y la condición actual de la estructura de pavimentos, esto es, propiedades de la estructura y plataforma de fundación, tales como el módulo resiliente de la subrasante (M_R) y el número estructural actual (NE).

La estimación de la vida remanente en ejes equivalentes AASHTO, es decir la cantidad de ejes equivalentes que es posible que pase sobre el pavimento hasta alcanzar el nivel de falla considerado, se puede obtener a partir de la información de la capacidad estructural medida y del análisis que se haga a través de la utilización del método AASHTO, el cual considera como criterio de falla de los pavimentos la pérdida de serviciabilidad.

A continuación, se presentan los parámetros y datos de entrada utilizados para el análisis:

Tabla 6. Parámetros y variables de diseño (AASHTO)

SECTORES HOMOGÉNEOS				Módulo Resiliente (MPa)	Número Estructural (cm)	Confianza (%)	Desviación Estándar	Índice de Serviciabilidad inicial	Índice de Serviciabilidad final	Ejes Equivalentes de Diseño
Sector	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Long. [m]	M_R	NE	R	S_0	p_i	p_f	EE Diseño
1	0+000	5+950	5,950	90.71	4.44	70.0%	0.44	4.20	2.00	3,232,991
2	5+950	8+000	2,050	90.19	4.79	70.0%	0.44	4.20	2.00	311,152
3	8+000	9+650	1,650	42.53	3.53	70.0%	0.44	4.20	2.00	311,152

Fuente: Elaboración propia

Para los sectores 1, 2 y 3 comprendidos entre las abscisas 0+000 y 9+650, debido a su estado actual en condición deficiente y marginal (basado en la metodología VIZIR) se propone el fresado del espesor total de la carpeta asfáltica actual y la reposición y/o refuerzo de carpeta asfáltica necesaria para cumplir con los ejes de diseño a 10 años.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la vida remanente del pavimento actual. En primera instancia se calculan los ejes equivalentes remanentes del pavimento en base al número estructural actual, donde si los ejes equivalentes remanentes son mayores a los ejes equivalentes de diseño no se requiere de refuerzo y únicamente se calcula el espesor de carpeta asfáltica de reposición necesario, en caso contrario, se calcula el espesor de carpeta asfáltica de refuerzo y reposición necesario.

Posteriormente, se presenta el número estructural con el que quedaría el pavimento una vez se realice el fresado (NE_{ef}) y el número estructural que requiere el pavimento (NE_f) para cumplir con los ejes equivalentes de diseño, siendo la diferencia de ambos el número estructural requerido por refuerzo y/o reposición ($NE_{rec} = NE_f - NE_{ef}$).

Se calcula el espesor de refuerzo y/o reposición de carpeta asfáltica teniendo en cuenta un coeficiente estructural de la capa asfáltica de 0.30 y un espesor mínimo de la misma de 5 cm.

Tabla 7. Resultados Vida Remanente

Número Estructural Actual (cm)	Ejes Equivalentes Remanentes	Comentario	Número Estructural después del Fresado (cm)	Número Estructural Requerido (cm)	Número Estructural de refuerzo y/o reposición (cm)	Coeficiente Estructural capa asfáltica	Espesor de refuerzo y/o reposición de la capa asfáltica (cm)
Ne_a	EE Rem.		NE_{ef}	NE_f	NE_{Rec}	a_1	h_1
4.44	142,580	Requiere refuerzo	2.82	7.34	4.52	0.30	15.50
4.79	220,287	Requiere refuerzo	2.66	5.08	2.42	0.30	8.50
3.53	6,789	Requiere refuerzo	1.70	6.71	5.01	0.30	17.00

Fuente: Elaboración propia

6. DISEÑO DE PAVIMENTOS NUEVOS

Para el diseño del pavimento nuevo del sector 5 es necesario calcular el número estructural requerido, por lo cual se utiliza el método AASTHO 93, el cual se expone en el literal 4.2.1 del presente documento, como también los parámetros y variables de análisis expuestos en el literal 4.2.2, los datos de entrada para el cálculo del número estructural requerido se presentan a continuación:

Tabla 8. Datos de entrada Sector 5, Cálculo del NE requerido

Datos de entrada						
Módulo Resiliente (MPa)	Confiabilidad (%)	Desviación Estándar	Índice de serviciabilidad inicial	Índice de serviciabilidad final	Ejes Equivalentes de Diseño	Número Estructural Requerido (cm)
MR	R	S0	pi	pf	EE Diseño	NEf
42.53	70.0%	0.44	4.20	2.00	311,152	6.71

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el número estructural requerido, se realiza el diseño del pavimento nuevo, el cual debe presentar un número estructural mayor al requerido para el periodo de diseño de 10 años. Los parámetros de diseño se presentan a continuación:

Tabla 9. Parámetros de Diseño de Pavimento Nuevo, Sector 5

Parámetros de diseño				
Espesor mínimo (cm)		Coeficientes Estructurales		Coeficiente de drenaje
CA	BG	a ₁	a ₂	m ₂
7.50	15.00	0.30	0.14	0.95

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de drenaje adoptado se define en base al Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013, el cual establece en el capítulo 5, apartado 5.2 la siguiente tabla, que define el coeficiente de drenaje según la clasificación climática por humedad de la zona donde se está diseñando el pavimento.

Tabla 10. Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas m_i

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

Fuente: Elaboración propia a partir del "Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito".

En base al mapa de Clasificación climática de Colombia por humedad con base en el Índice de Thornthwite expuesto en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013, se tiene que el coeficiente de drenaje del sector 5 ubicado entre la abscisa 9+980 y 10+900 corresponde 0.95 (Clasificación climática por humedad: Húmedo).

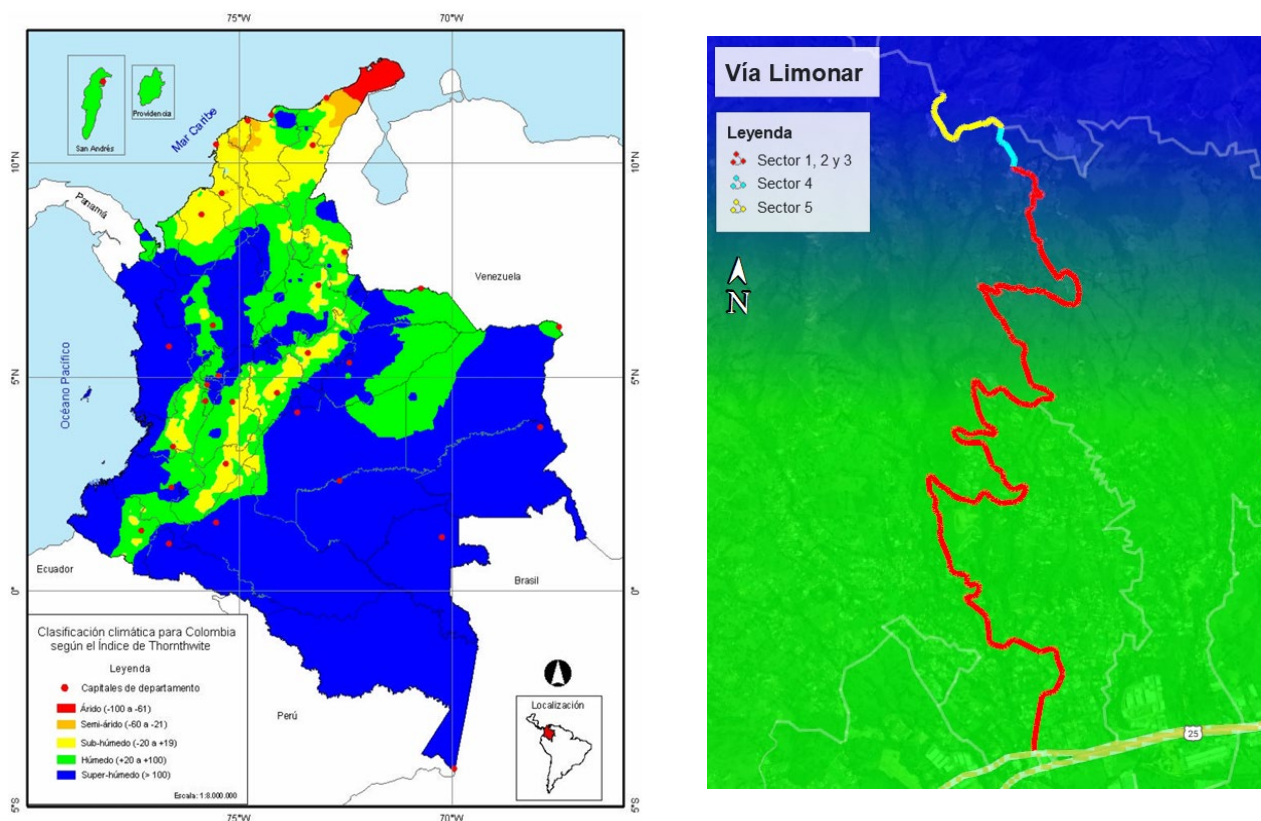


Figura 3. Clasificación climática de Colombia por humedad con base en el Índice de Thornthwite

Fuente: Elaboración propia y Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

Los espesores mínimos de diseño adoptados se basan en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013, el cual establece en el capítulo 5, apartado 5.1 que el espesor mínimo en el diseño de la capa de rodadura en función de la categoría de tráfico es de 7.5 cm para ejes equivalentes de diseño mayores a 150.000. Además, establece que el espesor mínimo en el diseño de la capa de base granular es de 15 cm por conveniencia constructiva.

Tabla 11. Espesores mínimos

Espesores mínimos Estructura del pavimento	
Carpeta Asfáltica	7.5 cm
Base Granular	15.0 cm

Fuente: Elaboración propia a partir del " Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito"

Por lo tanto, la estructura de pavimento nuevo en el sector 5 debe ser de 15 cm de base granular y 7.5 centímetros de carpeta asfáltica.

Tabla 12. Resultados Diseño de Pavimentos Nuevo, Sector 5

Diseño Pavimento Nuevo		Cálculo Número Estructural Obtenido		
Espesores (cm)		NE ₁ (cm)	NE ₂ (cm)	NE _{Obtenido} [cm]
CA	BG			
7.50	15.00	5.72	5.07	10.78

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se plantea como alternativa constructiva la ejecución, sobre el pavimento existente de los sectores 1, 2 y 3, de una capa de 15 cm de base granular y su adecuada compactación, seguida de la colocación de una carpeta asfáltica de 7,5 cm. Esta solución se propone en reemplazo del proceso convencional de fresado y reposición de la estructura existente.

Los espesores definidos corresponden a los resultados del diseño estructural de pavimentos nuevos desarrollado para los sectores 1, 2 y 3, el cual se presenta a continuación.

Tabla 13. Datos de entrada Sectores 1, 2 y 3. Cálculo del NE requerido

Datos de entrada							
Sector	Módulo Resiliente (MPa)	Confiabilidad (%)	Desviación Estándar	Índice de serviciabilidad inicial	Índice de serviciabilidad final	Ejes Equivalentes de Diseño	Número Estructural Requerido (cm)
	MR	R	S0	pi	pf	EE Diseño	NEf
1	90.71	70.0%	-0.524	0.44	4.20	2.00	7.34
2	90.19	70.0%	-0.524	0.44	4.20	2.00	5.08
3	42.53	70.0%	-0.524	0.44	4.20	2.00	6.71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Parámetros de Diseño de Pavimento Nuevo, Sectores 1, 2 y 3

Parámetros de diseño				
Espesor mínimo (cm)		Coeficientes Estructurales		Coeficiente de drenaje
CA	BG	a ₁	a ₂	m ₂
7.50	15.00	0.30	0.14	0.95

Fuente: Elaboración propia

Resultados Diseño de Pavimentos sobre el existente, Sectores 1, 2 y 3

Diseño Pavimento Nuevo			Cálculo Número Estructural Obtenido		
Sector	Espesores (cm)		NE ₁ (cm)	NE ₂ (cm)	NE _{Obtenido} [cm]
	CA	BG			
1	7.50	15.00	5.72	5.07	10.78
2	7.50	15.00	5.72	5.07	10.78
3	7.50	15.00	5.72	5.07	10.78

Fuente: Elaboración propia

7. RESULTADOS Y COMENTARIOS FINALES

En el presente informe se exponen los resultados del análisis de rehabilitación y diseño del pavimento en la vía Limonar ubicada en el municipio de Girardota (Antioquia).

Para los sectores 1, 2 y 3 comprendidos entre las abscisas 0+000 y 9+650, debido a su estado actual en condición deficiente y marginal (basado en la metodología VIZIR) se propone el fresado del espesor total de la carpeta asfáltica actual y la reposición y/o refuerzo de carpeta asfáltica necesaria para cumplir con los ejes de diseño a 10 años. Por lo tanto, las actividades son:

- Opción 1:

Sector 1: Se deberá realizar un fresado de la carpeta asfáltica actual, posteriormente se deberá extender y compactar una capa de 15.5 cm de mezcla asfáltica. Con esto se garantiza un periodo de diseño de 10 años.

Sector 2: Se deberá realizar un fresado de la carpeta asfáltica actual, posteriormente se deberá extender y compactar una capa de 8.5 cm de mezcla asfáltica. Con esto se garantiza un periodo de diseño de 10 años.

Sector 3: Se deberá realizar un fresado de la carpeta asfáltica actual, posteriormente se deberá extender y compactar una capa de 17.0 cm de mezcla asfáltica. Con esto se garantiza un periodo de diseño de 10 años.

- Opción 2:

Sector 1, 2 y 3: Sobre el pavimento existente se deberá realizar la extensión y compactación de 15 cm de base granular y posteriormente la colocación de 7.5 cm de mezcla asfáltica. Es importante indicar que este es el espesor mínimo recomendado por el manual de carreteras. Con esto se garantiza un periodo de diseño de 10 años.

Para los sectores 1, 2 y 3 se recomienda implementar la opción 2, debido a que el suelo de subrasante es muy susceptible a cambiar de propiedades según la humedad de este. Por lo tanto, agregar espesor de pavimento garantizará de mejor manera la vida útil de este.

Tabla 15. Opción 1: Rehabilitación y diseño del pavimento

Sector	Tipo de Pavimento	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud [m]	Estructura de pavimento existente (cm)				Cantidades (Opción 1)			
					CA (Fresado)	CA (Reposición y/o Refuerzo)	BG	SBG	Fresado (m³)	CA (m³)	Riego de imprimación (m²)	BG (m³)
1	Asfalto	0+000	5+950	5,950	5.4	15.5	12.5	26.6	1,317.33	3,781.23	24,395.00	
2	Asfalto	5+950	8+000	2,050	7.1	8.5	12.6	20.7	596.76	714.43	8,405.00	
3	Asfalto	8+000	9+650	1,650	6.1	17.0	8.9	23.7	412.67	1,150.05	6,765.00	
4	Concreto	9+650	9+980	330	-	-	-	-	-	-	-	-
5 (*)	Afirmado	9+980	10+900	920		5.0	15.0	-		188.60	3,772.00	565.80

Tabla 16. Opción 2: Diseño del pavimento nuevo

Sector	Tipo de Pavimento	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud [m]	Estructura de pavimento existente (cm)				Cantidades (Opción 2)			
					CA (Fresado)	CA (Reposición y/o Refuerzo)	BG	SBG	Fresado (m³)	CA (m³)	Riego de imprimación (m²)	BG (m³)
1	Asfalto	0+000	5+950	5,950		7.5	15.0	-		1,829.63	24,395.00	3,659.25
2	Asfalto	5+950	8+000	2,050		7.5	15.0	-		630.38	8,405.00	1,260.75
3	Asfalto	8+000	9+650	1,650		7.5	15.0	-		507.38	6,765.00	1,014.75
4	Concreto	9+650	9+980	330		-	-	-		-	-	-
5	Afirmado	9+980	10+900	920		7.5	15.0	-		282.90	3,772.00	565.80

Fuente: Elaboración propia

Para el sector 5, se propone el diseño de pavimentos nuevo, tomando como punto de partida los valores mínimos de los espesores de carpeta asfáltica y base granular propuestos en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS 2013. Además, se considera que el CBR del sector 5, es igual al CBR del último sector asfaltado (Sector 3). A continuación, se presenta el resumen de las cantidades de obra estimadas, las cuales fueron calculadas asumiendo un ancho de calzada uniforme de 4.1 metros a lo largo de toda la vía. Se resalta que, para obtener una mayor precisión en la estimación de volúmenes, es necesario realizar un levantamiento topográfico detallado o efectuar la medición de los anchos de calzada a intervalos regulares en la vía objeto de estudio.

Tabla 17. Resumen cantidades

Resumen Cantidades				
Opción	Fresado (m³)	CA (m³)	Riego de imprimación (m²)	BG (m³)
Opción 1	2,326.75	5,834.30	43,337.00	565.80
Opción 2	-	3,250.28	43,337.00	6,500.55

Fuente: Elaboración propia

Por último, es importante que se realice la construcción de cunetas y se garantice el correcto manejo del agua de escorrentía para que no afecte la integridad de la estructura de pavimentos. Todos los materiales y especificaciones deberán cumplir con la normativa INVIAS actual.

Recomendaciones para implementar la opción 2

La vía evaluada presenta, en la mayor parte de su trazado, un deterioro estructural y funcional significativo, evidenciado por pérdida de la carpeta asfáltica, fisuración en piel de cocodrilo, presencia de ahuellamientos y baches de considerable magnitud. La opción 2 plantea la conformación de una estructura tipo “sándwich”, consistente en la extensión y compactación de 15 cm de base granular sobre la superficie existente, seguida de la colocación de 7.5 cm de mezcla asfáltica en caliente.

Para garantizar el adecuado desempeño de esta solución, es indispensable ejecutar un tratamiento previo de la superficie existente. En los tramos donde el pavimento conserve una condición aceptable, se deberá realizar un rayado mecánico o fresado superficial de adherencia, generando patrones en forma de bloques cuadrados de aproximadamente 10 a 15 cm por lado. Este procedimiento tiene como objetivo:

- Aumentar la rugosidad y mejorar la adherencia entre la superficie existente y la nueva base granular.
- Evitar la formación de una interfaz impermeable que pueda retener humedad y comprometer la estabilidad de la base.
- Facilitar un anclaje mecánico adecuado que reduzca el riesgo de desplazamientos o deslizamientos posteriores de la capa granular.

Adicionalmente, en zonas donde se identifiquen fallas estructurales severas será necesario realizar reparaciones puntuales, incluyendo retiro de material suelto, reconstrucción local de la subbase y restitución del nivel de apoyo, antes de proceder con la extensión de la base granular.

Anexo A. Estudio de Tránsito

Anexo B. Rehabilitación y Diseño de pavimentos