



Diseño y construcción del tramo de vía en pavimento flexible considerando el manejo de aguas lluvias sobre la carpeta asfáltica.

Carlos Alejandro Sierra Marín

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesores

Juan Carlos Guzmán Martínez, Magíster (MSc) Ingeniería énfasis en Geotecnia, Asesor interno

Natalia Lisseth Hernández, Especialista en gestión de la construcción, Asesora externa

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Apartadó, Antioquia, Colombia
2023

Cita	(Sierra Marín, 2023)
Referencia	Sierra Marín, C. A. (2023). <i>Diseño del tramo de vía en pavimento flexible considerando el manejo de aguas lluvias sobre la carpeta asfáltica</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Apartadó, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina / Braulio Andrés Angulo Martínez.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	7
1. Introducción	8
2. Objetivos	10
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. Marco teórico	11
4. Resultados	18
5. Análisis	39
6. Conclusiones	40
Referencias	41
Anexos	42

Lista de tablas

Tabla 1: <i>Niveles de confiabilidad</i>	12
Tabla 2: <i>Coefficiente de drenaje</i>	14
Tabla 3: <i>Resumen de ensayos</i>	22
Tabla 4: <i>Estructuras para el tráfico básico</i>	23
Tabla 5: <i>Estructuras para el tráfico alto</i>	24
Tabla 6: <i>Estructuras recomendadas tráfico básico</i>	25
Tabla 7: <i>Estructuras recomendadas tráfico alto</i>	26

Lista de figura

Figura 1: <i>Torre de Apartamentos 1 y 2 Belo Horizonte.</i>	8
Figura 2: <i>Urbanismo Belo Horizonte.</i>	9
Figura 3: <i>Localización de los sondeos.</i>	17
Figura 4: <i>Localización de los sondeos.</i>	19
Figura 5: <i>Sondeos en planta.</i>	19
Figura 6: <i>Sondeo 1.</i>	20
Figura 7: <i>Sondeo 2.</i>	21
Figura 8: <i>Terreno inicial primer tramo a pavimentar.</i>	27
Figura 9: <i>Terreno inicial punto más alto tramo a pavimentar.</i>	28
Figura 10: <i>Alineamiento horizontal primer tramo.</i>	29
Figura 11: <i>Alineamiento horizontal segundo tramo.</i>	29
Figura 12: <i>Alineamiento vertical primer tramo.</i>	30
Figura 13: <i>Alineamiento vertical segundo tramo.</i>	31
Figura 14: <i>Instalación de cordonería tramo final vía a pavimentar.</i>	32
Figura 15: <i>Vista superior de la vía con cordones instalados.</i>	33
Figura 16: <i>Cajeo, nivelación e instalación de base granular.</i>	34
Figura 17: <i>Base granular instalada y nivelada.</i>	35
Figura 18: <i>Instalación y compactación de carpeta asfáltica.</i>	36
Figura 19: <i>Evidencia de agua fluyendo en dirección de las pendientes diseñadas.</i>	37
Figura 20: <i>Estado final de la vía pavimentada.</i>	38

Resumen.

La constructora SOLUCIONES CIVILES S.A. actualmente desarrolla el proyecto inmobiliario BELO HORIZONTE en el sector la primavera del municipio de Bello, Antioquia. BELO HORIZONTE contará con dos torres de apartamentos, cada una de treinta pisos; catorce apartamentos por piso, un compendio de zonas comunes para el uso de los residentes. Y finalmente, una torre de parqueaderos con doce pisos por donde se ubicará el ingreso a la urbanización.

La construcción del ingreso a la urbanización requiere la pavimentación de la vía de acceso desde la calle 59D del barrio la primavera hasta el kilómetro cero más ciento treinta metros después del ingreso a la finca Hernando Builes, proyectada como la entrada al proyecto por el cuarto piso de la torre de parqueaderos.

Antes de iniciar la construcción del pavimento de este tramo de vía fue necesaria la compilación de estudios preliminares y complementarios como línea base para identificar las condiciones específicas en el tramo a pavimentar. Con ello, se consideró el estado actual de la vía, determinando las características del manejo de las aguas lluvias teniendo en cuenta los requerimientos y las especificaciones de acuerdo con la normativa para el proceso de construcción de pavimento flexible. Una vez culminada la caracterización del tramo a pavimentar se diseñaron los alineamientos horizontales y verticales de forma que se garantizara el vertimiento de aguas lluvias en los lugares de almacenamiento.

Palabras clave: Subrasante, base, carpeta asfáltica, carpeta de rodadura, escorrentía.

Abstract.

Currently, the construction company SOLUCIONES CIVILES S.A is developing the BELO HORIZONTE estate project in the La Primavera sector of the municipality of Bello, Antioquia. BELO HORIZONTE will have two apartment towers, each with thirty floors; fourteen apartments per floor, several of public areas for the use of residents and finally, a twelve-story parking tower, which correspond to the entrance to urbanization will be located.

The construction of the entrance to the urbanization requires paving the access road from 59D street in the La Primavera neighborhood to kilometer zero plus one hundred and thirty meters after the entrance to the Hernando Builes farm where the entrance to the project will be located on the fourth floor. from the parking tower.

Previous to beginning the construction of the pavement of this section of road, the compilation of preliminary and complementary studies is required as a baseline to identify the specific conditions in the section to be paved, thus consider the current state of the road, determine the characteristics of the management of rainwater taking into account the requirements and specifications in accordance with the regulations for the process of construction of flexible pavement. Once the characterization of the paved section is complete, horizontal, and vertical alignments will be designed to guarantee the discharge of rainwater in the storage places.

Keywords: Subgrade, base, asphalt layer, rolling layer, runoff.

1. Introducción.

La constructora Soluciones Civiles S.A.S se encuentra actualmente desarrollando el proyecto inmobiliario Belo Horizonte, el cual constará de dos torres de apartamentos. Cada torre tendrá 30 pisos con 14 apartamentos por piso, sumando un total de 840 apartamentos, tal como se muestra en la Figura 1, torre de apartamentos etapa 1 y 2.



Figura 1: Torre de Apartamentos 1 y 2 Belo Horizonte.

Nota. Fuente: Eme propiedad raíz.

El proyecto Belo Horizonte se localiza en el Municipio de Bello - Antioquia, en el sector La Primavera, el cual presenta un terreno montañoso con fuertes pendientes.

Limita al sur con la Calle 59D y al norte con la vía de acceso a la finca de Hernando de Jesús Builes. Esta vía se encuentra elevada en una berma de 130 metros de longitud, a una cota superior del desarrollo del proyecto. A continuación en la figura 2 se presenta el urbanismo del proyecto.



Figura 2: Urbanismo Belo Horizonte.

Nota. Fuente: Eme propiedad raíz.

En la actualidad, no se cuenta con un sistema de captación de aguas lluvias a lo largo de la vía de acceso a la finca. Debido a las condiciones del terreno, estas aguas se descargan sobre la construcción de la unidad, generando la necesidad de diseñar una estructura de pavimento adecuada basada en los hallazgos de los estudios preliminares y complementarios realizados en la formulación del proyecto, tomando en consideración los datos de línea base.

Por lo tanto, es fundamental identificar las condiciones específicas del tramo a pavimentar, con el objetivo de diseñar los alineamientos horizontales y verticales que garanticen que la carpeta de rodadura cuente con las pendientes necesarias y suficientes para dirigir el flujo de aguas pluviales por escorrentía sobre el asfalto. De esta manera, se asegura el vertimiento de dichas aguas en los depósitos fluviales cercanos.

Una vez se tenga el diseño y los alineamientos tanto horizontales como verticales, se pretende conformar la subrasante con las pendientes necesarias para continuar con la colocación de la base y su compactación, conservando las pendientes con las que se dejó la subrasante. Posterior a esto, instalar la mezcla de asfalto en caliente, compactarlo y con ello, garantizar la escorrentía de aguas lluvias sobre la carpeta asfáltica hasta su vertimiento en el depósito fluvial.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo general.

Diseñar tramo de vía en pavimento flexible considerando el manejo de aguas lluvias sobre la carpeta asfáltica

2.2 Objetivos específicos.

- Compilar estudios preliminares y complementarios como línea base para la construcción de la vía.
- Identificar las condiciones específicas en el tramo a pavimentar, considerando el estado actual y manejo de aguas fluviales.
- Implementar requerimientos y especificaciones según normativa para el proceso de construcción del pavimento flexible.
- Diseñar los alineamientos horizontales y verticales del tramo de vía.
- Estimar los posibles lugares de almacenamiento de aguas fluviales para su vertimiento.

3. Marco teórico.

En el municipio de Bello Antioquia, en el sector la primavera, actualmente se desarrollan diversos proyectos residenciales con el fin de urbanizar ciertas zonas que hasta hace poco aún eran consideradas zonas rurales. Debido a la expansión de la zona, es importante proporcionar solución a las necesidades básicas y complementarias de la comunidad. El proyecto Belo Horizonte, busca generar vivienda para más de 800 familias en el sector la primavera, figura como objetivo principal del proyecto Belo Horizonte, aportando así al desarrollo y valorización de este.

La urbanización se encuentra ubicada a diez minutos del parque principal subiendo por la obra 2.000 y continuando por el CAI del barrio Valadares. El terreno en el cual se encuentra corresponde a un terreno montañoso con altas pendientes, razón por la cual se pensó en un ingreso por la parte más alta del proyecto que conecta con la torre de parqueaderos y una salida por el nivel de terreno actual, que comunica el proyecto con la calle 59D.

Para el ingreso por la parte superior de la obra es importante determinar el tipo de tráfico que hará uso de la vía, el cual debe resistir la estructura de pavimento flexible que se diseñe para la vía.

El método AASTHO esta descrita en la publicación “*Guide for Design of Pavement Structures*” publicada por AASHTO en 1993, la cual contiene los métodos de diseño tanto para estructuras de pavimento flexibles, como rígidos e involucra parámetros como el drenaje, presencia de bermas y la erosionalidad de la base incorporando así un amplio número de variables.

El espesor del pavimento se determina con base en la siguiente ecuación definida para estructuras flexibles:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9,36 \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \text{Log}_{10}(M_R) - 8,07$$

Ecuación 1: Ecuación definida para estructuras flexibles.

Donde:

W18: Número previsto de ejes equivalentes de 8,2 toneladas (18.000 libras o 82 kN), a lo largo del período de diseño.

ZR: Desviación normal estándar.

So: Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

Δ PSI: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final. (Variación de la seveciabilidad).

M_R : Módulo de resiliencia.

El procedimiento de diseño AASHTO determina los espesores de cada una de las capas D1, D2, D3 de un pavimento para que éstas puedan soportar el paso de un número de ejes equivalentes de 8,2 Ton sin que se produzca una disminución en el índice de servicio definido en los parámetros de diseño, el cual se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches).

Desviación estándar normal **Zr:**

El valor **Zr** está relacionado a la confiabilidad **R** necesaria para asegurar la predicción del comportamiento de la estructura del pavimento en el período de diseño.

La guía de diseño sugiere los niveles de confiabilidad **R** presentados en la siguiente tabla de acuerdo con el tipo de carretera a diseñar.

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 1: Niveles de confiabilidad

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

Por la importancia del proyecto se determina el rango máximo de confiabilidad comprendido entre 50% y el 99,9%, es de anotar que las características del tránsito antes descrito valida la posibilidad del caso de estudio, en el 80% para las vías urbanas locales o internas a la urbanización.

Error estándar combinado S_o :

La Guía AASHTO recomienda adoptar para S_o valores comprendidos entre 0,4 y 0,5 por lo cual en el caso particular del presente diseño fue adoptado el 0,45 como valor recomendado de referencia por tratarse de una estructura nueva.

Índice de servicio inicial P_i :

En el ensayo vial AASHO pudo determinarse un valor de 4,5 para pavimentos rígidos y 4,2 para flexibles teniendo en cuenta que la construcción es de fácil implementación por tratarse de un costado de vía, no se tendrán problemas para alcanzar en P_i de 4,2 como recomendación en el presente diseño.

Índice de servicio final P_t :

El valor establecido en el presente diseño para el índice de servicio final (P_t) fue de 2,0, considerando que un índice de servicio de 2,0 presenta un remanente de vida útil adecuado para el buen funcionamiento del pavimento. Sin embargo, debe asegurarse que antes del final de la vida útil del pavimento se programe una rehabilitación oportuna impidiendo que la estructura falle y deba ser reconstruida.

Tipo de apoyo:

Por tratarse de una vía de mediano volumen de tráfico se recomiendan utilizar base y Subbase granular en conjunto o base sola, cuando los espesores pasen de 12 cm por razones constructivas.

Módulo resiliente M_r :

Para el cálculo del módulo resiliente (Ver ecuación 2) se tienen en cuenta que el material de soporte definido por el estudio de suelos es un material de una respuesta estructural alta debido a la proliferación de escombros, pero con la seguridad de haber tomado como referencia, un valor del lado seguro de 15.3 % que se registra para una baja compactación según el informe SY6-220380

de la consultora Suelos Y Pavimentos S.A.S. El valor establecido permite sugerir que todo material de fundación cuyo CBR sea inferior a 3%, debe ser objeto de reemplazo.

$$M_r = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241 = 12041 \text{ lb/Pul}^2$$

Ecuación 2: Ecuación módulo de resiliencia.

La base granular contará con un módulo resiliente de 28000 lb/Pul² según recomendación extraída de los ábacos que relacionan CBR con módulo de la base granular y la subbase tiene un módulo de 16000 lb/Pul².

Para la construcción de la vía por la parte superior del proyecto hay varios factores para tener en cuenta como el manejo de aguas lluvia desde la intersección con la calle 59D del barrio la primavera hasta el final de la vía, la cual cuenta con una longitud actual de 130 metros.

Dicho tramo, actualmente se encuentra sin pavimentar y sin un sistema de manejo de aguas lluvia. Luego de realizar una visita técnica a campo, se decide pavimentar dicho tramo teniendo en cuenta las necesidades del proyecto y la oportunidad de mejorar la calidad de vida de los vecinos colindantes.

Con el fin de lograr el manejo de las aguas lluvias por escorrentía sobre la carpeta asfáltica se tiene en cuenta el coeficiente de drenaje el cual fue determinado a partir de la tabla 2 mostrada a continuación:

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en el que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Mediano	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muv malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Tabla 2: Coeficiente de drenaje

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

Por tratarse de unas condiciones en las que el tiempo de exposición a humedad próxima a la saturación por efecto de las lluvias puede llegar a ser el 25% del año y entendiendo que la estructura de media ladera puede favorecer solo para una mediana acumulación de agua permitiendo el drenaje, se recomienda la utilización de un coeficiente de drenaje para la base granular de 0.9 en condiciones generales.

Además, se tiene en cuenta los criterios estipulados en el manual de drenaje para carreteras INVIAS 2009, se debe considerar las condiciones actuales para generar las pendientes necesarias y suficientes desde la conformación y nivelación de la base. Esta debe cumplir lo estipulado en Norma INVIAS E-330 Base Granular para garantizar junto a las especificaciones del Capítulo 4 de Normas y especificaciones 2012 INVIAS la calidad y durabilidad del pavimento flexible.

Las aguas que se dan por escorrentías son las aguas pluviales o también denominadas aguas de lluvia que después de caer y según la pendiente corren o fluyen por las calles, techos de los edificios o terrenos naturales, las cuales muchas veces son utilizadas para el cultivo y riego de jardines.

4. Metodología.

A continuación, se describen las etapas en las que se establece el diseño de la estructura de pavimento flexible, considerando el manejo de aguas lluvias por escorrentía, sobre la carpeta asfáltica de la vía que inicia desde la intersección con la calle 59D, hasta el ingreso a la torre de parqueadero del proyecto Belo Horizonte en el municipio de Bello.

- Primera etapa: Compilación estudios preliminares y complementarios.

Para iniciar, la primera etapa estuvo comprendida por la compilación de estudios preliminares, esto con el fin de recolectar y estudiar la información suficiente y necesaria para la contextualización del proyecto, sus características y particularidades a tener en cuenta con el propósito de cumplir con el diseño de pavimento flexible para el ingreso del proyecto Belo horizonte.

- Segunda etapa: Identificación de las condiciones específicas del tramo a pavimentar.

En esta etapa se realizó un recorrido técnico y exploratorio en el cual se evidenció toda la información analizada de los estudios preliminares, teniendo en cuenta el panorama *in-situ* y sus condiciones particulares, detectando posibles dificultades en el momento de iniciar el proceso de pavimentación y escuchando las observaciones que resaltaba la comunidad del sector.

- Tercera etapa: Implementar requerimientos y especificaciones según normativa.

Durante esta etapa se consultó la norma vigente para la construcción de pavimento flexible, teniendo en cuenta lo resaltado por el profesional encargado de la firma del diseño y el contratista encargado de la ejecución de la obra. Además, de tener en cuenta la norma para el diseño, en el transcurso de la ejecución se aseguró el cumplimiento de la misma, así como las especificaciones dadas por el diseño.

- Cuarta etapa: Diseñar los alineamientos horizontales y verticales del tramo de vía.

Para esta etapa fue necesario realiza un levantamiento topográfico teniendo en cuenta las coordenadas que delimitan el tramo de vía a pavimentar, definidas del plano urbanístico del proyecto, con estas coordenadas, se determinaron puntos con sus respectivos niveles para diseñar los alineamientos verticales y horizontales de la vía a pavimentar, teniendo en cuenta las necesidades del proyecto, las limitantes del terreno y el manejo de aguas lluvia por escorrentía.

- Quinta etapa: Estimar los posibles lugares de almacenamiento de aguas fluviales.
Se tuvo en cuenta las características del terreno determinadas en los estudios preliminares, lo analizado en el recorrido técnico, los resultados obtenidos por el levantamiento topográfico y el manejo del agua por escorrentía, a partir de las pendientes generadas en el alineamiento vertical para garantizar el flujo del agua hasta su lugar de vertimiento.
A continuación, en la figura 3 se muestra la gráfica resumen de la metodología.

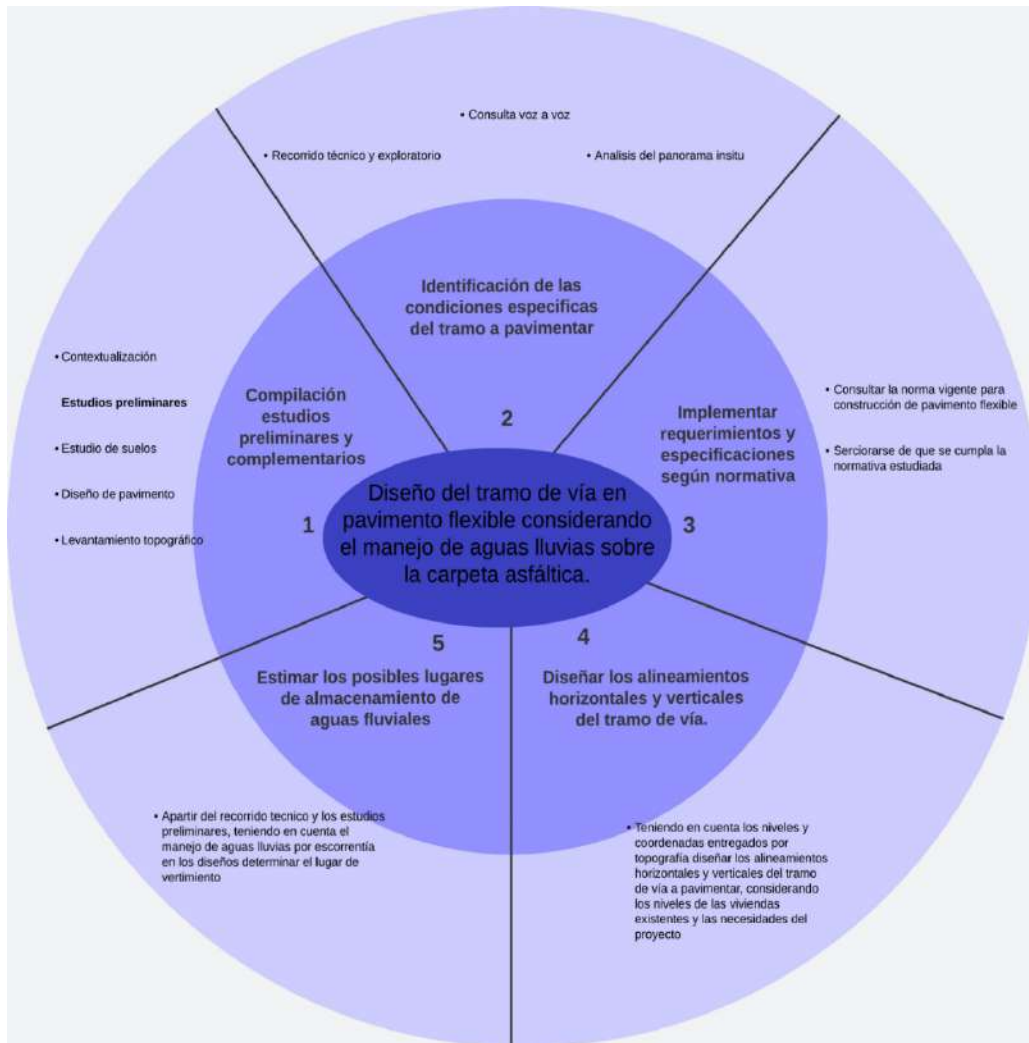


Figura 3: Metodología.

Nota. Fuente: Propia

5. Resultados.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos se lleva a cabo la metodología estipulada previamente, de manera que el primer reconocimiento realizado fue mediante la compilación de estudios preliminares y complementarios, a través de los cuales se tuvo un contexto del proyecto y el sector en el cual se está desarrollando.

- Compilación estudios preliminares y complementarios:

Durante esta primera etapa, se encontró inicialmente el estudio de suelos, en el cual fue posible identificar las características del suelo al cual nos estamos enfrentando y qué consideraciones se debían tener en cuenta para el diseño de pavimento y posterior a este la ejecución de la vía. Luego del estudio de suelo se revisó el diseño de pavimento, quien presenta los tipos probables de vehículos que harán uso del sector de vía. Además, la carga portante del suelo definida a partir de los resultados de laboratorios de los dos sondeos realizados al inicio y fin de la vía a pavimentar. Del resultado de los sondeos se pudo evidenciar que el suelo de fundación de la vía es un depósito antrópico con escombros tipo cuescos, gravas, pedazos de concretos, etc. Las Figuras 4 y 5 mostradas a continuación señalan la ubicación de los sondeos georreferenciados y en planta.



Figura 4: Localización de los sondeos.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

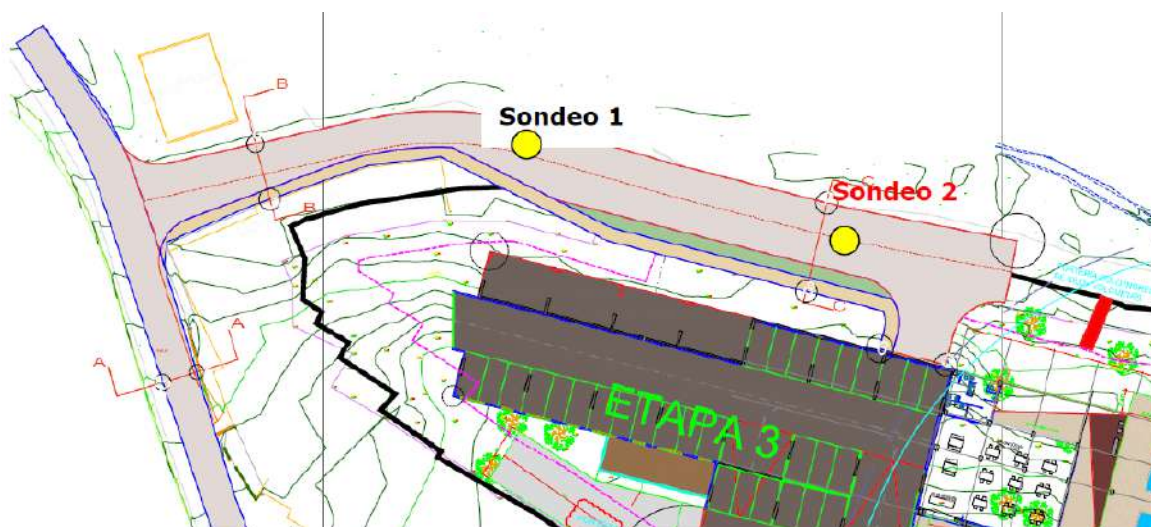


Figura 5: Sondeos en planta.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

Para el sondeo 1 sobre la abscisa k0+044 de la vía de entrada al proyecto, el suelo de la fundación estaba compuesto mayormente por lleno de gravas, cuercos de concreto y adobes (escombros), lo cual se clasifica como grava limosa. El CBR remoldeado en laboratorio permitió un valor de 27.7% para el 95% de la compactación máxima. A continuación, se muestran las figuras 6 y 7 correspondientes al sondeo 1 y sondeo 2.



Figura 6: *Sondeo 1.*

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

Para el segundo sondeo sobre la margen izquierda del trazado de la vía en la abscisa K0+110, se encuentra un material de relleno de gravas, cuercos de concreto y adobes (escombros); luego de 0.70 m, ya se halla el suelo natural consistente de roca meteorizada de textura areno limosa, color café alta consistencia como se evidencia en la figura 7, sondeo 2.



Figura 7: *Sondeo 2.*

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

RESUMEN ENSAYOS PARA LA VÍA EXTERNA BELO HORIZONTE APARTAMENTOS													
AP	Ubicación	Esp. (m)	Material	Humedad natural (%)	CBR (95%)	PASA N° 200	PASA N° 4	LL	LP	IP	CLASIFICACIÓN		
											AASHTO	UNIFIC.	
H	K0+044 frente al predio N°68DD 84, siendo el K0 la subida a la arenera Los Builes	1.20	Lleno de gravas, cuescos de concreto y adobes (escombros)	21.6%	27.7%	13.7%	45.8%					A-1a (0)	GM
				11.7%									
N	Calle 59D K0+110, siendo el K0 la subida a la arenera Los Builes	0.70	Lleno de gravas, cuescos de concreto y adobes (escombros)	11.6%		16.6%	50.9%					A-1b (0)	GM
		1.10	Roca meteorizada de textura areno limosa, color café alta consistencia	12.0%		13.6%	66.8%						A-1b (0)

Tabla 3: Resumen de ensayos.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

Para el proyecto se tienen en cuenta 2 alternativas de tránsito que consisten en:

Tránsito básico de la urbanización: 170.861 ejes equivalentes que considera con amplia seguridad al que genera el nuevo complejo residencial.

Tráfico alto: 500.000 ejes equivalentes. Considera el tráfico adicional de vehículos de etapas futuras o nuevas urbanizaciones con su tráfico de construcción.

- Implementar requerimientos y especificaciones según normativa.

A partir de los alineamientos estipulados por el AASHTO se define el espesor del pavimento a partir de la ecuación 1 definida en la metodología para estructuras flexibles.

Los espesores de cada capa que conforma la selección estructural del pavimento son quienes soportan las cargas transmitidas, por lo tanto, se tiene en cuenta las cargas necesarias a soportar y los parámetros propios del sector a diseñar como base de diseño definidos y se resumen en las Tablas 4-7:



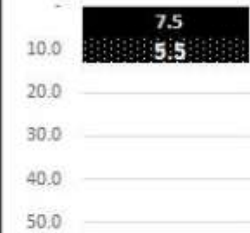
VARIABLE	PARÁMETROS		
Proyecto	Pavimento vía de acceso Belo Horizonte apartamentos		
Carácter de vía	2	2	2
	ALT 1	ALT 2	ALT 3
Ejes	170,861	170,861	170,861
R	80	80	80
So	0.450	0.450	0.450
P.I	4.2	4.2	4.2
P.T	2.0	2.0	2.0
MR	12,042	12,042	12,042
Tipo Estructura	MDC -19	MDC -18	MDC -19
	BG - 1	BG - 1	SC
	SBG		
SN 1 REQUERIDO	1.407	1.083	1.977
SN 2 REQUERIDO	1.977	1.770	1.977
SN 3 REQUERIDO	1.977	1.977	1.977
SN 1 OFRECIDO	1.152	1.152	1.152
SN 2 OFRECIDO	1.981	1.152	1.996
SN 3 OFRECIDO	1.981	2.002	1.996
CARPETA ASFALTICA RODADURA MDC-19			
a1	0.39	0.39	0.39
D1 (Pulq)	2.95	2.95	2.95
D1 (Cm)	7.5	7.5	7.5
CARPETA ASFALTICA RODADURA MDC-25			
a1			0.39
D1 (Pulq)			2.17
D1 (Cm)			5.5
BASE GRANULAR BG-1			
a2	0.13	0.13	0.13
m2	0.90	0.90	0.90
D2 (Pulq)	7.09	-	-
D2 (Cm)	18.0		
SUELO CEMENTO			
a3	0.11	0.16	0.16
m3	0.90	0.90	0.90
D3 (Pulq)	-	5.91	-
D3 (Cm)		15	
ESTRUCTURA			
	10.0	10.0	10.0
	20.0	20.0	20.0
	30.0	30.0	30.0
	40.0	40.0	40.0
50.0	50.0	50.0	

Tabla 4: Estructuras para el tráfico básico.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

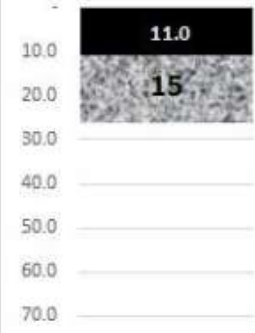


VARIABLE	PARÁMETROS		
Proyecto	Pavimento vía de acceso Belo Horizonte apartamentos		
Carácter de vía	1	1	1
	ALT 1	ALT 2	ALT 3
Ejes	500,000	500,000	500,000
R	80	80	80
So	0.450	0.450	0.450
P.I	4.2	4.2	4.2
P.T	2.0	2.0	2.0
MR	12,042	12,042	12,042
Tipo Estructura	MDC -19	MDC -18	MDC -19
	BG - 1	BG - 1	SC
	SBG		
SN 1 REQUERIDO	1.704	2.352	2.351
SN 2 REQUERIDO	2.351	2.351	2.351
SN 3 REQUERIDO	2.351	2.351	2.351
SN 1 OFRECIDO	1.689	1.689	1.152
SN 2 OFRECIDO	2.380	1.689	2.380
SN 3 OFRECIDO	2.380	2.369	2.380
CARPETA ASFALTICA RODADURA MDC-19			
a1	0.39	0.39	0.39
D1 (Pulg)	4.33	4.33	2.95
D1 (Cm)	11.0	11.0	7.5
CARPETA ASFALTICA RODADURA MDC-25			
a1			0.39
D1 (Pulg)			3.15
D1 (Cm)			8.0
BASE GRANULAR BG-1			
a2	0.13	0.13	0.13
m2	0.90	0.90	0.90
D2 (Pulg)	5.91	-	-
D2 (Cm)	15.0		
SUELO CEMENTO			
a3	0.11	0.16	0.16
m3	0.90	0.90	0.90
D3 (Pulg)	-	4.72	-
D3 (Cm)		12	
ESTRUCTURA			
	10.0	10.0	10.0
	20.0	20.0	20.0
	30.0	30.0	30.0
	40.0	40.0	40.0
	50.0	50.0	50.0
	60.0	60.0	60.0
	70.0	70.0	70.0

Tabla 5: Estructuras para el tráfico alto.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.



Tabla 6: Estructuras recomendadas tráfico básico.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.



Tabla 7: Estructuras recomendadas tráfico alto.

Nota. Fuente: Diseño de pavimento vía interna Belo Horizonte. Soltec ing & Soluciones civiles 2023.

- Identificación de las condiciones específicas del tramo a pavimentar:

Luego de realizar un recorrido dirigido por la directora de obra del proyecto, se identifica de manera específica el tramo a pavimentar y las condiciones actuales del terreno, se reconoce la zona donde iniciaría el pavimento, y se evidencia las condiciones de terreno dadas en el estudio de suelo. A continuación, se presentan las figuras 8 y 9, alusivas a las condiciones del terreno.



Figura 8: *Terreno inicial primer tramo a pavimentar.*

Nota. Fuente: Propia 2023.



Figura 9: *Terreno inicial punto más alto tramo a pavimentar.*

Nota. Fuente: Propia 2023.

Además de consultar con los vecinos sobre la distribución de redes en el terreno y la profundidad a la cual se encontraban. Se analiza el futuro ingreso al proyecto por la torre de parqueaderos definido por el plano arquitectónico y el fin del pavimento estipulado por gerencia.

Durante el recorrido se evidencia alto tráfico de carros de carga pesada ya que hay un lavadero el cual su ruta de ingreso es por el tramo de vía a pavimentar, razón por la cual se toma como diseño del pavimento la alternativa 1 de diseño de pavimento de vía externa de alto tráfico (ver tabla 7). La cual indica una capa de 15cm de base granular compactada al 100% y una carpeta asfáltica MDC19 de 11cm de espesor.

- Diseñar los alineamientos horizontales y verticales del tramo de vía.

Una vez se determina el diseño del pavimento se realizó levantamiento topográfico con el fin de generar las pendientes necesarias y suficientes para el manejo de aguas lluvias por escorrentía sobre la carpeta asfáltica. Se generan los alineamientos horizontales y verticales del tramo de vía teniendo en cuenta las características de esta y sus limitantes, como lo son la gran arborización con la que cuenta el terreno, las cotas de las viviendas existentes y las necesidades del proyecto.

Por ende, los alineamientos horizontales y verticales diseñados y aprobados en comité de obra por supervisión técnica, interventoría y dirección de obra son los mostrados a continuación de las figuras 10 a la 13:

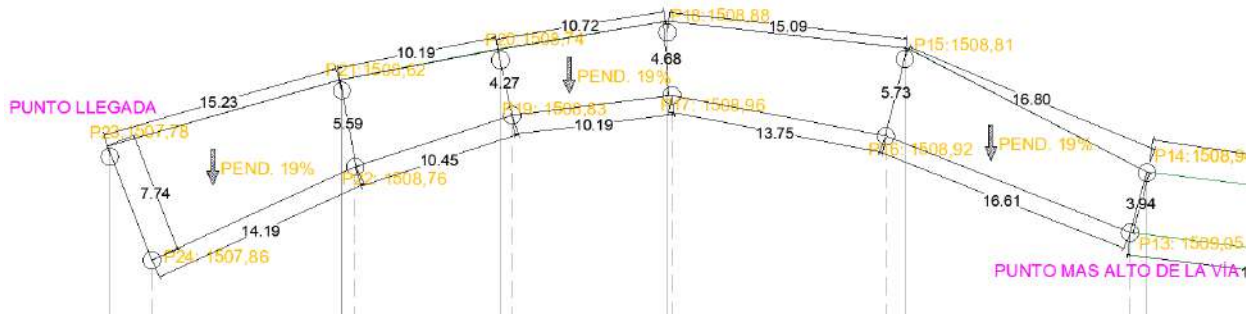


Figura 10: Alineamiento horizontal primer tramo.

Nota. Fuente: Propia 2023.

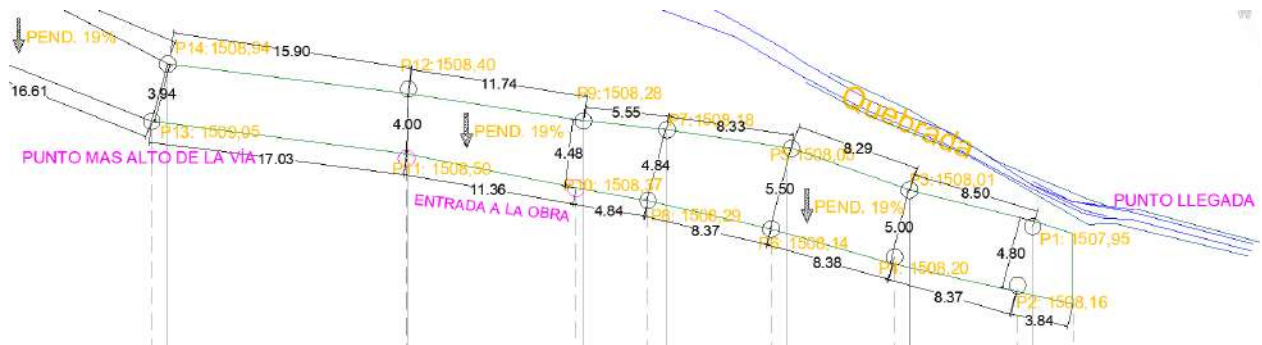


Figura 11: Alineamiento horizontal segundo tramo.

Nota. Fuente: Propia 2023.

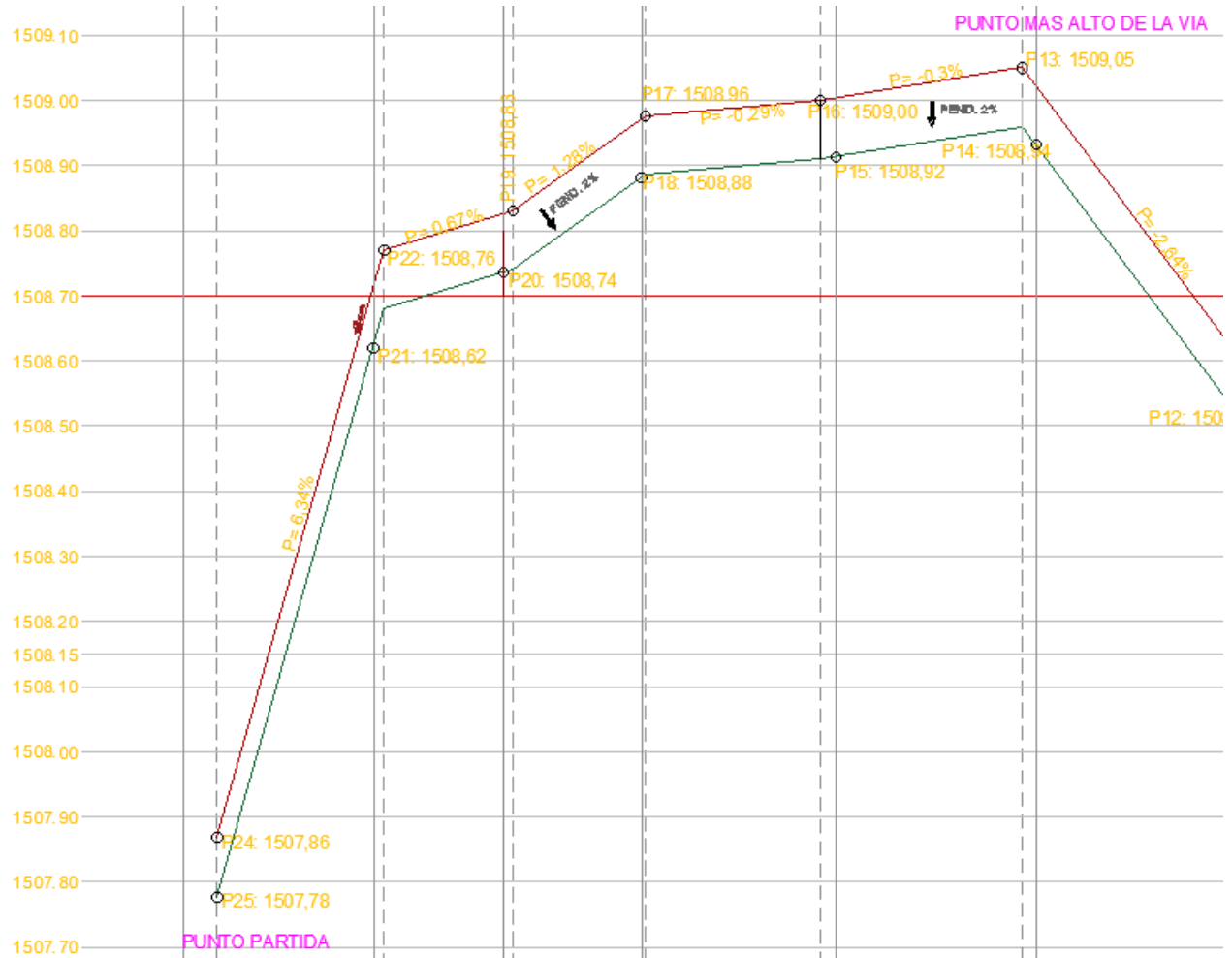


Figura 12: Alineamiento vertical primer tramo.

Nota. Fuente: Propia 2023.

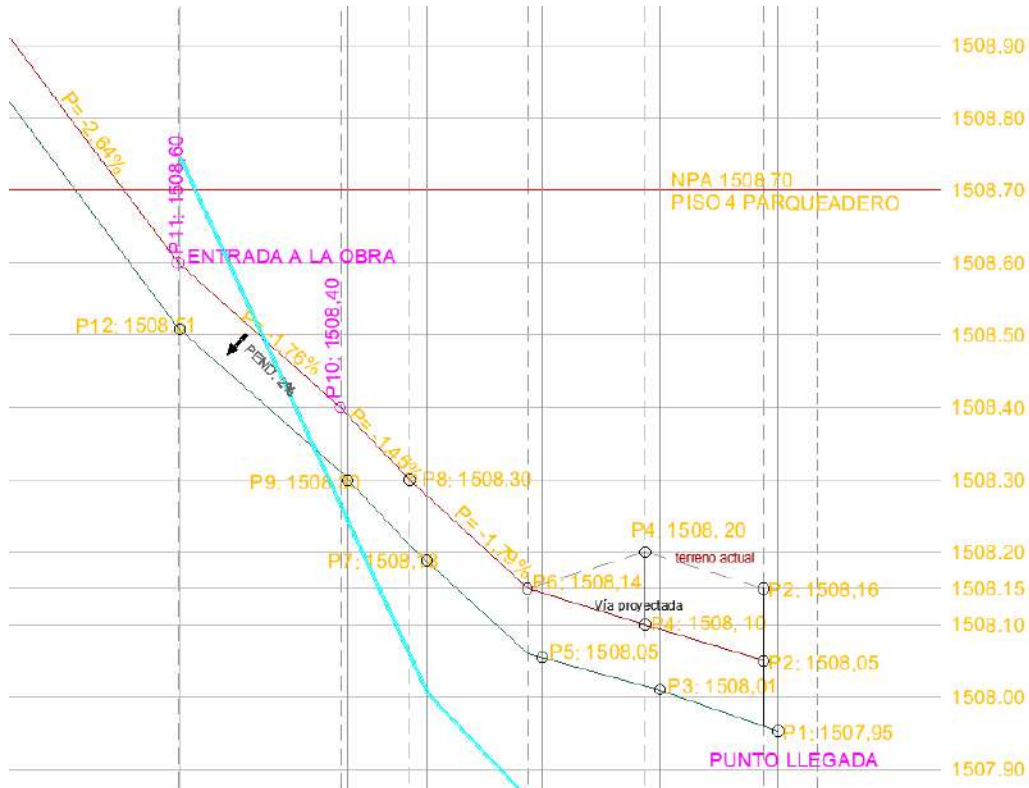


Figura 13: Alineamiento vertical segundo tramo.

Nota. Fuente: Propia 2023.

- Estimar los posibles lugares de almacenamiento de aguas fluviales.

Tal como se menciona en la metodología del presente trabajo, el agua que cae se puede causar y depositar a través de los drenajes pluviales para luego llegar a las quebradas, arroyos, ríos y lagos. Para este tramo de vía se determinó que el manejo de las aguas lluvias será sobre la carpeta asfáltica se encausará en dos direcciones, con el fin de que el primer tramo que consta del inicio de la vía hasta el punto más alto de la misma (tal como se muestra en la figura 6 y 8) será depositado en los sumideros existentes de la calle 59D del barrio la primavera. En cuanto al segundo tramo que inicia en el punto más alto de la vía hasta el punto final tal como se muestra en la figura 7 y 9, se verterá en la quebrada adyacente al punto de llegada de la vía.

Por último, se procede a programar la construcción de la vía, la cual, luego de una visita técnica por parte del contratista que ejecutará el pavimento y todas las actividades previas a la instalación de la carpeta asfáltica. Se determinó que, para evitar altos porcentajes de desperdicio y tener mayor control sobre los niveles que se debían manejar a lo largo de la vía se instalarán

cordones en ambos costados de la vía como se muestra en la figura 14 y 15 Instalación de cordonería tramo final vía a pavimentar:



Figura 14: *Instalación de cordonería tramo final vía a pavimentar.*

Nota. Fuente: Propia 2023.



Figura 15: *Vista superior de la vía con cordones instalados.*

Nota. Fuente: Propia 2023.

Una vez instalado los cordones se continua con el cajeo y nivelación del terreno para instalar la capa de 15 centímetros de base como determina el diseño de pavimento. Estas tres actividades se realizan simultáneamente, Una volqueta llega cargada de base granular, la distribuye a lo largo de la vía, y una vez termina de descargar la pajarita la carga con el material del cajeo como se muestra en la figura 16 cajeo, nivelación e instalación de base granular.



Figura 16: *Cajeo, nivelación e instalación de base granular.*

Nota. Fuente: Propia 2023.

Luego de instalar la base granular se procede a nivelar el terreno teniendo en cuenta los alineamientos verticales determinados (ver figura 10 y 11), en la figura 17 base granular instalada y nivelada. Se evidencia el estado final de la nivelación.



Figura 17: *Base granular instalada y nivelada.*

Nota. Fuente: Propia 2023.

Posteriormente, se rectificaron los niveles previamente establecidos para continuar con la colocación del asfalto y finalizar la construcción de la vía con pruebas que demuestren que el agua no se estancará, las cuales tuvieron una buena respuesta dadas las pendientes determinadas como se evidencia en la figura 18 instalación, compactación y nivelación de carpeta asfáltica además de la figura 19 evidencia de agua fluyendo en dirección de las pendientes diseñadas.



Figura 18: *Instalación, compactación y nivelación de carpeta asfáltica.*

Nota. Fuente: Propia 2023.



Figura 19: Evidencia de agua fluyendo en dirección de las pendientes diseñadas.

Nota. Fuente: Propia 2023.



Figura 20: *Estado final de la vía pavimentada.*

Nota. Fuente: Propia 2023.

5. Análisis.

Para el diseño y ejecución del tramo de vía que da ingreso al proyecto Belo Horizonte se pudo evidenciar desde los estudios preliminares que, este, cuenta con varios limitantes al momento de diseñar y establecer los parámetros constructivos a partir del levantamiento topográfico realizado en campo, ya que no solo cuenta con viviendas construidas a los lados las cuales restringen los alineamientos horizontal y vertical, además cuenta con gran arborización al costado de vía como se puede evidenciar en la figura 8.

De los estudios preliminares también se puede observar que el tramo a pavimentar cuenta con un lleno bastante compacto con un buen porcentaje de CBR dado el alto tráfico de vehículos de carga pesada los cuales se dirigen hacia el lavadero que tiene ingreso por la vía a pavimentar. Al contar con un terreno tan compacto y con una carga portante alta, reduce la necesidad de generar grandes volúmenes de material de remplazo como se muestra en la tabla 7.

Dadas las características del terreno se pudo emplear una estrategia para dar manejo a la problemática del drenaje de las aguas lluvias en este tramo, las cuales se generaron pendientes suficientes para dirigir las hasta los lugares en las cuales se podían depositar, tales como el sumidero ubicado en la calle 59D antes mencionado y el canal que se tiene para drenar el agua que descende por recarga superficial, la cual se puede observar en la figura 10 con el nombre de “quebrada”.

Durante el proceso constructivo del pavimento, no se tuvo mayor inconveniente exceptuando el manejo de las tuberías superficiales que se tenían en ciertos tramos identificados previamente con ayuda de la comunidad y de apiques generados cuidadosamente para evitar daño en la tubería, este proceso de identificación facilitó y agilizó el proceso de excavación ya que se pudo excavar con toda confianza.

Para finalizar, al momento del curado de la mezcla, la comunidad fue cuidadosa con el uso de la vía, respetando los tiempos dados por el contratista encargado de la pavimentación del tramo de vía y encargándose de no permitir el ingreso de carros pesados durante la misma.

6. Conclusiones.

A partir del proyecto del diseño del tramo de vía en pavimento flexible considerando el manejo de aguas lluvias sobre la carpeta asfáltica, teniendo en cuenta el objetivo general del proyecto, se puede comprobar lo siguiente:

Teniendo en cuenta que el objetivo general es diseñar tramo de vía en pavimento flexible considerando el manejo de aguas lluvias sobre la carpeta asfáltica, se puede decir que se cumplió a cabalidad todo lo propuesto, dado que se logró el diseño del tramo de vía en pavimento flexible teniendo en cuenta cada una de las características del tramo a pavimentar mencionadas anteriormente. Las cuales resultaron de los apiques generados y estudiados para el diseño del pavimento, además de los hallazgos señalados en el levantamiento topográfico y cumpliendo con lo estipulado por la normal AASHTO.

Adicionalmente, se cumplió con el manejo de aguas lluvias diseñadas con las pendientes necesarias para cumplir con el manejo de aguas sobre la carpeta asfáltica, generando un tipo de cuneta en forma de V entre el pavimento y el cordón instalado, generando dos pendientes, la primera de forma que conduzca el agua hacia el cordón de forma transversal a la vía y la segunda que permita que el agua corra de forma longitudinal a lo largo del tramo pavimentado hasta su lugar de depósito mencionado en el desarrollo del documento.

Referencias

AASHTO (1993) Guide for design pavement Structures. Washington D.C

INVIAS (2009) Manual de drenaje para carreteras

INVIAS (2012) E-330 Base Granular 2012.

INVIAS (2012) Normas y especificaciones. Capítulo 4

Anexos