

**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL  
CORREDOR VIAL SAN JUAN- PULI, DESDE EL PR 9+000 AL PR 10+000 INSPECCION  
SAN NICOLÁS.**

**ING. NARDA VIVIANA LANCHEROS RAMÍREZ**

**CÓDIGO: 6100421**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA – DIRECCIÓN DE POSGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**2022**

**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL  
CORREDOR VIAL SAN JUAN- PULI, DESDE EL PR 9+000 AL PR 10+000 INSPECCION  
SAN NICOLÁS.**

**I.C. NARDA VIVIANA LANCHEROS RAMÍREZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**

**ING. FELIPE RIAÑO**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA – DIRECCIÓN DE POSGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**2022**

**NOTAS DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DIRECTOR**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**JURADO**

## **DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTO**

Primero quiero darle agradecimiento a Dios por darme la sabiduría para terminar mis estudios con éxito, segundo al ingeniero Felipe Riaño y Carlos Gonzales por el seguimiento y apoyo en la ejecución de mi proyecto de grado. Igualmente quiero agradecerles a mis padres Capitolino Lancheros y Argenis Ramírez por el apoyo que me dieron moralmente como económicamente, a mi pareja Duván Andrés Bonilla por estar siempre presente en cada una de mis materias y apoyarme con sus conocimientos en este trabajo.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito realizar el diseño de una estructura de pavimento flexible por medio de la metodología AASHTO-93 para el corredor vial que comunica al Municipio de San Juan de Rioseco con el Municipio de Pulí, específicamente desde el Pr 9+000 a 10+000 de la Inspección de San Nicolás; con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que viven alrededor.

De acuerdo con la investigación realizada se identifica que el CBR es menor que 4% en algunos tramos, donde se va a realizar un mejoramiento con rajón de 43cm, igualmente se van a ejecutar obras de drenaje cunetas y filtro de 1.20mx 0.60m alrededor del talud para recoger el agua superficial para evitar que el nivel freático arrastre todo el material fino de la estructura de pavimento.

Este proyecto se describe a partir de un capítulo preliminar, seguidamente se detalla la estructura del pavimento, las obras de arte y la señalización, destacando que se ha considerado que su ejecución tomara 10 meses y un costo \$2,170,096,767.60.

**Palabras clave:** Ingeniería de pavimento; pavimento flexible; CBR, drenaje, base, subbase, tránsito y módulo resiliente.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to carry out the design of a flexible pavement structure through the AASHTO-93 methodology for the road corridor that connects the Municipality of San Juan de Rioseco with the Municipality of Puli, specifically from Pr 9+000 to 10+000 from the San Nicolas Inspection; in order to improve the quality of life of the people who live around.

According to the investigation carried out, it is identified that the CBR is less than 4% in some sections, where an improvement with a 43cm rajón will be carried out, as well as drainage works, ditches and a 1.20mx 0.60m filter around the slope to collect surface water to prevent the water table from dragging all the fine material from the pavement structure.

This project is described from a preliminary chapter, then the pavement structure, works of art and signage are detailed, highlighting that it has been considered that its execution will take 10 months and a cost of \$2,170,096,767.60.

**Keywords:** Pavement engineering; flexible pavement; CBR, drainage, base, subbase, traffic and resilient module.

# Índice de Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>PLANTEAMIENTO PROBLEMA</b> .....	12
<b>OBJETIVOS</b> .....	13
<b>Objetivo General</b> .....	13
<b>Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TRABAJO</b> .....	14
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	15
<b>Estructura de Pavimento</b> .....	15
<b>Pavimento Flexible</b> .....	15
<b>Obras de Drenaje</b> .....	15
<b>Tránsito</b> .....	16
<b>Método de Diseño de Pavimento (AASHTO-93)</b> .....	17
<b>METODOLOGÍA</b> .....	19
<b>DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO</b> .....	22
<b>Localización</b> .....	22
<b>Visita de campo</b> .....	24
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	26
<b>Estudio Geotécnico</b> .....	26
<b>Estudio Hidrológico</b> .....	29
Delimitación de la Cuenca .....	32
<b>Tiempos de Concentración (Tc)</b> .....	34
<b>Alcantarillas, cunetas y drenajes</b> .....	35
<b>Cuneta de vía</b> .....	37
<b>Drenajes</b> .....	39
<b>Estudio de Tránsito</b> .....	41
<b>Diseño de pavimento flexible método AASHTO -93</b> .....	43
- <b>Confiability(R):</b> .....	43
- <b>Error estándar (So):</b> .....	43
- <b>Serviciabilidad:</b> .....	44

- Módulo resiliente de la subrasante:.....	44
- Coeficientes de aportes (a):.....	44
- Coeficientes de drenaje (m): Este parámetro tiene en cuenta el clima donde se ubica el proyecto y donde se observó un suelo húmedo y clima templado, para el caso de las capas de la estructura de pavimento se tienen los siguientes coeficientes de drenajes; Carpeta asfáltica tiene un coeficiente de 1, ya que la capa es impermeable y las otras capas granulares base y subbase tienen un coeficiente de 0.9 porque son permeables.....	44
- Módulo Resiliente (Mr): .....	45
<b>Cronograma</b> .....	51
<b>Infraworks</b> .....	52
<b>CONCLUSIONES</b> .....	53
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	54
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	55

## Índice de Figuras

Figura 1. Carga Máxima Legales por Eje (Invias, 2004).....	17
Figura 2. Metodología del Trabajo de Grado.....	19
Figura 3. Localización del Municipio .....	22
Figura 4. Localización del Punto de Estudio.....	23
Figura 5. Registro Fotográfico Afectaciones Actuales.....	26
Figura 6. Determinación del CBR de Diseño .....	28
Figura 7. Histograma de Precipitación Máxima en promedio (1975-2012).....	31
Figura 8. Rango de Precipitación .....	31
Figura 9. Delimitación de la Cuenca.....	32
Figura 10. Pendientes del terreno. ....	33
Figura 11. Modelo Ráster.....	33
Figura 12. Detalle de la cuneta .....	38
Figura 13. Detalle de las variables de la cuneta.....	39
Figura 14. Detalle del filtro. ....	41
Figura 15. Detalle del cálculo estructural y espesores.....	46
Figura 16. Detalle de la estructura de pavimento. ....	49
Figura 17. Cronograma de Ejecución .....	51
Figura 18. Render .....	52



## Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados de la estructura de pavimento por diferentes métodos. ....	20
Tabla 2. Alternativas de solución de la estructura de pavimento. ....	21
Tabla 3. Estructura Económica y de Propiedad de la Tierra Rural de Cundinamarca.....	24
Tabla 4. Datos obtenidos por Estudios Realizados .....	27
Tabla 5. Valor de CBR.....	27
Tabla 6. Valores de CBR Metodología AASHTO .....	28
Tabla 7. Valores de CBR .....	28
Tabla 8. Valores Iniciales.....	29
Tabla 9. Valores de Mejoramiento de Rajón .....	29
Tabla 10. Valores Mensuales Máximos de Precipitación (mm).....	30
Tabla 11. Dimensiones de la Cuenca y Subcuenca .....	34
Tabla 12. Datos de caudal máximo y año de retorno. ....	35
Tabla 13. Cálculo del caudal.....	36
Tabla 14. Datos iniciales para el cálculo de dimensiones de la alcantarilla.....	37
Tabla 15. Dimensiones de la alcantarilla y velocidad del flujo. ....	37
Tabla 16. Dimensiones de la cuneta. ....	39
Tabla 17. Cálculo del caudal de la cuneta. ....	39
Tabla 18. Ensayos de la piedra filtro. ....	40
Tabla 19. Aforo Vehicular.....	41
Tabla 20. Composición y Distribución de Vehículos. ....	42
Tabla 21. Cálculo Factor de Daño. ....	42
Tabla 22. Datos Iniciales.....	43
Tabla 23. Tránsito Equivalente Total Acumulado .....	43
Tabla 24. Coeficiente de Drenaje.....	45
Tabla 25. Valor del Módulo Resiliente .....	45
Tabla 26. Valores de Diseño por medio del Método AASHTO-93.....	45
Tabla 27. Resumen de Espesores.....	48
Tabla 28. Espesores Calculados .....	48
Tabla 29. Espesores Balanceados .....	49
Tabla 30. Chequeo Estructural.....	49
Tabla 31. Presupuesto del proyecto. ....	50

## INTRODUCCIÓN

El deterioro de la infraestructura vial, en lo que tiene que ver con las vías de segundo orden a nivel municipal y departamental, resulta ser uno de los problemas que se presentan en nuestro medio y con mayor frecuencia, causados ante la ausencia de una adecuada política de asignación y disponibilidad presupuestal, orientada a la construcción de nuevas obras, así como también, para el mantenimiento rutinario del corredor vial, originando que al momento de necesitarse la intervención de cualquier tipo de obra civil, ellas exigen mayores inversiones, dados sus costos, así como mayores riesgos y tiempo de ejecución, teniendo en cuenta la necesidad de un mayor esfuerzo técnico al momento de realizar la obra, caso de las reparaciones por desgaste, los daños estructurales o del mejoramiento en la subrasante.

La vía secundaria que comunica al municipio de San Juan de Rioseco con Puli, cuenta con una extensión de 26 km, de los cuales, 16 km se encuentran con una estructura de pavimento flexible y los 10 km restantes con una vía tipo terciaria. Debido a que no cuentan con una estructura de pavimento, ni mantenimiento rutinario, la inspección de San Nicolas y 5 veredas más del municipio de San Juan de Rioseco, se encuentran directamente afectadas por problemas originados en el deterioro de la capa de rodadura. Esta es una vía principal utilizada para transporte de personas, animales y alimentos, que no presenta condiciones adecuadas para atender la movilidad de sus habitantes, como una situación que afecta la economía de dichos municipios, además, altos costos en el mantenimiento de vehículos (particulares y públicos), aumento del tiempo de desplazamiento, costos del pasaje y acceso digno a servicios médicos y de educación.

En cuanto al deterioro que presenta la malla se observan problemas relacionados con el material de afirmado que es arrastrado por la escorrentía en tiempos de lluvia, presencia de baches, hundimiento y deterioro de la capa de rodadura, al no contar con obras de drenaje, adicionalmente,

es esta zona se encuentran suelos arcillosos con alta plasticidad, lo cual hace que se presenten mayores deformaciones y un bajo nivel de CBR % (módulo de resiliencia).

El presente documento se determina la adecuada solución a este problema que se está presentando es hacer el mejoramiento de la subrasante por medio del método Ivanov y el diseño de la estructura de pavimento por el método AASHTO 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials), y sistemas de drenaje en la red vial del corredor San Juan – Puli desde el PR 9+000 al PR 10+000. De esta manera, se hace una evaluación de las características de los materiales de la subrasante, que se presentan en el área de estudio, así como un análisis del nivel del tránsito y de los costos del proyecto.

## **PLANTEAMIENTO PROBLEMA**

El deterioro progresivo de la carpeta de rodadura en el corredor vial San Juan – Pulí, se presenta como consecuencia del desprendimiento del material de afirmado, factor que aunado a las fuertes lluvias que presentan en la zona han generado baches, hundimientos y ahuellamientos. Adicionalmente, en esta zona, se encuentran suelos arcillosos con alta plasticidad, implicando se presenten mayores deformaciones y con un CBR % menor a 4, situación que en últimas, dificulta el tránsito de vehículos de carga, automóviles y motocicletas, trayendo consigo el aumento del tiempo de desplazamiento y afectaciones a la economía, caso de los daños de los productos agrícolas y los altos costos del transporte; sin dejar de considerar las dificultades de acceso a los servicios de educación y salud que enfrentan los pobladores de la zona.

En consideración a la situación expuesta, el presente proyecto se propone determinar ¿Cómo diseñar la estructura de pavimento flexible para el corredor vía San Juan – Puli desde el PR 9+000 al PR 10+000 Inspección San Nicolás?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de la metodología AASHTO-93 para el mejoramiento de la red vial del corredor San Juan – Puli desde el PR 9+000 al PR 10+000.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión del estado del conocimiento de los diseños de pavimento flexible en Cundinamarca.
- Identificar las características geomorfológicas de la zona de estudio.
- Evaluar el nivel de tránsito que se presenta en el tramo a intervenir.
- Identificar la alternativa de estructura de pavimento y sistema de drenaje.
- Realizar un presupuesto y cronograma de la ejecución del tramo intervenido.

## **JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TRABAJO**

El daño que se presenta en el corredor vial San Juan – Puli, ha tenido origen, entre otros factores, por las fuertes lluvias que se registran en el sector, sumado al hecho de corresponder a una vía terciaria, en donde el afirmado se va desagregando de las partículas finas de las gruesas, generando ahuellamiento y baches, ocasionando problemas de movilidad, caso del incremento de viajes, la misma seguridad vial, como también las afectaciones a la economía y condiciones sociales de los pobladores de la zona.

Situación que hace necesario encontrar una alternativa para la solución a la problemática de la red vial y su adecuación, de manera que se atiendan las necesidades de transporte, acorde con la oferta y características de los vehículos que transitan habitualmente en la zona, de manera que se puedan mejorar las condiciones de movilidad, gracias a un mejoramiento de la infraestructura actual. Mejorando los servicios de movilidad.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se propone el diseño de la estructura de pavimento flexible en el corredor vial San Juan – Puli desde el PR 9+000 al PR 10+000, teniendo en cuenta el tránsito y la subrasante existente, lo cual va a generar impactos significativos en asuntos como la disminución en los tiempos de desplazamiento y en los gastos de mantenimiento de vehículos, así como un mejoramiento de la economía y condiciones sociales de los habitantes de los dos municipios acá propuestos.

## **MARCO TEÓRICO**

El presente trabajo tiene como propósito realizar el diseño de una estructura de pavimento flexible en el corredor vial San Juan- Puli, desde el PR 9+000 al PR 10+000 Inspección San Nicolás por el Método de la AASHTO-93. Es importante poner en evidencia las definiciones, conceptos y teorías, esto con el fin de centralizar en que línea de proyectos se va a enfocar en el presente trabajo de grado.

### **Estructura de Pavimento**

Una estructura de pavimento se puede definir como el conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas funciones principales son la apropiación de una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados resistente a la acción del tránsito, así como la transmisión adecuada de los esfuerzos a las terracerías producidos por el tránsito (Rico Rodriguez , 2005, pág. 99)

### **Pavimento Flexible**

Según (Asopac, 2004, pág. 6) son los construidos con capas de mezcla asfáltica, en donde la superficie se apoya sobre una o más capas ayudando a soportar las cargas. Estas proporcionan una superficie de rodadura muy confortable para el usuario de la vía.

### **Obras de Drenaje**

Una obra de Drenajes es un mecanismo el cual está diseñado para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la vía y restituir la red de drenaje natural, de esta manera se describen los diferentes tipos de sistemas de drenaje que se utilizan y su respectiva variable de diseño:

- Bombeo: Es la pendiente transversal en las entretangencias horizontales de una vía, la cual es planteada durante la etapa del diseño geométrico para direccionar las aguas de las escorrentías superficiales.

M: porcentaje de bombeo crítico Invias  $m = V/H$  “ $2 < m \leq 4\%$  bombeo”

- Peralte: Se caracteriza por ser una inclinación dada al perfil transversal de una carretera, esta es definida durante la etapa del diseño geométrico durante las curvas horizontales para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento.

E: % de peralte Crítico Invias  $e = V/H$  “ $e \leq 8\%$  en peraltes de vías principales y secundarias  $e \leq 6\%$  en vías terciarias”

- Cunetas: se caracterizan como zanjas, con o sin revestimiento, las cuales son construidas en paralelo a las bermas y están diseñadas para facilitar el drenaje superficial longitudinal en un corredor vial, su geometría varía según las condiciones de la vía y el área de drenaje (INVIAS, 2008 )

## **Tránsito**

Según el Instituto Nacional de Vías, 176117 el tránsito es la variable que de manera directa influye en el diseño de pavimento, por esta razón hay que hacer un estudio de volúmenes de tránsito para conocer la composición de los diferentes tipos de vehículos que atraviesan el corredor vial, midiéndose en términos de porcentaje sobre el volumen total según lo estipula la normativa (Instituto Nacional de VÍAS , 2007).

- Tipos de Vehículos: Teniendo en cuenta la gran variedad de vehículos que circulan en el país, se implementó una clasificación en donde reúne datos de pesos y dimensiones. Para el caso de Colombia, el Invias según la resolución 4100 del 28 de diciembre del 2004 del ministerio



de Transporte, ha adoptado una designación del tránsito que circula en el país de la siguiente manera:










Categoría	Tipo			Peso Bruto Máximo (t)	Eje Direccional	Eje del Tracto Camión	Eje del Remolque
C2P	C2P	Camión 2 Ejes Pequeño		8.45	I 2.45	I 6	-
C2G	C2G	Camión 2 Ejes Grande		16	I 6	I 11	-
C3	C3	Camión		28	I 6	II 22	-
	C2-S1	Tractor – Camión		27	I 6	I 11	I 11
C4	C4	Camión		36	II 11	II 22	-
	C2-S2	Tractor – Camión		32	I 6	I 11	II 22
	C3-S1	Tractor – Camión		29	I 6	II 22	I 11
C5	C3-S2	Tractor – Camión		48	I 6	II 22	II 22
> C5	C3-S3	Tractor – Camión		52	I 6	II 22	III 24

Figura 1. Carga Máxima Legales por Eje (Invias, 2004)

### Método de Diseño de Pavimento (AASHTO-93)

Fue desarrollada en los Estados Unidos para las décadas de los 60, basándose en un ensayo a escala real con una duración de 2 años en el estado de Illinois. El método AASHTO de 1993 para el diseño de estructuras de pavimento flexible, se basa primordialmente en la identificación de un “número estructural (SN)” para el pavimento, el cual hace referencia a la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de soporte del suelo ( $M_r$ ), tránsito total ( $W_{18}$ ), de la sensibilidad terminal y de las condiciones ambientales. Para dar visualización a como se determinar el número estructural (SN), el método se apoya de la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_r * S_0 + 9.36 \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \left( \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \right)} + 2.32 \text{Log} Mr - 8.07$$

En donde las variables se identifican de la siguiente manera:

- $W_{18}$ : número de aplicaciones de ejes simples equivalentes de (80 kN) hasta el tiempo t en el cual se alcanza  $ISP = pt$
- SN: número estructural
- $\Delta PSI$ : diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal
- MR: módulo resiliente de la subrasante (libras/pg<sup>2</sup>)
- $S_0$ : desviación estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento (0.44-0.49)
- ZR: parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que considera la probabilidad de que el índice de servicio del pavimento sea superior a pt durante el periodo de diseño.

Después de determinar el número estructural (SN), se procede a buscar un conjunto de espesores que combinen adecuadamente y teniendo en cuenta los parámetros (coeficiente estructural y drenaje), los cuales garanticen un número estructural (SN) mayor o igual al requerido para soportar las cargas de tránsito esperadas en el periodo de diseño. Para identificar el número estructural efectivo, se determina mediante la siguiente ecuación:

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

En donde las variables se identifican de la siguiente manera:

- a1, a2, a3: Coeficientes estructurales de la capa asfáltica, base granular y subbase granular (in)
- D1, D2, D3: espesores de la capa asfáltica, base granular y subbase granular (in)
- m2, m3: Coeficiente de drenaje para base granular y subbase granular

## METODOLOGÍA

A continuación, se presenta una descripción de la metodología utilizada en el presente trabajo de grado.

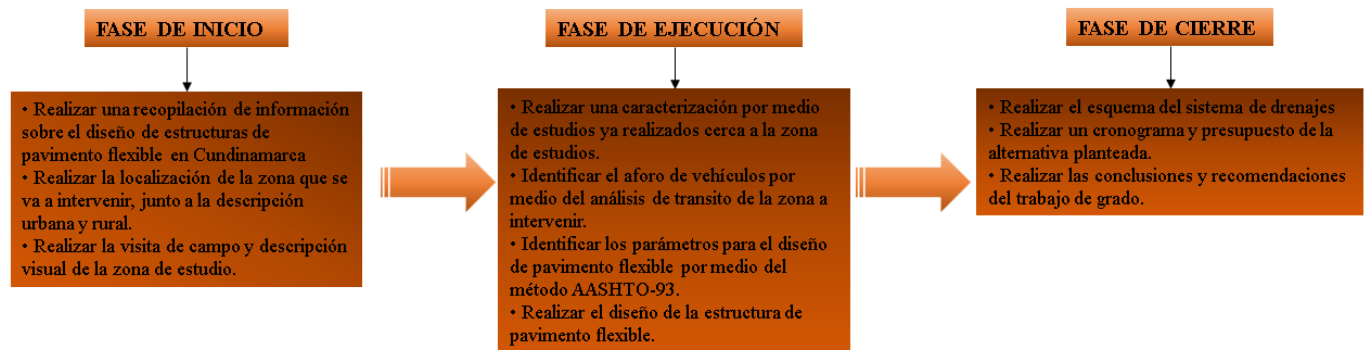


Figura 2. Metodología del Trabajo de Grado

De acuerdo con lo anterior, se realizó una investigación primaria y secundaria con documentos de proyectos de grado relacionados al diseño de una estructura de pavimento, para poder desarrollar la estructura de pavimento flexible en el corredor vial San Juan- Puli, desde el PR 9+000 al PR 10+000 Inspección San Nicolás, por medio de los datos geotécnicos obtenidos en los ensayos de laboratorios, el análisis del nivel de tránsito, realizar el esquema del sistema de drenaje y la determinación de los espesores de los diseños basados en los procedimientos establecidos según el documento de la guía de la AASHTO-93, además, se acompaña esta propuesta técnica con un presupuesto y cronograma que permite conocer el tiempo de ejecución y el respectivo costo del proyecto.

## ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El estado del conocimiento permite contar con una visión de los proyectos que se han realizado gracias al diseño de estructuras de pavimento flexible en el municipio de Cundinamarca, mediante la consulta de diferentes repositorios universitarios, revisión que permitió identificar diferentes trabajos, como son:

- Diseño de la estructura de pavimento en concreto asfáltico de la vía Tabio – Subachoque en el Departamento de Cundinamarca. Universidad Católica de Colombia, 2012.

En este trabajo se propuso presentar la alternativa más viable, desde un punto de vista técnico y económico, buscando el diseño de una estructura de pavimento de 4.5 km, la cual satisfaga las necesidades del municipio de Subachoque y Tabio en el departamento de Cundinamarca.

En cuanto a la metodología utilizada en este trabajo, ella está orientada a lograr una caracterización geotécnica, el análisis de las condiciones climáticas y del aforo de tránsito. Para ello, se hace uso del diseño propuesto por INVIAS, AASHTO-93, SHELL, Instituto del Asfalto y el método racional para pavimentos (Jiménez Guzmán & Gómez García, 2013). Los resultados obtenidos permiten identificar diversas variables y características que se resumen así:

Método INVIAS	Método AASHTO-93	Método SHELL
MDC-2: 10CM	MDC-2: 16CM	MDC-2: 11CM
BG-2: 30CM	BG-2: 16CM	BG-2: 17CM
SBG-1: 45CM	SGB- 1:20CM	SBG-1: 33CM

*Tabla 1. Resultados de la estructura de pavimento por diferentes métodos.*

Cabe destacar que este proyecto no presenta recomendaciones relacionadas con la mejor alternativa a utilizar en estos casos, siendo un aspecto para mejorar en futuros proyectos.

- Diseño de la estructura de pavimento flexible del segmento vial ubicado en la carrera 72 c entre calle 9a y 10 de la localidad de Kennedy barrio Bavaria en la ciudad de Bogotá Universidad Militar Nueva Granada, 2019.

Este proyecto plantea el diseño de una estructura de pavimento para un segmento vial en Bogotá, evidenciando un alto deterioro de la estructura del pavimento al presentar afectaciones como piel de cocodrilo, huecos, pulimiento de agregados y una alta concentración de parcheo, presentando un índice de severidad por debajo de 2.0, lo que significa que el pavimento alcanzó su etapa de vida útil. De esta manera, se plantea una alternativa que se resumen en: una capa asfáltica de 8 cm, una base granular de 10 cm, una Sub-Base de 10 cm y finalmente una subrasante mejorada con rajón de 30 cm (Velandia Ubaté, 2019)

- Diseño de la estructura de pavimento flexible en la vía Lenguazaque-Villapinzón en el departamento de Cundinamarca. Universidad Militar Nueva Granada, 2020.

Este trabajo de grado busca realizar una estructura de pavimento en el Departamento de Cundinamarca por medio de método de la AASHTO-93; para generar una mejor alternativa, se realizan aforos de tránsito, caracterización del suelo por medio de ensayos de laboratorio e información teórica, de esta forma se plantean dos alternativas de diseños.

ALTERNATIVA 1 - 10 AÑOS	ALTERNATIVA 2 - 20 AÑOS
CA: 12 cm	CA: 10 cm
BG:20 cm	BG: 15 cm
SBG:32 cm	SBG: 34 cm
MSR:40 cm	MSR:40 cm

*Tabla 2. Alternativas de solución de la estructura de pavimento.*

Teniendo en cuenta las dos alternativas, se plantea una recomendación basada en la alternativa 1, ya que, siendo diseño más empleado para pavimentos flexibles, presenta una diferencia económica de \$165.217.026 (Zarate Bulla , 2020), de esta forma la alternativa 1, al presentar mayor espesor, ofrece mayor resistencia según las cargas establecidas.

## DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO

### Localización

El municipio de San Juan de Rioseco hace parte del departamento de Cundinamarca, ubicado en la Provincia Magdalena Centro, la cual se encuentra a 17 Km de Bogotá, limita al Norte con el Municipio de Chaguaní; por el Sur con el municipio de Puli y Beltrán; por el Oriente con el Municipio de Quipile y Vianí y por el Occidente con el departamento del Tolima, el cual los separa el Río Magdalena; como se observa en la Figura 3.

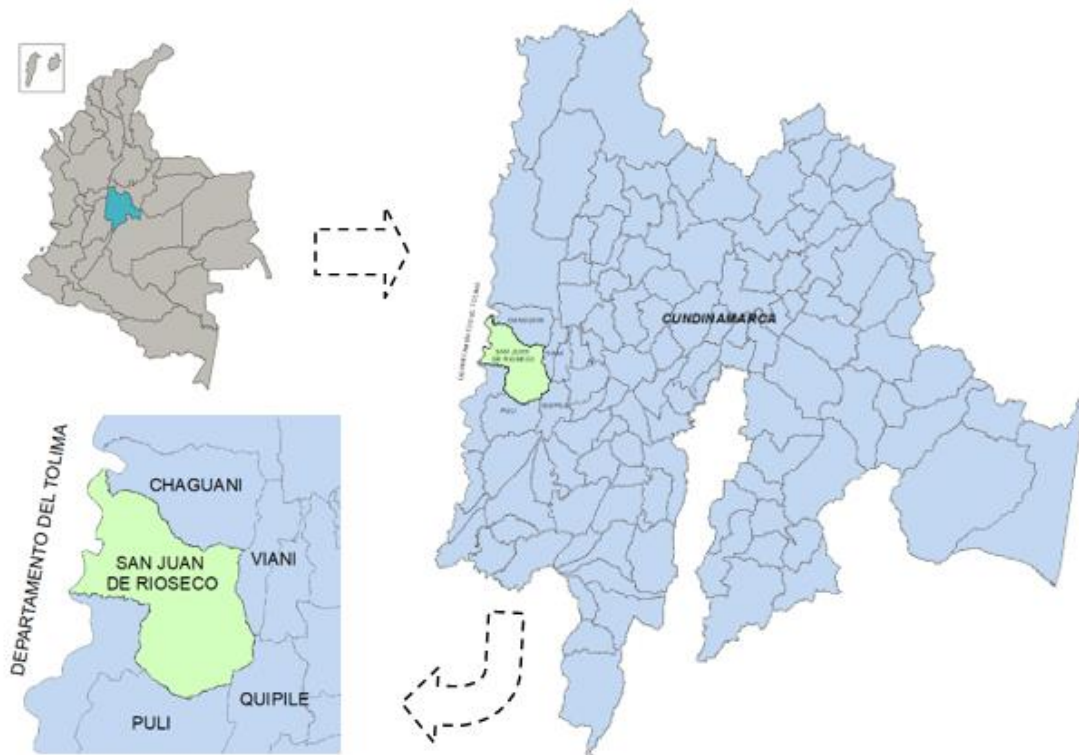


Figura 3. Localización del Municipio

El tramo vial objeto del diseño de una estructura de pavimento se encuentra ubicado en el Pr 9+00 al Pr 10+00 de la vía que conduce desde el casco urbano del municipio de San Juan de Rioseco a la Inspección de San Nicolás. Como se observa en la figura 4.

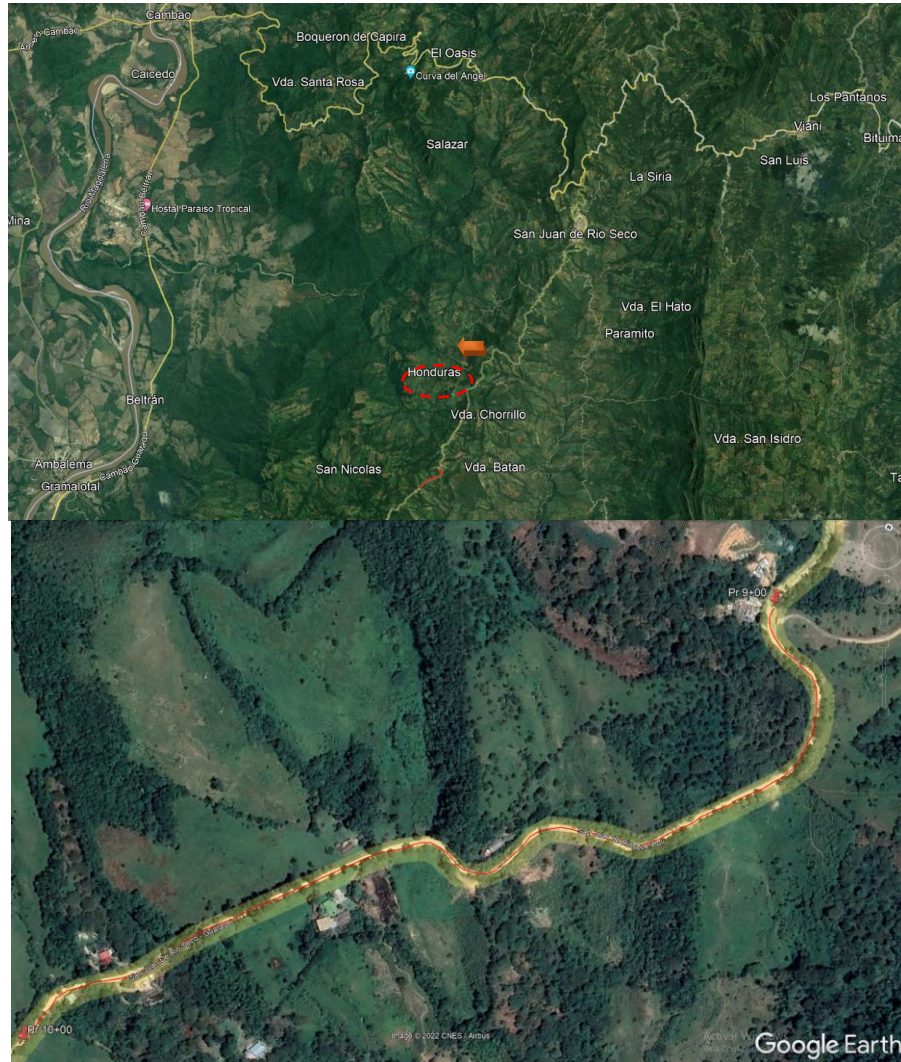


Figura 4. Localización del Punto de Estudio

Según el Censo del DANE del 2005, el municipio de San Juan de Rioseco cuenta con una población de 9463 habitantes, de los cuales el 29,14% de la población es urbana y el 70,86% se encuentra en el sector rural.

Según un estudio de la Secretaría de Planeación de Cundinamarca alrededor de la estructura económica y de propiedad de la tierra rural de Cundinamarca se identificó que el Municipio de San

Juan de Rioseco genera un PIB (Producto Interno Bruto) a nivel municipal de 83.788, lo cual representa un aporte del 24,7% del PIB de la provincia Magdalena Centro., tal como se muestra en la Tabla 3.

MUNICIPIO	PIB MUNICIPAL	% EN PIB DE LA PROVINCIA
Beltrán	21.674	6,39
Bituima	25.360	7,47
Chaguaní	82.441	24,29
Guayabal de Siquima	44.149	13,01
Pulí	46.619	13,74
San Juan de Rioseco	83.788	24,69
Vianí	35.369	10,42
<b>TOTAL</b>	<b>339.400</b>	<b>100</b>

*Tabla 3. Estructura Económica y de Propiedad de la Tierra Rural de Cundinamarca*

Considerando que el PIB del municipio representa un 24.69% del total de la provincia y considerando que el transporte terrestre es el único medio utilizado para movilizar los diferentes productos, se hace pertinente pensar que este porcentaje puede estar siendo afectado por el mal estado del corredor vial, siendo por ello adecuado pensar que una intervención y mejoramiento de la malla vial impactará favorablemente en la economía de los municipios acá considerados como objeto del estudio.

### **Visita de campo**

Durante la visita realizada a la zona de estudio, se pudo establecer que el corredor vial se encuentra en mal estado, sumado a situaciones como la ausencia de obras de drenaje, de señalización preventiva, trayendo consigo daños en los vehículos y deterioro o pérdida de productos ganaderos y agrícolas. De tal manera, que este cúmulo de situaciones ha venido generando impacto en los índices de accidentalidad, del turismo regional, así como, la afectación de la movilidad de Sanjuaneros y dificultades en la comunicación terrestre con la inspección de



San Nicolás y el municipio de Puli. A continuación, se plantea un registro fotográfico, el cual evidencia el estado de la malla vial:

 <p>29 may. 2022 9:32:30 a. m. 186° S Altitud:1463.0m Velocidad:9.0km/h Corredor San Juan - Puli</p>	 <p>29 may. 2022 9:30:31 a. m. 215° SW Altitud:1455.8m Velocidad:11.2km/h Corredor San Juan - Puli</p>
<p><b>1. Falta de una estructura de bombeo.</b></p>	<p><b>2. Hundimiento de los extremos</b></p>
 <p>29 may. 2022 9:30:06 a. m. 308° NW Altitud:1446.7m Velocidad:11.7km/h Corredor San Juan - Puli</p>	 <p>29 may. 2022 9:29:30 a. m. 233° SW Altitud:1445.3m Velocidad:11.1km/h Corredor San Juan - Puli</p>
<p><b>3. Deslizamiento de la vía existente.</b></p>	<p><b>4. Inundación</b></p>
 <p>29 may. 2022 9:25:25 a. m. 235° SW Altitud:1472.4m Velocidad:6.4km/h Corredor San Juan - Puli</p>	
<p><b>5. Ahuellamiento en ambos extremos</b></p>	<p><b>6. Falta de obras de drenaje</b></p>
	

7. Suelos con alta plasticidad lo cual produce ahuellamiento.	8. Perdida de Productos Agrícola
	
9. Afectación de la movilidad	10. Accidentalidad

Figura 5. Registro Fotográfico Afectaciones Actuales

Como se aprecia en el anterior registro fotográfico, en las épocas invernales es cuando se ve más afectado el corredor vial, teniendo en cuenta que, al no contar con una estructura de pavimento flexible, los habitantes de las veredas cercanas intervienen la vía con cualquier tipo de material que ayude a evitar la congestión vehicular y facilitar su flujo, además, al no presentarse una estructura de manejo de aguas superficiales, al encontrarse en ambos costados montaña con cobertura vegetal, quebradas y afluentes, se presentan inundaciones y saturación del suelo, haciendo complejo el tránsito vial.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

### Estudio Geotécnico

Con ayuda del programa ArcGIS y con planos del IDEAM se identifica que la zona de estudio cuenta con rocas clásticas arenosas y limo arcillosas, también se identifica algunos depósitos de ceniza volcánica, orgánicos, así como intercalaciones de limo arcillosas.

También es propio de la zona los suelos superficiales, bien drenados, con texturas finas a gruesas y presencia de materiales orgánicos, reacción extremada a muy fuertemente ácida, alta saturación de aluminio y fertilidad baja.

Para realizar el estudio Geotécnico, se utilizó información de algunos proyectos de estudios y diseños ya realizados en la zona de intervención por la Arcadia de San Juan de Rioseco Cundinamarca, los cuales se encuentran ubicados en la vía San Juan – Puli en el PR 9+500 y PR 10+000.

Muestra	Límites			Granulometría			Descripción	Clasificación
	LL%	LP%	IP%	GRAVA%	ARENA%	FINO%		
1	26.29	14.68	11.61	21.1	15.45 %	20.1%	arenas de color amarillo oliva	AASHTO (I.G.): A-2-6 (0) U.S.C.S.: GC
2	130.90	72.06	58.84	0.0%	0.06 %	99.9%	Limo elástico de color café con vetas de oxidación y extremadamente plástico	AASHTO (I.G.) A-7-5 U.S.C.S.:MH

Tabla 4. Datos obtenidos por Estudios Realizados

Igualmente, se realizaron ensayos de CBR, dando como resultado los valores presentados en la siguiente tabla:

ABSCISA	CBR(%)
K9+000	3
K10+000	7,8

Tabla 5. Valor de CBR

De esta forma se procederá a determinar el CBR de diseño por medio de la metodología AASHTO;

- Ordenar los valores de menor a mayor
- Hallar los CBR mayores o iguales al valor, con relación al total

VALORES DE CBR	No. De valores CBR $\geq$	% de valores CBR $\geq$
3	2	100
7,8	1	50

Tabla 6. Valores de CBR Metodología AASHTO

Seguidamente y con tales datos se procede a graficar el CBR vs el porcentaje (%) de valores, para así, obtener el CBR del diseño, tal como se muestra en la figura 6.

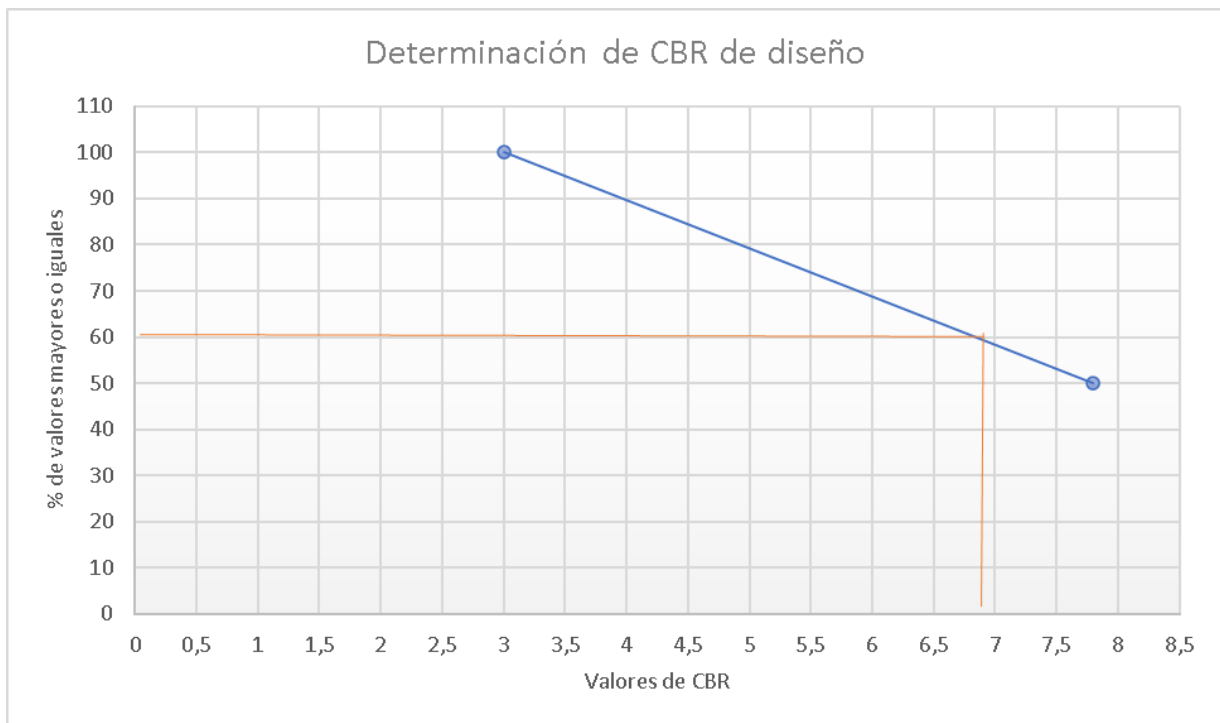


Figura 6. Determinación del CBR de Diseño

Promedio	Desviación estandar	Coficiente de varianza	CBR con grafica
5,40	3,39	0,63	6,58

Tabla 7. Valores de CBR

Se determina el CBR con un valor de 6.8 el cual fue obtenido por medio de la gráfica, y no por el promedio, ya que, se presenta datos muy dispersos, de igual forma es necesario hacer un mejoramiento de la subrasante con material granular para mejorar sus características, mediante el método de IVANOV.

<b>DATOS INICIALES</b>	
<b>CBR 1 (%)</b>	10
<b>CBR2 (%)</b>	6.58
<b>H1(cm)</b>	30
<b>A(cm)</b>	15.22

*Tabla 8. Valores Iniciales*

Resultados obtenidos del mejoramiento con rajón

<b>Datos del mejoramiento</b>	
<b>E1(kg/cm2)</b>	1000
<b>E2(kg/cm2)</b>	658
<b>N</b>	1.182
<b>H1(cm)</b>	43
<b>A(cm)</b>	15.22
<b>2a(cm)</b>	30.44
<b>E1-2 (kg/cm2)</b>	1006.78
<b>CBR%</b>	10

*Tabla 9. Valores de Mejoramiento de Rajón*

A través de los conocimientos adquiridos en la Especialización en Ingeniería de Pavimentos y la experiencia de los ingenieros que realizaron los estudios y diseños ; el CBR de mejoramiento del rajón es aproximadamente del 10%, ya que, este tipo de subrasante tiene un índice de plasticidad alto, lo que genera que se presenten daños por ondulación en la carpeta asfáltica,; con este tipo de mejoramiento y por las características mecánicas del rajón se brinda una mayor resistencia a la capa de apoyo.

### **Estudio Hidrológico**

De acuerdo con los registros del IDEAM y con la ayuda de la estación de San Juan de Rioseco en el municipio de San Juan de Rioseco se presenta una precipitación media anual de 1313

mm, teniendo un comportamiento bimodal, de esta manera los meses en los cuales actúa la ola invernal son marzo, abril, mayo, septiembre y octubre de acuerdo con los valores mensuales máximos de precipitación, tal como se muestra a continuación:

VALORES MENSUALES MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN (mm)													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1975	46.00	49.00	40.00	30.00	35.00	50.00	10.00	20.00	47.00	32.00	24.00	25.00	50.00
1976	48.00	37.00	30.00	17.00	10.00	1.00	3.00	8.00	55.00	35.00	17.00	17.00	55.00
1977	18.00	31.00	20.00	20.00	25.00	18.00	20.00	30.00	100.00	97.00	25.00	15.00	100.00
1978	13.00	56.00	50.00	25.00	5.00	16.00	11.00	30.00	42.00	33.00	40.00	4.00	56.00
1979	12.00	33.00	60.00	29.00	28.00	30.00	58.00	30.00	60.00	90.00	15.00	26.00	90.00
1980	30.00	35.00	19.00	40.00	35.00	3.00	26.00	22.00	31.00	46.70	24.00	11.50	46.70
1981	42.90	12.00	72.40	25.00	27.00	10.70	48.00	6.30	45.00	28.40	41.20	16.00	72.40
1982	77.00	41.00	72.50	58.00	4.00	7.00	1.00	49.00	30.10	30.00	48.40	20.20	77.00
1983	48.60	33.40	45.00		5.40	6.20	54.60	22.40	54.10	88.00	38.00	7.80	88.00
1984	21.20	21.40	46.30	32.70	32.80	14.10	76.00	58.70	77.10	51.30	39.90	8.70	77.10
1985	10.70	44.00	41.00	59.10	46.30	15.50	10.40	76.10	56.10	24.80	45.00	24.70	76.10
1986	50.20	37.60	24.80	41.00	100.20	2.40	3.80	33.40	58.20	45.00	18.30	18.30	100.20
1987	2.10	21.00	25.20	30.30	4.20	29.10	29.30	70.20	110.30	43.70	28.40	10.30	110.30
1988	30.30	9.40	44.60	14.30	19.20	13.50	27.30	9.50	77.80	130.70	30.20	8.10	130.70
1989	19.10		20.30	43.10	17.40	4.00	30.10	53.70	45.30	54.10	12.10	15.10	54.10
1990	22.60	26.30	22.10	28.40	49.30	10.90	10.70	30.60	38.60	117.20	60.30	20.50	117.20
1991	30.00	40.20	20.30	36.30	18.66	12.30	10.30	22.30	29.20	32.50	19.20	22.60	40.20
1992	32.50	40.90	80.40	12.90	8.90	70.60	9.50	9.60	5.30	68.20	33.20	17.10	80.40
1993	39.40	14.40	38.90	64.70	2.20	9.90	10.10	58.20	48.90	74.60	58.60	29.30	74.60
1994	15.50	62.30	33.10	17.90	22.30	11.10	4.50	36.30	44.10	54.70	1.20	6.20	62.30
1995	59.10	38.50	96.70	53.20	14.40	15.90	19.40	65.20	51.80	35.10	29.30	28.10	96.70
1996	23.50	64.20	86.40	98.30	12.30	9.40	22.40	28.30	48.30	41.30	33.50	36.60	98.30
1997	27.60	25.40	61.50	13.20	14.40	1.80	1.70	44.70	30.10	19.80	18.80	51.80	61.50
1998	18.30	55.90	35.90	66.50	12.30	79.50	16.90	61.60	25.90	44.40	23.50	26.80	79.50
1999	55.30	19.80	43.90	22.60	19.70	2.40	28.70	28.20	47.90	45.10	35.40	7.50	55.30
2000	32.50	35.90	35.80	47.90	13.60	22.10	9.50	31.20	34.20	26.90	23.70	21.10	47.90
2001	15.50	62.50	11.10	31.10	29.90	17.70		31.10	27.10	33.90	32.20	22.50	62.50
2002	25.90	51.10	47.50	8.90	45.20	29.50	6.90	25.20	12.20	16.90	61.30	7.90	61.30
2003	21.40	45.40	43.40	75.40	11.50	9.80	17.90	23.50	32.40	36.20	35.40	9.20	75.40
2004	25.40	21.20	48.50	29.50	13.80	53.00	3.50	93.00	58.30	12.20	31.20	41.50	93.00
2005	27.40	15.10	47.90	35.40	23.20	44.20	11.50	44.40	53.30	28.90	30.70	29.40	53.30
2006	9.30	44.30	36.40	28.80	9.20	12.10	7.00	10.50			37.70	6.40	44.30
2007	3.40	29.40	100.90	38.50	8.20	6.10	26.60	11.50	55.30	16.10	22.80	40.50	100.90
2008	51.40	18.80	42.40	63.10	18.10	11.30	38.90	20.70	49.90	52.50	28.70	35.50	63.10
2009	34.30	39.90	7.20	31.90	5.70	6.90	39.70	13.90	89.90	62.90	33.40	0.40	89.90
2010	28.60	38.30	56.10	72.50	7.50	51.40	9.60	19.70	49.70	58.90	11.80	33.90	72.50
2011	46.90	81.90	42.90	22.30	43.10	16.70	32.30	3.70	100.80	78.60	31.10	26.60	100.80
2012	9.00	60.70	30.30	44.46	55.38	5.50	17.40	10.10	58.10	26.20	21.60	46.70	60.70
<b>P MEDIOS</b>	<b>29.58</b>	<b>37.65</b>	<b>44.23</b>	<b>38.06</b>	<b>22.46</b>	<b>19.23</b>	<b>20.64</b>	<b>32.71</b>	<b>50.82</b>	<b>48.99</b>	<b>31.03</b>	<b>20.94</b>	<b>50.82</b>
<b>P MAXIMO</b>	<b>77.00</b>	<b>81.90</b>	<b>100.90</b>	<b>98.30</b>	<b>100.20</b>	<b>79.50</b>	<b>76.00</b>	<b>93.00</b>	<b>110.30</b>	<b>130.70</b>	<b>61.30</b>	<b>51.80</b>	<b>130.70</b>
<b>P MINIMOS</b>	<b>2.10</b>	<b>9.40</b>	<b>7.20</b>	<b>8.90</b>	<b>2.20</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>3.70</b>	<b>5.30</b>	<b>12.20</b>	<b>1.20</b>	<b>0.40</b>	<b>40.20</b>

Tabla 10. Valores Mensuales Máximos de Precipitación (mm)

Después de tener los cálculos de las precipitaciones máximas mensuales desde el año 1975 al 2012 se realiza la gráfica de histogramas de precipitación como se puede observar en la siguiente figura:

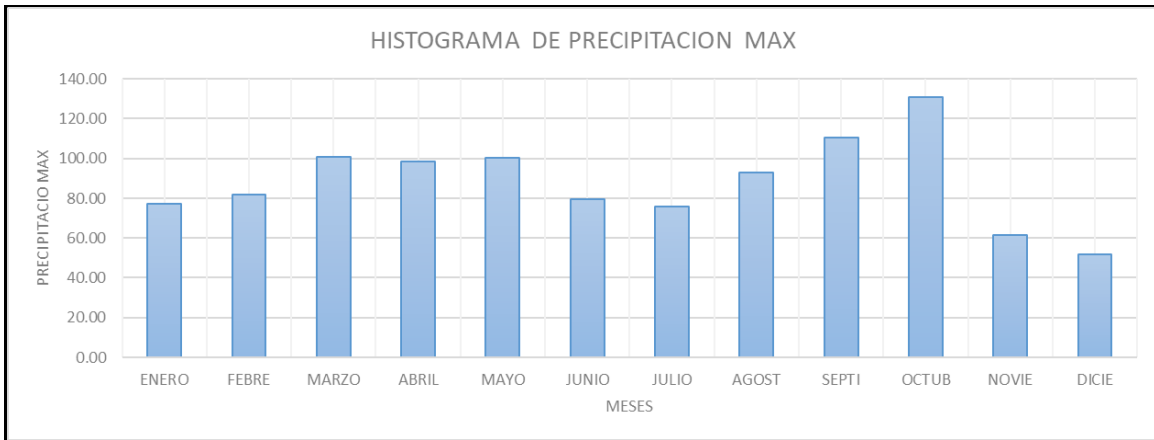


Figura 7. Histograma de Precipitación Máxima en promedio (1975-2012)

De acuerdo con la figura 7, se deduce que los meses con mayores precipitaciones, en un rango de tiempo de 1975 al 2012, siendo octubre la época con la máxima precipitación, para un promedio de 120.00 mm y diciembre como la época más seca del año con 50.00 mm de precipitación, además, se puede identificar que en el municipio de San Juan de Rioseco existe una precipitación total en promedio de 80.00 mm la mayor parte del año, como se evidencia en la siguiente gráfica:

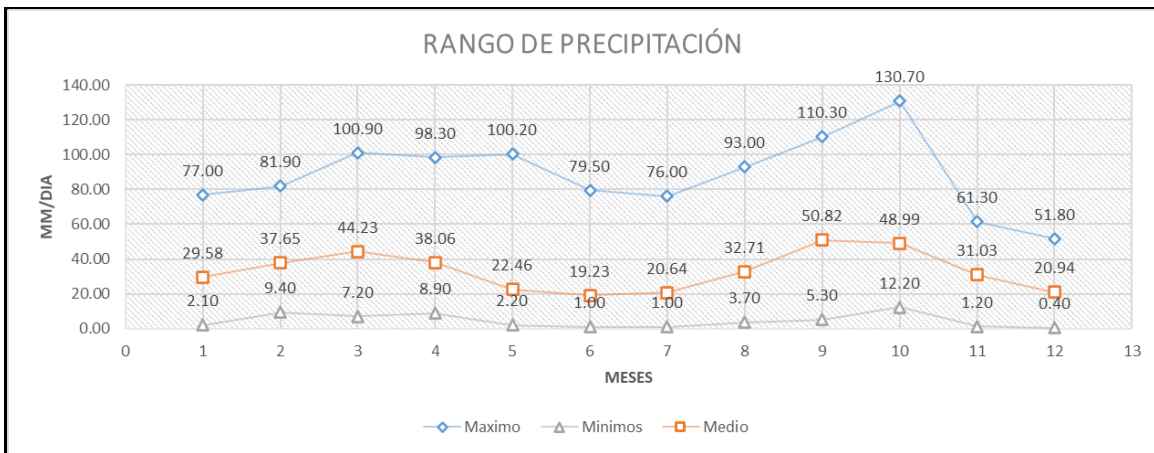
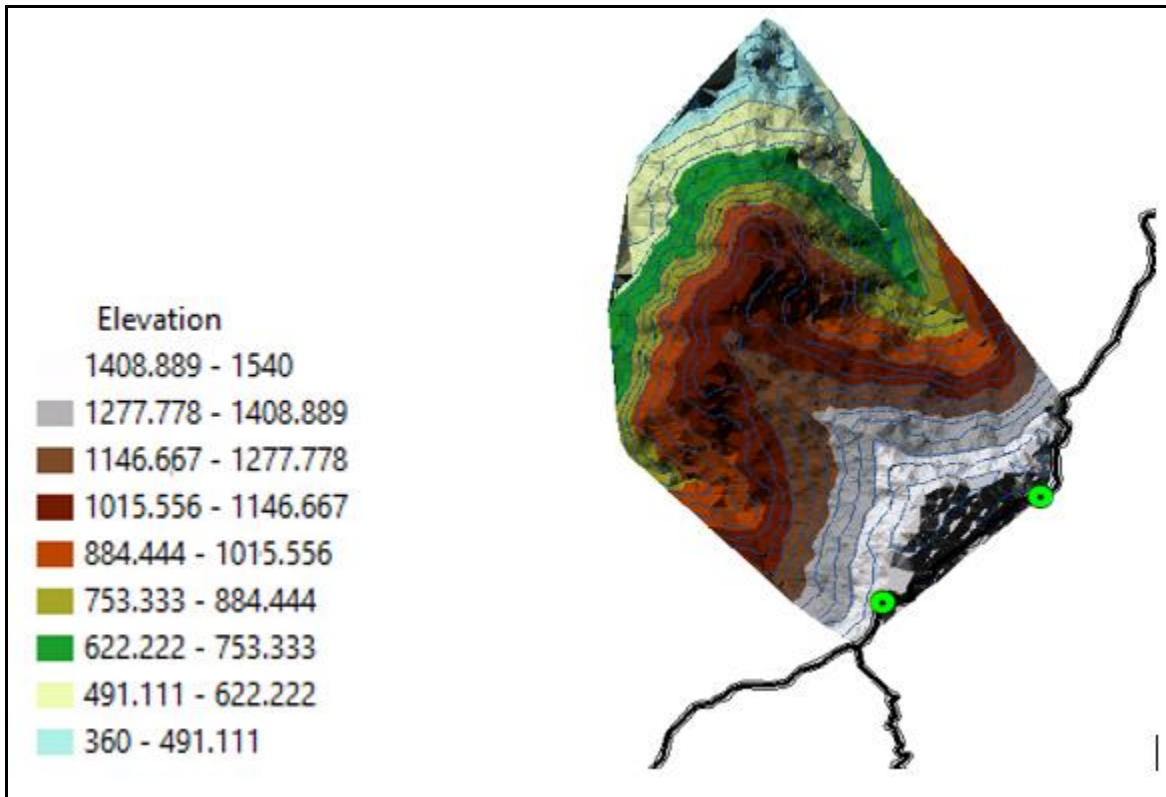


Figura 8. Rango de Precipitación

## Delimitación de la Cuenca

En la delimitación de la cuenca se hizo uso de imágenes satelitales de la zona de estudio y de otra parte, con el programa de ArcGIS se realizó la elevación y las curvas de nivel, identificando los puntos más altos, como se muestra en la siguiente figura:



*Figura 9. Delimitación de la Cuenca.*

En la siguiente imagen se muestra las pendientes que se presentan en la zona de estudio y con las cuales se revisó en qué sentido se dirige el flujo para su respectivo esquema hidráulico, igualmente, se observa que, en el sitio crítico, se tienen pendientes del 5% al 16%, siendo considerado como moderadamente abrupto, de tal forma que la zona es susceptible a los deslizamientos y fenómenos de remoción en masa.



Así mismo, presenta un relieve ligero a fuertemente quebrado con pendientes que van entre 7%-12% y 12%-25%, afectado en sectores por erosión hídrica laminar ligera y frecuente pedregosidad superficial

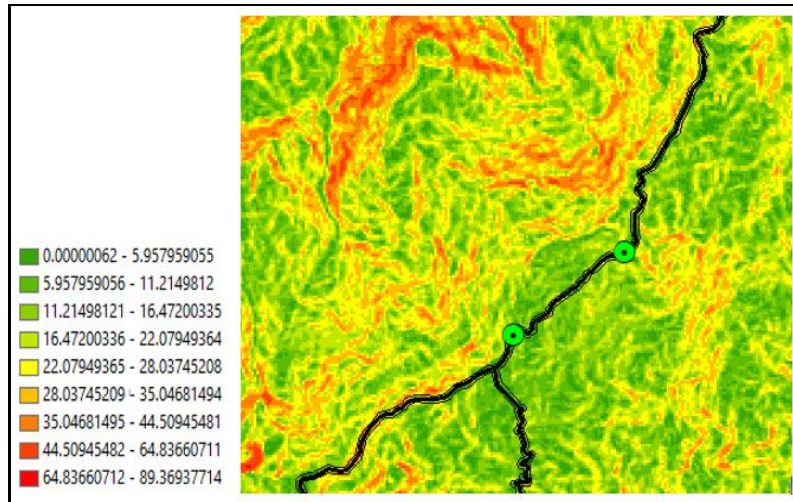


Figura 10. Pendientes del terreno.

Posteriormente, con ayuda del modelo (ráster) se puede visualizar que en la zona donde se realizará el proyecto se encuentran una cuenca y una subcuenca alrededor de la zona de estudio.

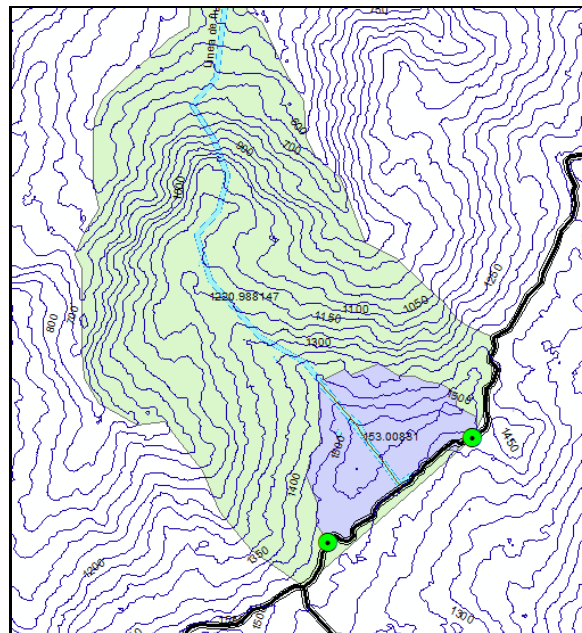


Figura 11. Modelo Ráster

De esta manera, se puede realizar el cálculo de la dimensión de área, perímetro y longitud de la respectiva cuenca y subcuenca, las cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

Cuenca	Área Ha	Perímetro (m)	Longitud del cauce en (m)
Cuenca	1220.98	15011.9	5978
Subcuenca	153	5339	1250

Tabla 11. Dimensiones de la Cuenca y Subcuenca

### Tiempos de Concentración (Tc)

Para las cuencas se tiene que determinar ciertos parámetros morfométricos tales como área, longitud del cauce principal, longitud de las curvas de nivel, pendientes, elevaciones máximas mínimas y el tipo de cobertura de la zona de estudio en tiempos de concentración según la siguiente ecuación:

$$t_c = \left( \frac{11.9L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc= tiempo de concentración en horas

L= Longitud del cauce principal en millas

H=Diferencia de cotas entre el punto más alto y el punto de desagüe de la cuenca en pies

### Aplicación del método racional:

El cálculo de caudales se desarrolla mediante el método racional, donde se considera que las fuertes lluvias van a cubrir toda el área de la cuenca y siempre con la misma intensidad, durante el evento se emplea para caudales máximos.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Q= caudal pico de escorrentía del área aferente de la cuenca estudiada (m<sup>3</sup>/s) para un periodo de retorno dado.

C= coeficiente de escorrentía en el sitio de estudio, este se determina teniendo en cuenta la visita a campo, donde se identifica la topografía, vegetación y la clase de suelo.

I= Intensidad de la lluvia (mm/hr).

A= el valor del área de la estructura la estructura de drenaje (Ha)

### Alcantarillas, cunetas y drenajes

Para determinar el caudal se tienen en cuenta la precipitación máxima obtenía en la subcuenca con ayuda de la precipitación de la estación San Juan de Rioseco, y con la visita de campo se identifica que tipo de cobertura hay (pastizales, bosque y herbazales) como se muestra a continuación:

<b>Precipitación máxima</b>	<b>123.017</b>	
<b>Años</b>	50	
<b>tr</b>	0.02	
<b>f(x)</b>	0.98	
<b>Periodo de retorno</b>	<b>Caudal máximo</b>	<b>K</b>
<b>5</b>	81.55	0.800
<b>10</b>	94.50	0.900
<b>25</b>	110.87	0.960
<b>50</b>	123.02	0.980
<b>100</b>	135.07	0.990

Tabla 12. Datos de caudal máximo y año de retorno.

Después de obtener los datos anteriores y las dimensiones de la cuenca, se procede a calcular el caudal de la cuenca, teniendo en cuenta el parámetro de precipitación máxima por medio

del método de Gumbel; el siguiente parámetro es el número de curva de escurrimiento (CN) con uso de suelo de pastizales, pradera bosques naturales con una condición de infiltración regular.

PMax	Smm	CN	E(mm)	qp (m3/s/km2/mm)	área km2	Caudal (m3/s)
123.01	34.64	88	89.41	0.2	1.530	27.36

Tabla 13. Cálculo del caudal.

Donde:

E: Escorrentía total acumulada

P: Precipitación total del evento

S: Infiltración o retención potenciales máxima, mm

CN: Curva número

Qp= Descarga pico unitaria, (m3/s/km2/mm)

A= área KM2

De acuerdo con las anteriores cifras el caudal de la cuenca es de 27.36 m<sup>3</sup>/s, donde se encuentra el diseño de la estructura de pavimento, se va a hacer cada 10 m una alcantarilla circular.

descripción	Datos	Fuente:
<b>Caudal</b>	0.55m <sup>3</sup> /s	Cuenca
<b>Longitud. Aproximada de alcantarilla</b>	10m	Se asumió
<b>Pendiente de la alcantarilla</b>	2%	Manual de drenaje de INVIAS, numeral 4.4.6.3
<b>área de la alcantarilla</b>	0.182m <sup>2</sup>	
<b>Radio de la alcantarilla</b>	0.240m	
<b>Diámetro de la alcantarilla</b>	0.481 m	
<b>Diámetro de la alcantarilla</b>	0.726m	Considera control hidráulico a la entrada

<b>Altura de carga (H<sub>o</sub>)</b>	0.33m	Gráfica No. 5.10 del libro de drenaje pluvial de Bernardo Diaz
<b>Profundidad crítica (H<sub>c</sub>)</b>	0.48m	Gráfica No. 5.17 del libro de drenaje pluvial de Bernardo Diaz
<b>Profundidad de entrada (H<sub>e</sub>/D)</b>	0.90	Gráfica No. 5.3 del libro de drenaje pluvial de Bernardo Diaz
<b>Profundidad de entrada (H<sub>e</sub>)</b>	1.2	Diámetro mayor

Tabla 14. Datos iniciales para el cálculo de dimensiones de la alcantarilla.

De acuerdo con la tabla anterior se calculó la velocidad del flujo en la alcantarilla y las dimensiones de la alcantarilla

	Q (m <sup>3</sup> /s)	diámetro	Gráfico 5.3		Gráfico No. 5.10			
			Control entrada		Control salida			
			He/D	He(m)	Ke	H(m)	hc (m)	hc+D/2 (m)
<b>Circular en concreto prefabricado</b>	0.55	0.73	0.55	0.40	0.50	1.00	0.96	0.84

He= H+H1-Li				He determinante (m)	Velocidad de salida (m/s)
Hs	H1	Li	He		
<b>0.90</b>	0.84	0.20	1.64	1.64	0.75

Tabla 15. Dimensiones de la alcantarilla y velocidad del flujo.

### Cuneta de vía

En cuanto a la ejecución del proyecto se recomienda emplear una cuneta en L con un ancho de 0.70 m con una profundidad mínima de 0.20m pendiente transversal del 28%.

En lo que tiene que ver con el diseño de la cuneta, es necesario tener en cuenta el cálculo del caudal anterior y compararlo con el caudal permisible, por la sección hidráulica a emplear, utilizando la ecuación de Manning sección llena, la idea de dicha relación es para transportar el caudal proveniente de escorrentía sin poner en riesgo el servicio de la vía.

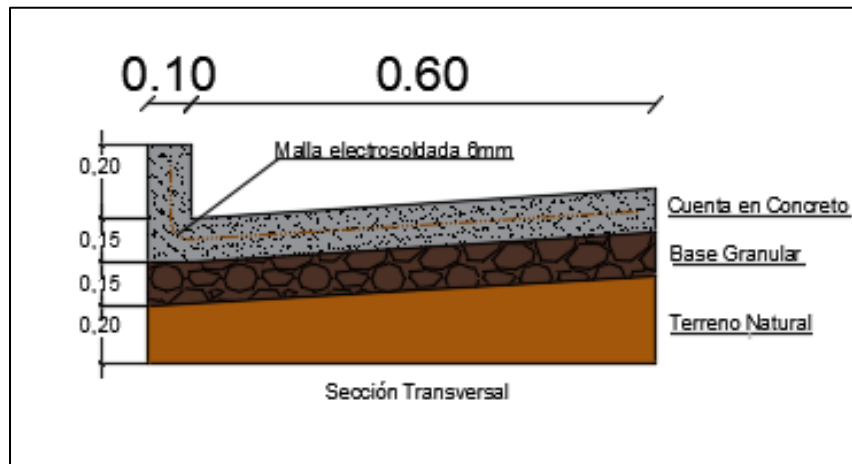


Figura 12. Detalle de la cuneta

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Q= caudal a tubo lleno en, m<sup>3</sup>/s

n=Coefficiente de rugosidad de Manning, adimensional

A= Área de la sección hidráulica, m<sup>2</sup>

R= radio hidráulico, m

S= pendiente longitudinal, m/m

En la siguiente tabla se muestran los datos de la sección de la cuneta, para calcular el respectivo caudal que transita por la cuneta y que la sección sea la indicada.

Berma de la cuneta	Datos	Unidad
<b>Z</b>	3.5	
<b>d</b>	0.2	m
<b>A</b>	0.14	m <sup>2</sup>
<b>P</b>	1.46	m

<b>T</b>	1.4	m
<b>R</b>	0.10	m
<b>n</b>	0.014	

Tabla 16. Dimensiones de la cuneta.

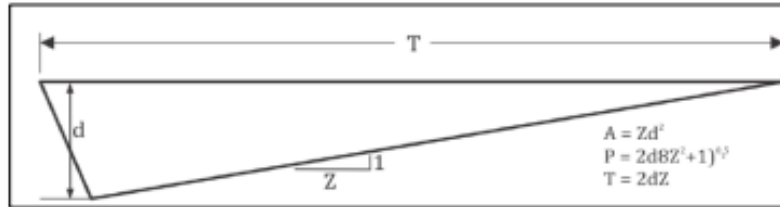


Figura 13. Detalle de las variables de la cuneta

Cuenca	Área (ha)	Long (m)	S%	Tc(min)
<b>Subcuenca</b>	0.107	10	6.00%	15

C	I mm/h	Tipo de sección	Qr m <sup>3</sup> /s	Qm m <sup>3</sup> /s	Qr/Qm
<b>0.5</b>	15.73	BC	0.00223	0.5141	0.0044

Tabla 17. Cálculo del caudal de la cuneta.

## Drenajes

Teniendo en cuenta el estado de la actual vía y la cantidad de agua, tanto superficial como subterránea que hay en la zona de estudio, se hace necesario realizar un drenaje para evitar que el nivel freático del talud arrastre las partículas finas de la estructura de pavimento, y se propone un filtro complementario a las obras superficiales con las siguientes dimensiones:

La altura del filtro es de 1.20m, ya que es necesario que el nivel freático del filtro no pase la cota rasante de la subrasante.

Dado que a altura del filtro resulta ser muy esbelto, se hace necesario que el ancho deba ser proporcional, por lo que se propone sea de 0.60m, siendo esta medida más adecuada para construir y dejarlo protegido con la cuneta.

El material de relleno tiene que ser grava con tamaños comprendidos 3" y 3/4", libre de partículas finas, permitiendo el uso de fragmentos de un solo tamaño.

Ensayos de calidad a realizar con la grava:

Ensayo	Norma de ensayo	Criterio
<b>Granulometría</b>	INV E-213	Constituidos por partículas con tamaños comprendidos entre 3" y 3/4", libres de partículas finas.
<b>Desgaste Los Ángeles</b>	INV E-219	≤ 40%
<b>Pérdidas en el ensayo de solidez</b>	INV E-220	Sulfato de sodio ≤ 12% Sulfato de magnesio ≤ 18%
<b>Terrones de arcilla y partículas deleznales</b>	INV E- 211	0.25
<b>Partículas livianas, máximo (%)</b>	INV E-121	1
<b>Contenido de materia orgánica</b>	INV E-121	0

Tabla 18. Ensayos de la piedra filtro.

- Geotextil: NT3000, traslapo mínimo de 0.30m, no se permite que el geotextil quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres (3) días, la densidad seca deberá ser mínimo del 95% de la densidad seca máxima de Proctor modificado.
- El tipo de puntada podrá ser simple (Tipo 101) o de doble hilo.
- Tubería PVC corrugada de drenaje, perforada de 6"

En el siguiente esquema se muestra el esquema del filtro a utilizar y el tipo de materiales a utilizar:



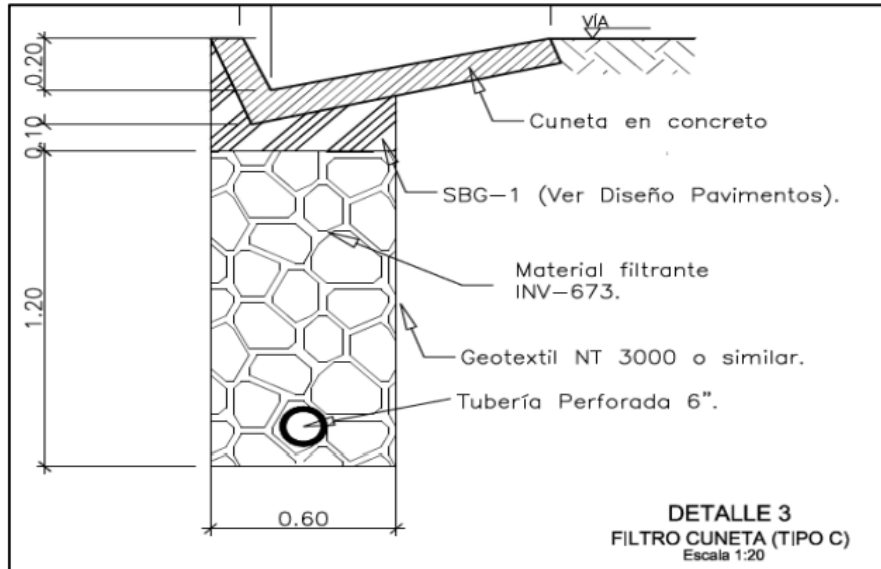


Figura 14. Detalle del filtro.

## Estudio de Tránsito

Para realizar el estudio de tránsito, se obtuvieron los datos por medio de la realización de un aforo vehicular en la zona de estudio en un día típico en un horario de las 6:00 am hasta las 6:00 pm, como se puede evidenciar en la siguiente tabla:










CONTEO DE TRÁFICO											
PROYECTO: DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA EL CORREDOR VIAL SAN JUAN- PULI, DESDE EL PR 9+000 AL PR 10+000 INSPECCION SAN NICOLAS.											
TRAMO:		CORREDOR VIAL SAN JUAN -PULI									
HORA	SENTIDO SAN JUAN - PULI	CAMIONETAS Y CAMPEROS	BUS	C2P	C2G	C2-S1	C2-S2	C3	C4	TOTAL	
											
6:00 A.M	7:00 A.M	SAN JUAN -PULI	15	1	1	2	0	0	0	19	
7:00 A.M	8:00 A.M	SAN JUAN -PULI	17	0	5	1	0	0	0	23	
8:00 A.M	9:00 A.M	SAN JUAN -PULI	14	0	2	1	0	1	0	18	
9:00 A.M	10:00 A.M	SAN JUAN -PULI	16	0	4	6	0	1	0	27	
10:00 A.M	11:00 A.M	SAN JUAN -PULI	18	1	2	2	0	0	0	23	
11:00 A.M	12:00 A.M	SAN JUAN -PULI	16	0	3	1	0	0	0	20	
12:00 A.M	1:00 P.M	SAN JUAN -PULI	8	0	1	0	0	3	0	12	
1:00 P.M	2:00 P.M	SAN JUAN -PULI	13	0	2	3	0	0	0	18	
2:00 P.M	3:00 P.M	SAN JUAN -PULI	17	1	5	1	0	0	0	24	
3:00 P.M	4:00 P.M	SAN JUAN -PULI	7	0	2	0	0	0	0	9	
4:00 P.M	5:00 P.M	SAN JUAN -PULI	9	0	3	4	0	0	0	16	
5:00 P.M	6:00 P.M	SAN JUAN -PULI	5	1	1	0	0	0	0	7	
TOTALES			155	4	31	21	0	5	0	216	

Tabla 19. Aforo Vehicular

Posteriormente, al tener la información primaria, se procede a realizar la distribución de los vehículos por su respectiva categoría, como se observa en la siguiente tabla:

VEHICULOS	PORCENTAJE %	NUMERO DE VEHICULOS DIARIOS
AUTOS	71,76%	155
BUSES	1,85%	4
CAMIONES	26,39%	
C2P	54,39%	31
C2G	36,84%	21
C3	8,77%	5
TOTAL		216

Tabla 20. Composición y Distribución de Vehículos.

Seguidamente se procede a considerar el factor de daño, el cual se calcula en este caso únicamente para el caso de buses y camiones, mediante el método de la cuarta potencia


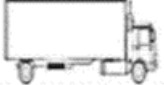
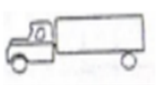
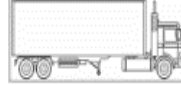
Tipo	Detalle del vehículo		Tipo	Detalle del vehículo	
BUS			C2G		
Configuración del eje	SRS	SRD	Configuración del eje	SRS	SRD
Carga (Ton)	3	6	Carga (Ton)	6	10
FEC Método de la cuarta	0,04	0,29	FEC Método de la cuarta potencia	0,68	2,21
<b>FD Método de la cuarta potencia</b>	<b>0,33</b>		<b>FD Método de la cuarta potencia</b>	<b>2,89</b>	
Tipo	Detalle del vehículo		Tipo	Detalle del vehículo	
C2P			C3		
Configuración del eje	SRS	SRD	Configuración del eje	SRS	SRD
Carga (Ton)	2	7	Carga (Ton)	6	20
FEC Método de la cuarta	0,01	0,53	FEC Método de la cuarta potencia	0,68	3,16
<b>FD Método de la cuarta potencia</b>	<b>0,54</b>		<b>FD Método de la cuarta potencia</b>	<b>3,84</b>	

Tabla 21. Calculo Factor de Daño.

Durante la estimación de del tránsito equivalente proyectado, se cuenta con el TPD, las características del segmento, el periodo de diseño y la tasa de crecimiento definida por la secretaría de Movilidad (Steer Davies & Gleave, 2006), de esta forma se continúa con el cálculo de ejes equivalentes diarios, en donde se necesita los siguientes datos iniciales, igualmente los datos del factor daño de cada una de las categorías anteriormente calculados.

DATOS INICIALES	
TRANSITO DIARIO	216
FACTOR DIRECCIONAL	0,5
TASA DE CRECIMIENTO	1,80%
FACTOR CARRIL	1
PERIODO DE DISEÑO	10

Tabla 22. Datos Iniciales

VEHICULOS	PORCENTAJE %	NUMERO DE VEHICULOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
AUTOS	71,8	155		
BUSES	1,9	4	0,33	1
CAMIONES	26,4			
C2P	54,4	31	0,54	8
C2G	36,8	21	2,89	30
C3	8,8	5	3,84	10
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				<b>49</b>
TRÁNSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO				<b>531,93</b>

Tabla 23. Tránsito Equivalente Total Acumulado

De esta forma, se da a conocer un Tránsito Equivalente Total (N) para el periodo de diseño que resulta ser de 531.93

### Diseño de pavimento flexible método AASHTO -93

Bajo la metodología AASHTO – 93 se realiza el diseño de la estructura de pavimento flexible para el corredor vial San Juan – Puli del PR 9+000 al PR 10+000, teniendo en cuenta los siguientes datos iniciales:

- Confiabilidad(R): De acuerdo con la metodología AASHTO-93, para el parámetro de la confiabilidad se determina que es una arteria principal de la zona rural y se encuentra en un rango de 75%-99%, se determinó el 90%, ya que, es una vía con un tránsito bajito (NT1).
- Error estándar (So): Para este parámetro se asume un valor del 0.46, ya que los materiales pueden cambiar sus características y los cambios de clima pueden afectar el diseño de la estructura de pavimento.

- **Serviciabilidad:** Para este proyecto se va a diseñar una estructura de pavimento flexible, lo cual la serviciabilidad inicial es de 4.2.

La serviciabilidad final depende de la ubicación del proyecto y la importancia del tránsito para este parámetro se asume un valor de 2.3.

- **Módulo resiliente de la subrasante:** De acuerdo de los ensayos que nos estamos apoyando para el diseño tenemos un CBR 6.58%, para la determinación del módulo resiliente usamos la siguiente correlación:

$$M_r = 2555(CBR\%)^{0.64}$$

$$M_r = 2555(6.58)^{0.64} = 8532 \text{ psi}$$

- **Coefficientes de aportes (a):** Este parámetro se toma de acuerdo con el nuevo manual, con las características de las capas del diseño de pavimento:
  - Mezclas asfálticas densas en caliente con un valor de 0.44 AASHTO-93.
  - Bases granulares con un parámetro de 0.14 AASHTO-93.
  - Subbases granulares con un parámetro de 0.11 AASHTO-93.
- **Coefficientes de drenaje (m):** Este parámetro tiene en cuenta el clima donde se ubica el proyecto y donde se observó un suelo húmedo y clima templado, para el caso de las capas de la estructura de pavimento se tienen los siguientes coeficientes de drenajes; Carpeta asfáltica tiene un coeficiente de 1, ya que la capa es impermeable y las otras capas granulares base y subbase tienen un coeficiente de 0.9 porque son permeables.

CAPA	COEFICIENTES DE DRENAE	UNIDAD
Mezcla asfáltica	1	m1
Base granular	0.9	m2
Subbase	0.9	m3

Tabla 24. Coeficiente de Drenaje

- Módulo Resiliente (Mr): De acuerdo con la norma INVIAS 2013 y con el dato del nivel de tránsito NT1 se tiene una base de clase BG-C con un CBR del 80% y subbase de tipo SBG-C con un CBR del 30%, igualmente se considera las plantas que nos suministran los materiales granulares que se encuentran cerca al proyecto, se tienen los siguientes datos:

Capa	Valor	Unidad
Mr1	27890	PSI
Mr2	15000	PSI
Mr3	8532	PSI

Tabla 25. Valor del Módulo Resiliente

<b>Diseño método AASHTO-93</b>		
<b>Tránsito de Diseño</b>	N 8.2 Ton	531.93
	Nivel	NT1
<b>Confiability</b>	R	90
<b>Desviación estándar</b>	Zr	1.282
	So	0.46
<b>índice de servicialidad</b>	PSli	4.2
	PSlf	2.3
<b>Capacidad</b>	CBR	6.58
<b>Subrasante</b>	PSI	8532

Tabla 26. Valores de Diseño por medio del Método AASHTO-93

De esta forma el diseño de la estructura de pavimento flexible está compuesto de la siguiente manera:

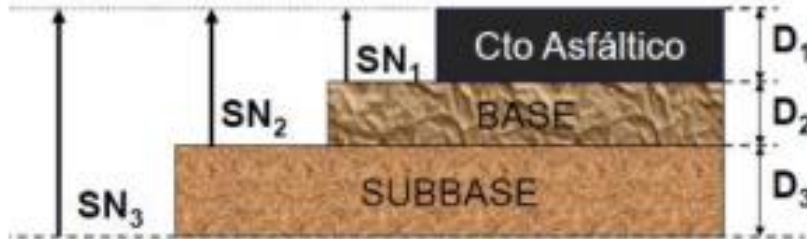


Figura 15. Detalle del cálculo estructural y espesores.

Teniendo todos los valores anteriormente mencionados, se procede a realizar el cálculo de los espesores de las capas de la estructura de pavimento flexible, utilizando el programa AASHTO-93, donde se obtienen los números estructurales (SN). Para el cálculo de la capa de rodadura se tiene un (SN) de 1.25 pulg.

La imagen muestra la interfaz de usuario del software 'Ecuación AASHTO 93'. Los campos de entrada y salida son los siguientes:

- Tipo de Pavimento:**  Pavimento flexible,  Pavimento rígido.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 %  $Z_r = -1.282$ ,  $S_o = 0.46$ .
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.3.
- Módulo resiliente de la subrasante:**  $M_r = 27890$  psi.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Campos vacíos para  $E_c$  (psi),  $S_c$  (psi),  $J$  y  $C_d$ .
- Tipo de Análisis:**  Calcular SN,  Calcular  $W_{18}$ . Resultado:  $W_{18} = 53193$ .
- Número Estructural:** Resultado:  $SN = 1.25$ .

Botones: 'Calcular' y 'Salir'.

- El número estructura de la base (SN)= 1.63

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So' is 0.46. The 'Serviciabilidad inicial y final' are 'PSI inicial' 4.2 and 'PSI final' 2.3. The 'Módulo resiliente de la subrasante' (Mr) is 15000 psi. The 'Tipo de Análisis' is 'Calcular SN', resulting in 'W18 = 53193' and 'Número Estructural SN = 1.63'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

- Estructura completa (SN3) :2.03

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So' is 0.46. The 'Serviciabilidad inicial y final' are 'PSI inicial' 4.2 and 'PSI final' 2.3. The 'Módulo resiliente de la subrasante' (Mr) is 8532 psi. The 'Tipo de Análisis' is 'Calcular SN', resulting in 'W18 = 53193' and 'Número Estructural SN = 2.03'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

De esta manera, se muestra el resumen del número estructural de cada capa de la estructura de pavimento, la cual se puede observar en la siguiente tabla:

ESPEORES CALCULADOS		CAPAS
SN1	1.25	Carpeta asfáltica
SN2	1.63	Base
SN3	2.03	Total, de la estructura

Tabla 27. Resumen de Espesores

Después tener el resumen de los espesores, se hace el cálculo de los espesores por medio de la siguiente fórmula:

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

$$D2 \geq \frac{SN2 - SN1}{a2m2}$$

$$D3 \geq \frac{SN3 - SN2}{a3m3}$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores se tienen los siguientes espesores de la carpeta asfáltica:

ESPEORES CALCULADOS				
<b>D1</b>	2.84	Pug	7.22	Cm
<b>D2</b>	3.02	Pug	7.66	Cm
<b>D3</b>	4.04	Pug	10.26	Cm

Tabla 28. Espesores Calculados

Por medio de los espesores calculados, se realiza el chequeo por balanceo de espesores para determinar el valor real del espesor con valores enteros para facilitar la etapa de construcción.



ESPESORES BALANCEADOS				
<b>D1</b>	10.0	Cm	3.9	Pug
<b>D2</b>	15.0	Cm	5.9	Pug
<b>D3</b>	20.0	Cm	7.9	Pug

Tabla 29. Espesores Balanceados

El respectivo análisis se hace comprobando el total del número estructural y chequeando la sumatoria de nuevos espesores, lo cual debe ser mayor o igual al número estructural.

CHEQUEO ESTRUCTURAL	
<b>SN1</b>	1.73
<b>SN2</b>	0.74
<b>SN3</b>	0.78
<b>SN</b>	3.26

Tabla 30. Chequeo Estructural

Realizando el balance estructural, observamos que el anterior SN3 tiene un valor de 2.03 en la tabla N. 27 y el balance de espesores da mayor 3.26, lo cual cumple.

A continuación, se muestra la siguiente sección donde se da a conocer los espesores de las capas de la estructura de pavimento flexible

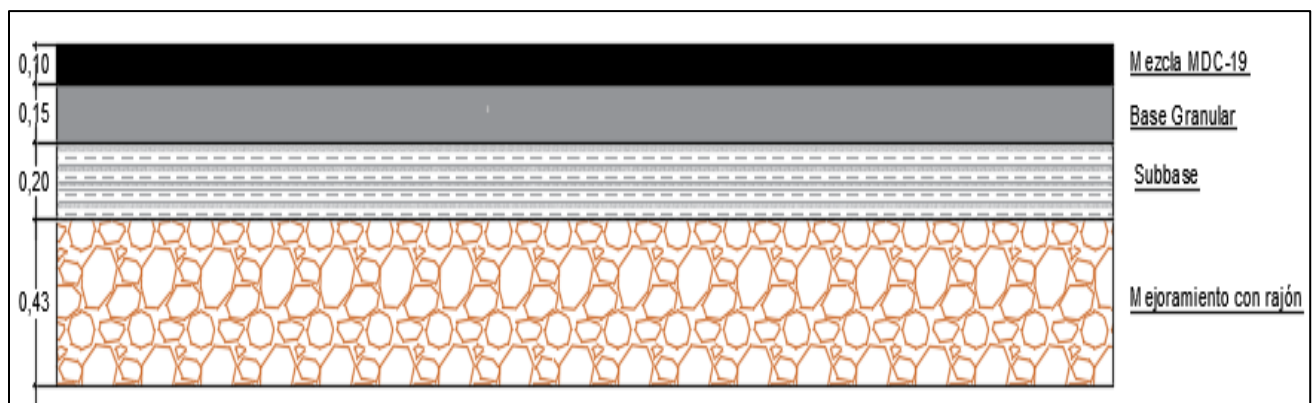


Figura 16. Detalle de la estructura de pavimento.

## **PRESUPUESTO**

Este capítulo describe las actividades que se van a llevar a cabo en el proyecto, el cual describe por separado los capítulos preliminares, la estructura del pavimento, las obras de arte y la señalización con un valor directo de \$ 1,827,296,032, considera un 18% de costos indirectos, más el IVA del 19% sobre la utilidad, con un costo total de \$ 2,170,096,767.60, tal como se muestra a continuación;

Item	Descripción	Unidad	Vr. Unitario	Cantidad	Vr. Total
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1.1	Cerca en tela verde H=2.10M	ML	\$ 25,826	100.00	\$ 2,582,600
1.2	Campamento 18m2	UN	\$ 22,411,461	1.00	\$ 22,411,461
1.3	Localización, trazado y replanteo	M2	\$ 12,500	5000.00	\$ 62,500,000
1.4	Excavaciones varias sin clasificar (incluye retiro de sobrantes a una distancia menor de 5 km)	M3	\$ 23,279	1800.00	\$ 41,902,200
1.5	Conformacion de la calzada existente	M2	\$ 956	5000.00	\$ 4,780,000
<b>TOTAL DE PRELIMINARES</b>					<b>\$ 134,176,261</b>
<b>2</b>	<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>				
2.1	Suministro e instalación de Rajon para mejoramiento de la subrasante	M3	\$ 99,630	900.00	\$ 89,667,000
2.2	Suministro e instalación de subbase granular	M3	\$ 147,651	900.00	\$ 132,885,900
2.3	Suministro e instalación de Base granular	M3	\$ 159,688	550.00	\$ 87,828,400
2.4	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	M3	\$ 934,503	500.00	\$ 467,251,500
2.5	Riego de imprimación	M2	\$ 3,762	5000.00	\$ 18,810,000
2.6	Riego de sello	M2	\$ 1,296	5000.00	\$ 6,480,000
<b>TOTAL DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>					<b>\$ 802,922,800</b>
<b>3</b>	<b>OBRAS DE ARTE</b>				
3.1	Cuneta en concreto clase D f'c=3000psi(incluye malla electrosoldada de 6mm)	M3	\$ 810,000	270.00	\$ 218,700,000
3.2	Material para filtro (incluye todos los costos de suministro, transporte y colocación)	M3	\$ 191,047	720.00	\$ 137,553,840
3.3	Suministro e instalación de geotextil NT 3000 (estabilización, filtro y separación)	M2	\$ 5,695	3600	\$ 20,502,000
3.4	Tubería de drenaje PVC 6"	ML	\$ 45,047	1000	\$ 45,047,000
3.5	Subbase granular	M3	\$ 147,651	180	\$ 26,577,180
3.6	Concreto clase D, f'c =3000 PSI (Incluye todos los costos de suministro, transporte y colocacion)	M3	\$ 628,195	560.8	\$ 352,291,756
3.7	Suministro figurado y armado de acero de refuerzo 60000 PSI	KG	\$ 7,850	1542.7	\$ 12,110,195
<b>TOTAL DE OBRAS DE ARTE</b>					<b>\$ 812,781,971</b>
<b>4</b>	<b>SEÑALIZACIÓN</b>				
4.1	Líneas de demarcación con pintura en frio	ML	\$ 4,746	8000.00	\$ 37,968,000
4.2	Suministro e instalación de tachas reflectivas unidireccional	UN	\$ 15,947	1000.00	\$ 15,947,000
4.3	Señalización vertical tipo 1.	GL	\$ 15,000,000	1.00	\$ 15,000,000
<b>TOTAL DE SEÑALIZACIÓN</b>					<b>\$ 68,915,000</b>
<b>5</b>	<b>PMT DURANTE LA CONSTRUCCIÓN</b>				
5.1	Plan de Manejo de Trafico	GL	\$ 8,500,000	1.00	\$ 8,500,000
<b>TOTAL DE OBRAS DE ARTE</b>					<b>\$ 8,500,000</b>
<b>SUBTOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 1,827,296,032</b>
ADMINISTRACIÓN				10%	\$ 182,729,603
IMPREVISTO				4%	\$ 73,091,841
UTILIDAD				4%	\$ 73,091,841
<b>TOTAL DEL A.I.U</b>					<b>\$ 328,913,286</b>
IVA(SOBRE LA UTILIDAD)				19%	\$ 13,887,449.84
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>\$ 2,170,096,767.60</b>

Tabla 31. Presupuesto del proyecto.

# Cronograma

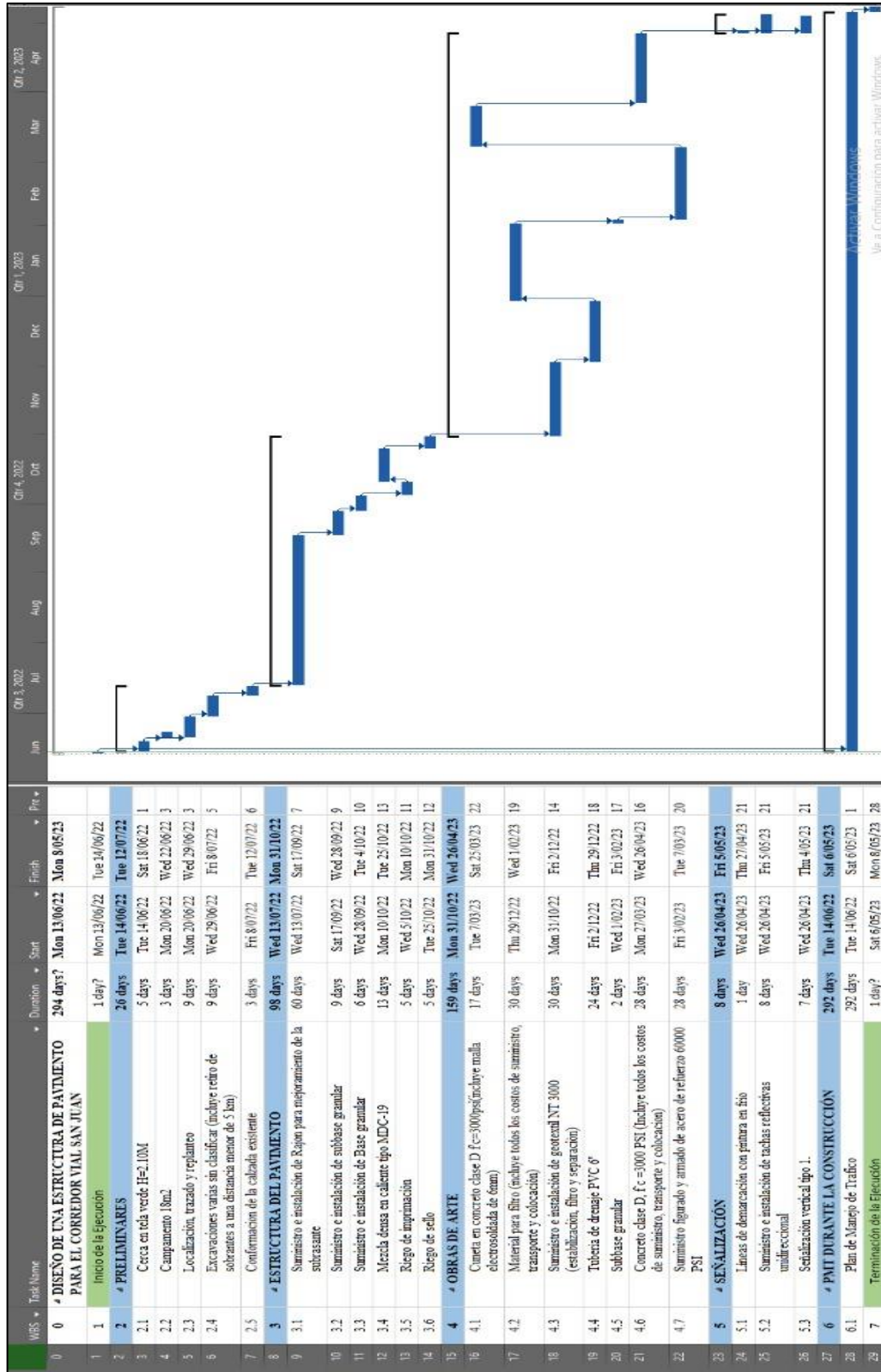


Figura 17. Cronograma de Ejecución

**Infraworks**



*Figura 18. Render*

## CONCLUSIONES

- ✚ La alternativa de la estructura de pavimento flexible, según la metodología AASHTO-93 y el balance de espesores da un diseño de conformación de 10 cm de carpeta asfáltica, 15 cm base, 20 cm subbase y 43 cm de mejoramiento con rajón.
- ✚ De acuerdo con los ensayos suministrados por la Alcaldía de San Juan de Rioseco se tiene en el primer tramo un CBR de 3% con características limo elásticos de color café con vetas de oxidación extremadamente elástico, por este motivo se tiene un mejoramiento con rajón de 43 cm, donde se optimiza la capacidad portante de la subrasante, lo cual redundará en mayor seguridad y menores mantenimientos periódicos.
- ✚ Se hace indispensable la utilización de una capa de sello con riego de imprimación en la base y en la carpeta asfáltica, ya que el transporte que utiliza la vía es NT1, no siendo continuo, por lo tanto, no se encuentra bien sellada la carpeta de rodadura y por ello se utiliza este tipo de sello para mitigar el desprendimiento y desgaste en condición climáticas severas, como también brindar la seguridad de la textura superficial y proveerla de mayor resistencia al deslizamiento
- ✚ En el estudio hidrológico realizado se determina un caudal  $0,55\text{m}^3/\text{s}$ , donde el diseño de la alcantarilla circular da un diámetro de 0.73 m con una velocidad de 0.75 m/s, de manera que se cumpla con la norma. RAS-2000.
- ✚ De acuerdo con el estado de la vía existente y la cantidad de agua superficial como subterránea que hay en la zona de estudio, se debe realizar un filtro de 1.20 m y 0.60m para evitar que el nivel freático del talud arrastre todo el particular finas de la estructura de pavimento.

- ✚ Teniendo en cuenta todos los estudios y diseños realizados se tiene un costo total del proyecto de \$2,170,096,767.60 y una ejecución de 10 meses.

### **RECOMENDACIONES**

- ✚ Para la continuación de la estructura de pavimento existente con la del nuevo diseño se recomienda en la capa de granulares instalar una geomalla biaxial y hacer un escalonamiento para unir bien las dos estructuras de pavimento, esto con el fin del cambio de rigidez que existe en las dos estructuras para evitar que se presenten fisuras en la parte de la carpeta asfáltica.
- ✚ Se recomienda hacer ensayos de caracterización mensual y semanal de la base, subbase, los materiales de la mezcla asfáltica y de concreto para tener un control de calidad en la obra. Para el caso de los ensayos de piedra filtro se debe hacer de manera mensual; si no se cambia de planta, se recomienda revisar el certificado de calidad de los demás materiales a utilizar.
- ✚ A la hora de tomar densidades en campo en la capa de base y subbase no se aceptará que sea menor del 98% y no se libera para la continuidad de las demás capas, y para la toma de la densidad en campo de la base donde se apoya la cuneta mínima del 95%.
- ✚ Para el suministro de los materiales pétreos se recomienda verificar los permisos ambientales y mineros de las plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARBOLEDA PAVA, E. E. (2015). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS NORMAS TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN COLOMBIA Y BRASIL*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17107/ESTUDIO%20COMPARATIVO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asopac. (2004). *Cartilla de Pavimento Asfáltico*.
- Instituto Nacional de VÍAS . (2007). *Manual de diseño de pavimento asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito* . Bogotá : Ministerio de Transporte .
- INVIAS. (2008 ). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá D.C. : Ministerio de Transporte .
- Jiménez Guzmán, P. A., & Gómez García, R. E. (2013). *Diseño de la estructura de pavimento en concreto asfáltico de la vía Tabio Subachoque en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá : Repositorio Universidad Católica .
- Rico Rodríguez , A. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terciarias*. Mexico : Limusa.
- Steer Davies & Gleave. (2006). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad y Reformulación del Plan Vial y de Transporte del POT y DAPD*. Bogota D.C.
- Valandia Ubate , A. A. (2019). - *Diseño de la estructura de pavimento flexible del segmento vial ubicado en la carrera 72 c entre calle 9a y 10 de la localidad de Kennedy barrio Bavaria en la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Repositorio Universidad Militar Nueva Granada.
- Zarate Bulla , D. F. (2020). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA VÍA LENGUAZAQUE - VILLAPINZÓN EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA*. BOGOTÁ D.C.: Repositorio Univerversidad Militar.