

Evaluación del diseño estructural de pavimento flexible en ejecución y planteamiento de alternativa para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1.2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca



Trabajo de grado para obtener el título de Especialista en Ingeniería de pavimentos.

Tutor: Ing. José Luis Mercado Pérez

July Andrea Montes Nemocon

Diciembre 5 de 2020

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	11
2. ABSTRACT.....	12
3. INTRODUCCIÓN.....	13
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
5. OBJETIVOS	16
6. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO	20
7.1. Periodo de diseño	22
7.2. Transito.....	24
7.3. Subrasante	29
7.4. Metodología AASHTO	30
8. DISEÑO METODOLÓGICO.....	38
9. RESULTADOS	43
9.1. Antecedentes	43
9.2. Evaluación diseño de pavimento Consorcio vías quebradanegra (año 2020).....	47
9.2.1. Tránsito	48
9.2.2. Exploración geotécnica.....	53
9.2.3. Estructura del pavimento	59

9.3.	Análisis económico	95
10.	CONCLUSIONES	101
11.	RECOMENDACIONES.....	104
12.	REFERENCIAS.....	105
13.	ANEXOS	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Periodos de diseño pavimentos flexibles con medios y altos volúmenes de transito	23
Tabla 2 Periodos de diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos.....	23
Tabla 3 Niveles de transito	26
Tabla 4 Clasificación tránsito para bajos volúmenes de transito.....	27
Tabla 5 Categorización de los proyectos según el volumen de tránsito.	28
Tabla 6 Categorización subrasante	30
Tabla 7 Valores serviciabilidad final	32
Tabla 8 Valores de confiabilidad	32
Tabla 9	36
Tabla 10 Matriz metodológica	41
Tabla 11 Sectorización diseño de pavimento.....	46
Tabla 12 Composición y volúmenes de vehículos comerciales.....	48
Tabla 13 Composición y volúmenes de vehículos comerciales.....	49
Tabla 14 Tasas promedio de crecimiento vehicular anual por periodos.....	50
Tabla 15 Factor de distribución por carril.....	50
Tabla 16 Porcentaje de distribución de flujos.....	51
Tabla 17 <i>Proyección a 10 y 20 años del TPD, Estudios y diseños iniciales</i>	52
Tabla 18 Número de ejes equivalentes	52
Tabla 19 Resumen resultados laboratorio Dincitec	54
Tabla 20 Resumen resultados laboratorio Dincitec	54
Tabla 21 Resumen resultados laboratorio Concrelab	55

Tabla 22 Resumen resultados laboratorio Concrelab	55
Tabla 23 Resumen resultados laboratorio Pavimconc	56
Tabla 24 Resumen resultados laboratorio Pavimconc	56
Tabla 25 Sectorización resultados ensayos de laboratorio	57
Tabla 26 Sectorización por tipo de intervención	58
Tabla 27 Coeficientes estructurales <i>ai</i>	62
Tabla 28 Categorías de clima por temperatura	63
Tabla 29 Valores de entrada AASHTO-93 (Constructor)	64
Tabla 30 Valores típicos <i>ai</i>	67
Tabla 31 Gradaciones sugeridas reciclado en frío	68
Tabla 32 Espesores mínimos capa de rodadura sobre una base reciclada en frío.....	70
Tabla 33 Tipos bases estabilizadas con emulsión.....	70
Tabla 34 Módulos tipos de mezclas.....	71
Tabla 35 Valores representativos de % pasa tamices N°4 y 200 y límites de consistencia.....	73
Tabla 36 Calculo valor representativo del porcentaje (%) que pasa el tamiz N°200	74
Tabla 37 Valor representativo por percentiles	75
Tabla 38 Comprobación de cumplimiento del material como afirmado – Art. 311-13.....	75
Tabla 39 Comprobación de cumplimiento del material como sub-base granular – Art. 320-13..	75
Tabla 40 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas.....	78
Tabla 41 Datos de entrada para cálculo del SN requerido	79
Tabla 42 Datos para el cálculo de SN esperado.....	80
Tabla 43 Datos de entrada diseño alternativa de reciclado.....	82
Tabla 44 Resumen módulos de las capas (Constructor)	88

Tabla 45 Comparación datos de entrada AASHTO-93	89
Tabla 46 Espesores mínimos carpeta asfáltica.....	90
Tabla 47 Espesores diseños reciclado.....	96
Tabla 48 Costos totales estructuras de pavimento para reciclado.....	97
Tabla 49 Costos totales estructuras de pavimento para reconstrucción.....	98
Tabla 50 Costos total tramo intervención con uniformidad en espesor del pavimento	99
Tabla 51 Diseño rehabilitación más económico	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. La figura indica la localización general proyecto.....	18
Figura 2. La figura presenta la ubicación del tramo objeto del estudio	18
Figura 3. La figura ilustra el esquema estructural tipo de los pavimentos flexibles, rígidos y articulado. Elaboración propia.	20
Figura 4. La figura ilustra los vehículos de transporte de carga más comunes en el país. (Londoño Naranjo, Alvarez Pabón, & ICPC, 2008).....	25
Figura 5. La figura muestra las cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia dependiendo la configuración del sistema. (Universidad del Cauca, 2015)	26
Figura 6. La figura la grafica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo elástico para concreto asfáltico. (AASHTO, 1993)	33
Figura 7. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para base granular. (AASHTO, 1993)	34
Figura 8. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para una base tratada con cemento. (AASHTO, 1993).....	35
Figura 9 La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para una base tratada con emulsión. (AASHTO, 1993)	35
Figura 10. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para una subbase granular. (AASHTO, 1993).....	36
Figura 11. La figura muestra el diseño de pavimento recomendado para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según Estudios y diseños adelantados por el ICCU en el año 2017. (Consortio Dincitec, 2018).....	43

Figura 12. La figura muestra el diseño de pavimento recomendado en caso de que se cumpla la condición anteriormente descrita. (Consortio Dincitec, 2018)	44
Figura 13. La figura muestra la mejor alternativa de diseño de pavimento para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según Estudios y diseños adelantados por el ICCU en el año 2017. (Consortio Dincitec, 2018).....	44
Figura 14. La figura muestra el presupuesto para la estructura de pavimento.	46
Figura 15. La figura muestra el diseño de pavimento de la estructura nueva para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según la revisión de los Estudios y diseños adelantada por el Contratista en el año 2020. (Consortio Vías Quebradanegra , 2020)	47
Figura 16. La figura muestra el diseño de pavimento de la estructura reciclada para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según la revisión de los Estudios y diseños adelantada por el Contratista en el año 2020. (Consortio Vías Quebradanegra , 2020).....	47
Figura 17. La figura muestra las dos estructuras de pavimento para el mejoramiento de la vía, establecidas por el Consultor y Contratista. Elaboración propia.	60
Figura 18. La figura muestra la gráfica AASHTO para hallar el modulo del concreto asfáltico a partir de un coeficiente estructural. (AASHTO, 1993).....	64
<i>Figura 19.</i> La figura indica la granulometría obtenida por el laboratorio Pavimconc a muestras de material en seis puntos para el diseño de la base estabilizada.	69
Figura 20. La figura indica la gráfica para el diseño de pavimentos asfálticos reciclados en frío (Mezcla tipo A) (Montejo, 2002).....	69
Figura 21. La figura muestra la inconsistencia en el valor del módulo de material granular, determinado por el Constructor para un coeficiente de aporte estructural de 0.10. (AASHTO, 1993)	72

Figura 22. La figura muestra porcentajes (%) que pasan los tamices N°4 y N°200 del material existente previo al ajuste del diseño del pavimento.....	73
Figura 23. La figura muestra los límites de consistencia del material existente previo al ajuste del diseño del pavimento.	73
Figura 24. La figura ilustra los percentiles por cada porcentaje (%) que pasa el tamiz N°200....	74
Figura 25. La figura muestra la obtención del módulo de una subbase granular cuyo coeficiente estructural es de 0.10, utilizando la gráfica AASHTO. (AASHTO, 1993). (AASHTO, 1993)....	77
Figura 26. La figura muestra la clasificación climática de Colombia por humedad con base en el Índice de Thornthwite. (El Alcazar Limitada, 2007).....	78
Figura 27. La figura muestra el resultado de SN	80
Figura 28. Cálculo SN esperado diseño del Consultor (Consortio Dincitec, 2018). Elaboración propia	81
Figura 29. Cálculo SN esperado diseño del Constructor (Consortio Vías Quebradanegra , 2020). Elaboración propia	82
Figura 30. La figura muestra los resultados obtenidos de SN en el programa AASHTO-93.....	84
Figura 31. La figura muestra los espesores de la alternativa 1 de diseño de reciclado. Elaboración propia	85
Figura 32. La figura muestra los espesores de la alternativa 2 de diseño de reciclado. Elaboración propia	85
Figura 33. La figura muestra la obtención del módulo de una base granular cuyo coeficiente estructural es 0.14, utilizando la gráfica AASHTO. (AASHTO, 1993). (AASHTO, 1993)	87
Figura 34. La figura muestra la obtención del módulo de una subbase granular cuyo coeficiente estructural es 0.12, utilizando la gráfica AASHTO. (AASHTO, 1993)	88

Figura 35. La figura muestra los resultados obtenidos de SN en el programa AASHTO-93.....	90
Figura 36. La figura muestra la verificación de cumplimiento de la condición con los espesores propuestos por el Contratista.	91
Figura 37. La figura muestra los resultados obtenidos de SN en el programa AASHTO-93.....	92
Figura 38. La figura muestra los espesores de la alternativa 1 de diseño de reconstrucción. Elaboración propia	93
Figura 39. La figura muestra los espesores de la alternativa 2 de diseño de reconstrucción. Elaboración propia	94
Figura 40. La figura muestra los espesores de la alternativa 3 de diseño de reconstrucción. Elaboración propia	94
Figura 41. La figura muestra las alternativas de diseño para reciclado	96
Figura 42. La figura muestra las alternativas de diseño para reconstrucción	98

1. RESUMEN

El presente documento consiste en la evaluación del diseño de pavimento actualmente en ejecución para el mejoramiento de la vía Villeta – La Magdalena que hace parte de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma, con una longitud de 1.2km y un punto de inicio a 7Km de la intersección vial de la Ruta Villeta – Útica – La Palma y la Autopista Medellín. Este diseño es producto de un ajuste a un diseño de pavimento inicial, que dio como resultado la sectorización del tramo de 1.2km, así como un cambio en los espesores de las capas.

Para la evaluación del diseño que está siendo ejecutado, se efectuará un análisis de los valores adoptados para las variables en el diseño del Constructor, tales como serviciabilidad, confiabilidad, coeficientes de aporte y drenaje, módulos, entre otros, utilizando la metodología de diseño AASHTO-93 y empleando las Especificaciones técnicas y Guías de diseño y rehabilitación del INVIAS.

De forma paralela a la evaluación del diseño, se planteará una alternativa de diseño de pavimento, generando de esta manera un comparativo constante entre los diseños y finalmente establecer un diseño para el mejoramiento de la vía.

Palabras claves: rehabilitación, reciclado, mejoramiento, diseño, alternativa, pavimento, módulo.

2. ABSTRACT

This document consists of the evaluation of the pavement design currently underway for the improvement of the Villeta - La Magdalena road that is part of the 50NC10 Villeta - Útica - La Palma route, with a length of 1.2km and a starting point at 7Km from the road intersection of Ruta Villeta - Útica - La Palma and Autopista Medellín. This design is the product of an adjustment to an initial pavement design, which resulted in the sectorization of the 1.2km stretch, as well as a change in the thickness of the layers.

For the evaluation of the design that is being executed, an analysis of the values adopted for the variables in the Builder's design, such as serviceability, reliability, supply and drainage coefficients, modules, among others, will be carried out using the AASHTO design methodology. -93 and using the INVIAS Technical Specifications and Design and Rehabilitation Guidelines.

In parallel to the design evaluation, a pavement design alternative will be proposed, thus generating a constant comparison between the designs and finally establishing a design for the improvement of the road.

Keywords: rehabilitation, recycling, improvement, design, alternative, pavement, module.

3. INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia de las vías para el desarrollo económico, social, y el estado actual de la red vial colombiana en general, se requiere el mejoramiento y/o rehabilitación de vías en el país. Por tal motivo, entre los años 2017 y 2018 se efectuaron los estudios y diseños para el mejoramiento del tramo de Villeta - Útica en dos tramos de 1.2 y 1.8km a la altura del Municipio de Quebradanegra. Para el año 2019, se realizó un ajuste a los estudios y diseños definidos inicialmente y se obtuvo una nueva estructura de pavimentos para los dos tramos ya enunciados. Sin embargo, en el presente documento, se evaluará únicamente la estructura de pavimento del tramo de 1.2km ubicado en la vía Villeta – La Magdalena, que hace parte de la ruta 50CN10 Villeta – Útica – La Palma.

Con el presente documento se pretende evaluar las variables adoptadas para el diseño del pavimento flexible que actualmente está siendo ejecutada, con el fin de plantear una alternativa al diseño óptima, para finalmente realizar una comparativa entre las estructuras de pavimento, de tipo económico y constructivo.

Para la evaluación del ajuste al diseño original se tomará como referencia el estudio de tránsito del Consultor (año 2018) y la exploración geotécnica efectuada por el Constructor (2020), teniendo en cuenta las condiciones actuales e imposibilidad de un desplazamiento a obra, además de las limitaciones económicas.

Teniendo en cuenta que la rehabilitación se efectuará a un pavimento flexible en mal estado, y que lo establecido por el Municipio de Quebradanegra mediante el contrato de obra en el año 2019, contempló una rehabilitación en pavimento flexible de acuerdo con el presupuesto

oficial de dicho contrato, por lo que, en el presente documento, la alternativa planteada, corresponderá a un diseño de rehabilitación en flexible.

La metodología utilizada por el Contratista fue la AASHTO-93, por lo que, de forma paralela, se realizará la evaluación del diseño y se planteará alternativa con esta misma metodología. De igual manera, se tendrá como referente la Guía de rehabilitación de pavimentos flexibles y la Guía de diseño de pavimentos flexibles para bajos volúmenes de tránsito del INVIAS.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estado en el que se encuentran las vías del Departamento de Cundinamarca y como objeto de estudio del presente documento, la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma y puntualmente en el tramo de Villeta – La Magdalena de una longitud de 1.2km, originaron la necesidad de intervención de la misma, por lo que entre los años 2017 y 2018 se adelantaron los Estudios y Diseños los cuales fueron ejecutados por el ICCU y posteriormente por el Municipio de Quebradanegra se contrató la ejecución de estos diseños. Sin embargo, este diseño inicial se ajustó, teniendo en cuenta las condiciones actualizadas del pavimento, conllevando una sectorización de intervención del tramo, que consistió en un aumento en los espesores de las capas del pavimento para dos subtramos y estructura nueva de pavimento para los dos subtramos restantes, por lo que se requiere evaluar dicho ajuste.

Dado lo anterior, es necesario determinar ¿Cómo evaluar el diseño estructural de pavimento flexible en ejecución y plantear una alternativa para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1,2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca?

5. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el diseño estructural de pavimento flexible en ejecución y plantear una alternativa para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1,2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca.

Objetivos específicos

- Analizar la información adoptada para el diseño del pavimento para el mejoramiento y rehabilitación de la vía.
- Proponer un diseño de pavimento teniendo en cuenta la misma información referente a resultados de ensayos de laboratorio y tránsito.
- Comparar el diseño de pavimento en ejecución con la alternativa de diseño propuesta en el presente documento.

6. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El ajuste efectuado en el año 2020 al diseño de la estructura de pavimento que conllevó a un aumento en los espesores del diseño inicial consignado en los Estudios y diseños ejecutados por el ICCU entre los años 2017 y 2018, así como una estructura nueva para dos tramos correspondientes a los 1.2km de intervención, originan la necesidad de evaluar el diseño en ejecución y plantear una alternativa, para posteriormente efectuar un comparativo a nivel económico y técnico entre los diseños, garantizando que el diseño permita mejorar las condiciones actuales de la vía garantizando la velocidad de los vehículos, comodidad y seguridad de los usuarios y en general las condiciones de servicio de la vía.

Delimitaciones del estudio

Limitaciones de tiempo

El tiempo ofrecido por la Universidad para desarrollar el proyecto y el tiempo que demanda realizar un diseño, pues cuatro (4) meses es un tiempo corto si lo que se busca es aplicar desde la caracterización de la subrasante hasta la obtención del diseño.

Limitaciones de espacio o territorio

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Quebradanegra en el Departamento de Cundinamarca, por lo que el desplazamiento hasta el sitio, además de las restricciones por aislamiento social, limitan el traslado hasta el proyecto.

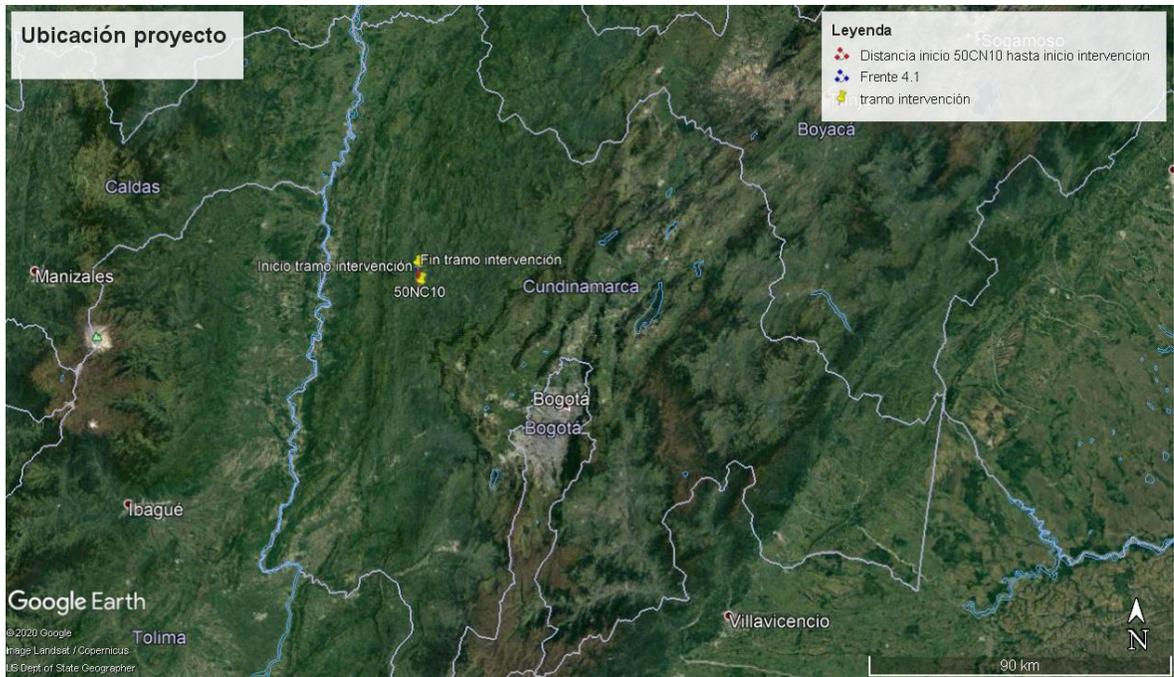


Figura 1. La figura indica la localización general proyecto

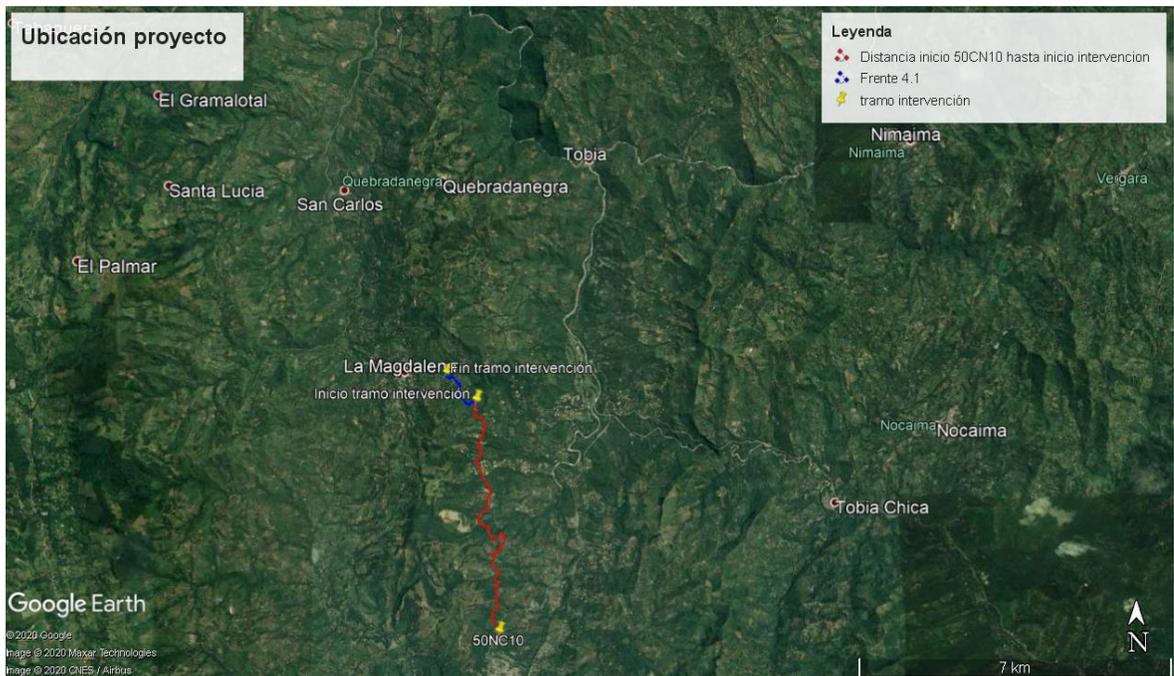


Figura 2. La figura presenta la ubicación del tramo objeto del estudio

Limitaciones de recursos

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, y que para una propuesta de diseño se debe caracterizar la subrasante, para obtener un diseño aterrizado, los recursos actualmente son limitados, pues no se puede realizar trabajo de campo por limitaciones de aislamiento social y factores económico. Sin embargo, la información base será tomada de Estudios y diseños efectuados por el Contratista del proyecto actualmente en ejecución.

7. MARCO TEÓRICO

Un pavimento es una estructura compuesta por capas superpuestas diseñadas y construidas con materiales seleccionados y adecuadamente compactados. Estas capas se apoyan sobre una subrasante. El pavimento deberá resistir las cargas impuestas por el tránsito, la acción de la intemperie, además de transmitir de esfuerzos y deformaciones al suelo, proporcionar una superficie cómoda, segura y económica que permita el tránsito de vehículos a la velocidad prevista y presentar condiciones adecuadas referente al drenaje. (Montejo, 2002).

Los pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles (formado por una carpeta bituminosa), rígidos (compuesto por una losa de concreto hidráulico) y articulados (capa de rodadura constituida por bloques de concreto prefabricado). A continuación, se presenta un esquema tipo de cada tipo de pavimento:

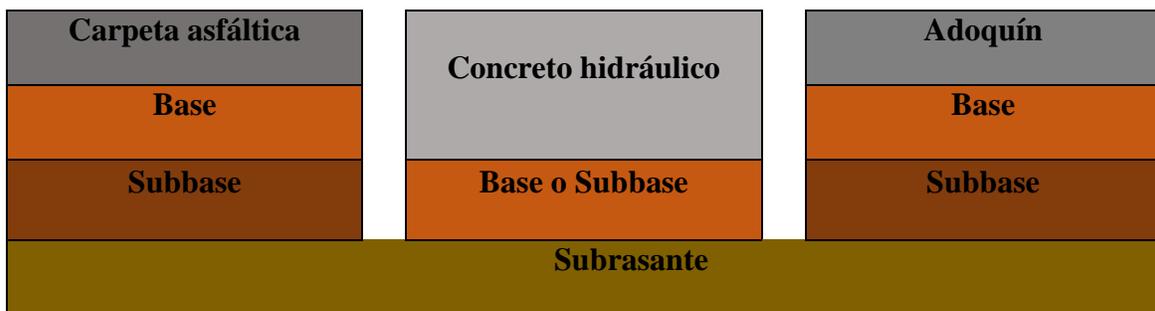


Figura 3. La figura ilustra el esquema estructural tipo de los pavimentos flexibles, rígidos y articulado. Elaboración propia.

Tal como se mencionó anteriormente, el pavimento debe brindar al usuario comodidad, seguridad y economía, por lo que cuando ello no ocurre, se requieren obras de rehabilitación para recuperar así el nivel de servicio del pavimento.

Con la premisa de que la rehabilitación de pavimentos es diferente al mantenimiento rutinario, la rehabilitación abarca las actividades descritas en las 4R, que son:

- Restauración: Ejecución de trabajos que mejoran la condición superficial del pavimento, pero no aumentan su capacidad estructural.
- Refuerzo: Colocación de capas de pavimento que proporcionan capacidad estructural adicional o mejoran el nivel de servicio a los usuarios.
- Reciclado: Reutilización de parte de las capas de la estructura existente, para mejorar su capacidad estructural. La adición de nuevos materiales es necesaria para mejorar la resistencia y el comportamiento del pavimento mejorado.

El reciclado puede ser superficial, en sitio (frío) o en planta (en caliente).

- Reconstrucción: Remoción de capas y reemplazo parcial o total del pavimento, para mejorar su capacidad estructural, adaptándolo a las necesidades del tránsito futuro. (Consortio Beta, 2008).

De acuerdo con la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras del INVIAS, se presentan dos (2) tipos de rehabilitación, la

rehabilitación funcional: que incluye la restauración y parcialmente el refuerzo (cuando su finalidad es corregir deficiencias funcionales del pavimento) y la **rehabilitación estructural:** comprende las actividades de refuerzo (si se construye para prolongar la vida de servicio del pavimento), reciclado y reconstrucción. Con la rehabilitación estructural se corrigen las deficiencias funcionales que presente la estructura de pavimento. (Consortio Beta, 2008).

7.1. Periodo de diseño

El periodo de diseño es el número de años desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales que hacen que la vía pierda su funcionalidad. (El Alcazar Limitada, 2007).

El periodo de diseño “se establece con base en el tránsito que tendría la vía en el año cero y constituye la primera definición que debe adoptar el diseñador, ya que de ella dependerá la cuantificación del tránsito acumulado durante el tiempo de vida útil o periodo del diseño”. (Universidad del Cauca, 2015).

Cuando el diseño contemple una construcción de una estructura nueva o reconstrucción, se tiene que:

Para el caso de los pavimentos rígidos, de acuerdo con el Manual de diseño de pavimentos en concreto del INVIAS, se recomienda que el período de diseño sea igual o superior a los 20 años, debido a su característica funcional. (Universidad del Cauca, 2015)

Para los pavimentos flexibles con bajos niveles de tránsito se ha considerado adoptar un periodo de diseño estructural de diez (10) años. (El Alcazar Limitada, 2007)

Para los pavimentos flexibles con medios y altos bajo nivel de tránsito se establece el periodo de diseño con base en el tránsito promedio diario TPD inicial de la vía y número de carriles por sentido, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1 *Periodos de diseño pavimentos flexibles con medios y altos volúmenes de tránsito*

Vías de dos carriles y dos sentidos		Vías de dos calzadas					
		Dos carriles por sentido		Tres carriles por sentido		Más de tres carriles por sentido	
TPD < 5000	TPD > 5000	TPD < 7000	TPD > 7000	TPD < 15000	TPD > 15000	TPD < 25000	TPD > 25000
10	15	10	15	15	20	15	20

La tabla 1 indica los periodos de diseño para pavimentos flexibles con medios y altos volúmenes de tránsito de acuerdo con el TPD, número de carriles. (Universidad del Cauca, 2015)

Para el caso de la rehabilitación de pavimentos asfálticos, se establecen los siguientes periodos de diseño teniendo en cuenta el nivel de tránsito y la alternativa de rehabilitación a ejecutar.

Tabla 2 *Periodos de diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos*

ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN	CATEGORÍA DEL TRÁNSITO		
	NT1	NT2	NT3
	Caminos rurales con tránsito medio y bajo	Colectoras interurbanas, caminos rurales e industriales principales	Autopistas interurbanas, caminos interurbanos principales
	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 kN EN EL CARRIL DE DISEÑO DURANTE EL PERÍODO DE DISEÑO DE LAS OBRAS DE REHABILITACIÓN		
	< $0.5 \cdot 10^6$	$0.5 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	> $5 \cdot 10^6$
	PERÍODO DE DISEÑO (años)		
Restauración	Depende de las técnicas de intervención		
Refuerzo	8	10	12
Reciclado	10	15	20
Reconstrucción	10	15	20

La tabla 2 muestra los periodos de diseño para la rehabilitación de pavimentos flexibles.

(Consortio Beta, 2008)

7.2. Transito

El transito es una variable de gran importancia utilizada en el diseño de pavimentos indiferente sea el tipo de pavimento, la carga por eje, configuración del eje y número de repeticiones son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento para un periodo definido.

De acuerdo con la Resolución 4100 de 2004 expedida por el Ministerio de Transporte, se establece la siguiente clasificación vehicular: Autos (A), Buses (B) y Camiones (C). Los buses y los camiones se consideran como vehículos comerciales y son los que se contemplan en la estimación del tránsito para evaluar el efecto de las cargas sobre las estructuras de pavimento.

Para el grupo C, de acuerdo con la configuración de sus ejes: “Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tractocamión (Cabezote), la letra S significa semiremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes, la letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes y la letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes”. (Londoño Naranjo, Alvarez Pabón, & ICPC, 2008)

A continuación, se presentan los vehículos de transporte de carga más comunes en el país:

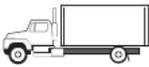
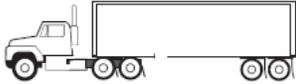
Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Figura 4. La figura ilustra los vehículos de transporte de carga más comunes en el país.

(Londoño Naranjo, Alvarez Pabón, & ICPC, 2008)

Los ejes a través de los cuales los vehículos transmiten la carga al pavimento, pueden ser clasificados en eje simple, eje tándem (doble) o trídem (triple) y pueden ser de llantas sencillas, dobles o mixtas, la Resolución también estableció las cargas máximas por tipo de eje.

Configuración del sistema	Peso máximo por eje kg	Configuración	Configuración del sistema	Peso máximo por eje kg	Configuración
Sistema de eje sencillo			Sistema de eje trídém		
Dos Ruedas	6000		6 ruedas	16500	
Cuatro ruedas	11000		8 ruedas	19000	
Sistema de eje tándem			10 ruedas	21500	
Cuatro ruedas	11000		12 ruedas	24000	
Seis ruedas	17000				
Ocho ruedas	22000				

Figura 5. La figura muestra las cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia dependiendo la configuración del sistema. (Universidad del Cauca, 2015)

El Instituto Nacional de Vías INVIAS considera tres (3) niveles de tránsito como se indica en la siguiente tabla, en función del tránsito de diseño expresado en número de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño:

Tabla 3 Niveles de tránsito

NIVEL DE TRÁNSITO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 kN EN EL CARRIL DE DISEÑO, N_{80kN} , MILLONES
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kN} > 5.0$

La tabla 3 indica la clasificación del tránsito según INVIAS en función del número de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño. (Consortio Normas 2012, 2012)

Para niveles de tránsito bajos (NT1), se emplea el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del INVIAS, en el cual se clasifica el tránsito de diseño en 2 niveles, en función del número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño.

Tabla 4 *Clasificación tránsito para bajos volúmenes de tránsito*

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN durante el período de diseño en el carril de diseño
T1	< 150.000
T2	150.000 - 500.000

La tabla 4 indica la clasificación del tránsito de diseño según el INVIAS para vías de bajos volúmenes de tránsito, en función del número de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño. (El Alcazar Limitada, 2007)

Mientras que para niveles de tránsito medios (NT2) y altos (NT3) se utiliza el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

Tabla 5 *Categorización de los proyectos según el volumen de tránsito.*

Categoría del proyecto	Categoría del Tránsito	Nivel Jerárquico de la información
Media	NT2 Entre 0.5 y 5 millones de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño	Nivel 2 ó 3
Alta	NT3 (Más de 5 millones de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño)	Nivel 1 ó 2

La tabla 5 indica la clasificación del tránsito de diseño según el INVIAS para vías medios y altos volúmenes de tránsito, en función del número de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño. (*Universidad del Cauca, 2015*)

Para el análisis de la variable del tránsito se tendrán en cuenta diferentes aspectos necesarios para su cuantificación, como lo son:

- El tránsito promedio diario (TPD),
- La clasificación de los vehículos,
 - La configuración y las cargas máximas legales de los vehículos comerciales,
 - Los factores de equivalencia de carga para cada tipo de vehículo,
 - La distribución direccional y por carril de los vehículos comerciales,
 - Las series históricas del tránsito,
 - Las tendencias de crecimiento del tránsito,
 - Información de pesajes de vehículos comerciales.

7.3. Subrasante

La calidad de esta capa cobra gran importancia en el diseño del pavimento, pues es el soporte de la estructura.

La subrasante debe satisfacer tres funciones principalmente: soportar un limitado número de vehículos durante la construcción, proveer una apropiada cimentación para compactar las capas de la estructura y proveer un adecuado soporte a las cargas impuestas por el tránsito durante su vida útil (presentar alta resistencia al ahuellamiento y debe tratar de no inducir fatiga en las capas ligadas del pavimento). (Rondón, 2015, p.348)

Para el diseño del pavimento, es importante caracterizar la subrasante, su potencial expansivo y capacidad portante, éste último referido a la resistencia al corte y/o rigidez bajo carga cíclica (carga inducida por el tránsito). Para tal fin, se hace por medio de la relación de soporte de California (CBR) – ensayo CBR, Módulo de reacción de la subrasante (K) – ensayo de placa o Módulo resiliente (M_r) – ensayo triaxial.

Teniendo como precedente la dificultad de efectuar los dos últimos ensayos, se emplean correlaciones entre el Módulo resiliente y CBR, como se evidencia a continuación, con algunas de las correlaciones:

Heukelom y Foster (1960) y Heukelom y Klomp (1962):

$$M_r = 10 \text{ CBR (MPA)} \text{ ó } M_r = 1500 \text{ CBR (psi), para CBR < 10\%}$$

Lister y Pwell (1987), esta correlación es la recomendada por el Manual de diseño de pavimentos asfálticos con bajos volúmenes de tránsito

$$M_r = 2555 \text{ CBR}^{0.64} \text{ (psi), para CBR} < 10\%$$

El Manual de diseño de pavimentos asfálticos con bajos volúmenes de tránsito, establece la siguiente clasificación de la Subrasante teniendo en cuenta el CBR (%):

Tabla 6 *Categorización subrasante*

CATEGORÍA	CBR (%)	COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE
S1	$\text{CBR} \leq 3$	Malo
S2	$3 < \text{CBR} \leq 5$	Regular
S3	$5 < \text{CBR} \leq 10$	Bueno
S4	$\text{CBR} > 10$	Muy Bueno

La tabla 6 indica la clasificación de la subrasante. (El Alcazar Limitada, 2007)

7.4. Metodología AASHTO

La guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, proporciona un conjunto de procedimientos que pueden ser usados para el diseño y la rehabilitación de pavimentos, tanto rígidos como flexibles. (AASHTO, 1993)

Las variables a ser consideradas en el diseño son:

- Tránsito
- Serviciabilidad
- Confiabilidad
- Resistencia de la subrasante
- Propiedades de los materiales
- Drenaje
- Número estructural

- Efectos ambientales

Para pavimentos flexibles, se tiene la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(MR) - 8,07$$

En donde:

W_{18} : Tránsito ($N_{8,2 ton}$)

ΔPSI : Serviciabilidad

Z_R : Desviación estandar normal

S_o : Desviación estándar

MR : Modulo resiliente de la subrasante

SN : Número estructural

El tránsito empleado refiere al tránsito de diseño, expresado en el número de repeticiones de ejes de 8.2 toneladas.

La serviciabilidad se define como la idoneidad del pavimento para servir al tránsito al que va a estar expuesto, por lo tanto, el cambio total del índice de servicio (ΔPSI), se tiene en cuenta la serviciabilidad inicial (P_o), el cual se establece como 4.2 para pavimentos flexibles de acuerdo al ensayo AASHTO, y la serviciabilidad final que depende del tránsito.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Tabla 7 Valores *serviciabilidad final*

TIPO DE VÍA	AASHTO
Autopistas	2,5 a 3,0
Carreteras	2,0 a 2,5
Zonas Industriales	2,0 a 3,0
Urbano principal	1,5 a 2,0
Urbano secundario	1,5 a 2,0

La tabla 7 indica los valores típicos de *serviciabilidad final* dependiendo el tipo de vía.

(AASHTO, 1993)

La confiabilidad es la probabilidad de que la estructura del pavimento, cumpla su función prevista dentro de su vida útil, bajo las condiciones para las que fue diseñado. A continua

Tabla 8 Valores de confiabilidad

Reliability, R (percent)	Standard Normal Deviate, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

La tabla 8 indica los valores de desviación estándar dependiendo la confiabilidad. (AASHTO,

1993)

La variabilidad (S_o) tiene en cuenta las desviaciones del diseño, para una predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito el S_o puede adoptar valores de 0.35 a 0.45 y para una predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito el S_o puede adoptar valores de 0.39 a 0.49.

Los coeficientes de capas son una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento, el método presenta las siguientes gráficas que permiten correlacionar los módulos resilientes y coeficientes estructurales para el concreto asfáltico, base granular, base estabilizada y subbase granular.

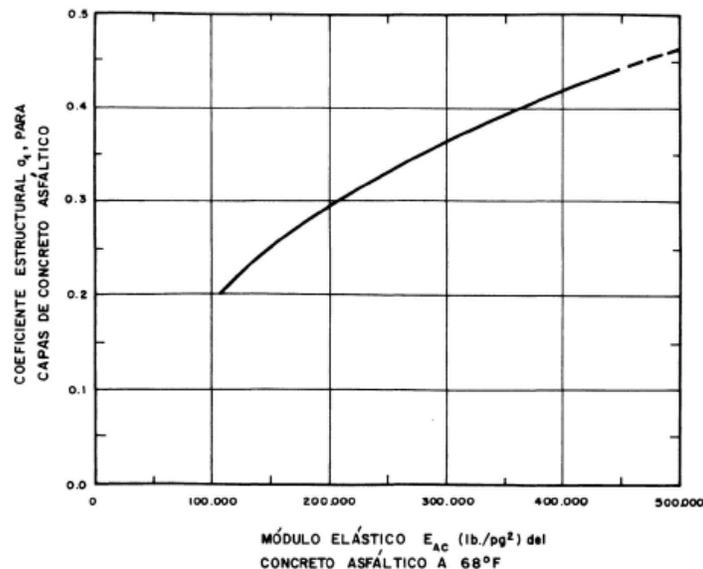


Figura 6. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo elástico para concreto asfáltico. (AASHTO, 1993)

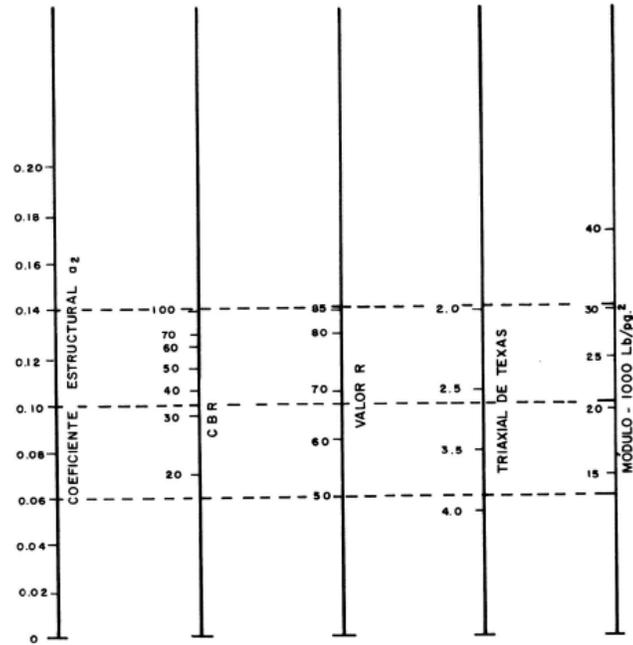


Figura 7. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para base granular. (AASHTO, 1993)

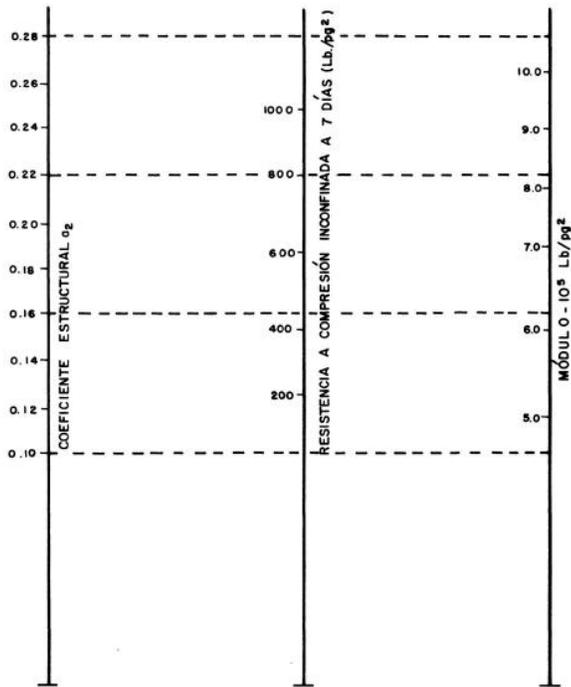


Figura 8. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para una base tratada con cemento. (AASHTO, 1993)

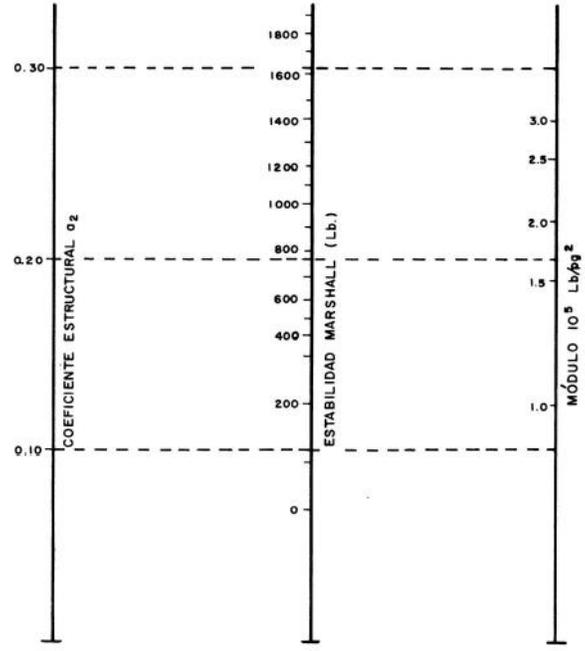


Figura 9 La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para una base tratada con emulsión. (AASHTO, 1993)

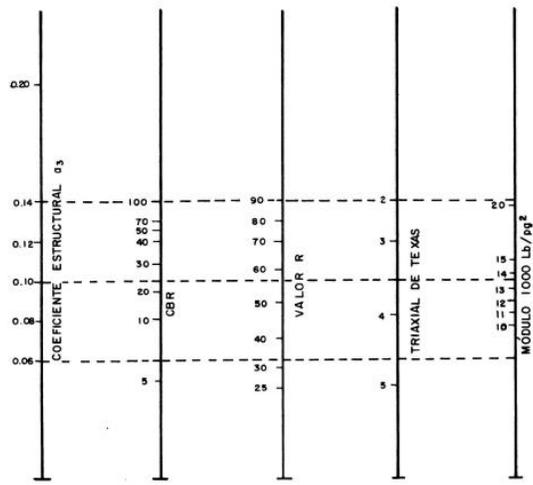


Figura 10. La figura la gráfica AASHTO para de coeficiente estructural vs modulo resiliente para una subbase granular. (AASHTO, 1993)

Para el drenaje se tiene en cuenta el efecto del grado de saturación que podrían tener las capas granulares no tratadas por efecto de las condiciones climáticas. La Guía de diseño para bajos volúmenes de transito establece los siguientes coeficientes:

Tabla 9

Clasificación climática por humedad	m_1
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

El número estructural (SN) es un número que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (M_r).

El método AASHTO no tiene requisitos respecto de la calidad de los materiales empleados como subbase, en este método requiere la subbase requiere el empleo de un coeficiente de capa (a_3) para convertir su espesor en un numero estructural (SN) que es el indicativo del espesor total requerido de pavimento. (Montejo, 2002).

Primero se calcula el SN en la subrasante y posteriormente los SN de las demás capas empleando las variables del tránsito, módulo resiliente, índice de serviciabilidad, confiabilidad y desviación estándar.

Para calcular los espesores de las diferentes capas se tienen las siguientes ecuaciones:

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad SN_{1*} = a_1 D_{1*} \geq SN_1$$

$$D_{2*} \geq \frac{SN_2 - SN_{1*}}{a_2 m_2} \quad SN_{2*} = SN_{1*} + a_2 m_2 D_{2*} \geq SN_2$$

$$D_{3*} \geq \frac{SN_3 - SN_{2*}}{a_3 m_3} \quad SN_{3*} = SN_{2*} + a_3 m_3 D_{3*} \geq SN_3$$

Los valores calculados, serán los SN y espesores mínimos requeridos.

Seguido de esto y empleando la siguiente ecuación, se calcula el SN total, utilizando los coeficientes de aporte y drenaje y espesores ya estimados para cada capa.

$$SN = a_1 H_1 + a_2 H_2 m_2 + a_3 H_3 m_3$$

Se verifica que el SN total sea mayor o igual al SN requerido, de esta manera la estructura de pavimento cumple.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

En términos generales se efectuará una evaluación del diseño estructural del pavimento flexible establecido para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1.2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca, utilizando la siguiente metodología:

La metodología para la evaluación del diseño estructural del pavimento se divide en tres fases principales, de cada una de estas fases se desprenden las actividades necesarias para lograr el objetivo principal del documento.

1. Fase 1: Análisis de la información adoptada para el ajuste al diseño del pavimento inicial

1.1. Para indicar el diseño inicial, producto del contrato de Estudios y Diseños ejecutado por el ICCU se tomará el documento técnico generado por el Consultor (Consortio Dincitec, 2018) y para el diseño ajustado, se tomará del documento generado por el Constructor (Consortio Vías Quebradanegra , 2020).

1.2. Con el fin de identificar y analizar el tránsito de diseño de la estructura de pavimento que actualmente está siendo ejecutada, se requiere tomar los documentos técnicos tanto del año 2018 como el del año 2020. Lo anterior teniendo en cuenta que para el contrato en el que se realizó el ajuste al diseño inicial, no se contempló estudio de tránsito, por lo que se pudo adoptar el transito de diseño del diseño de pavimento inicial (2018).

1.3. Para organizar la información referente a resultados de ensayos de laboratorio se hará utilizando una tabla que compile toda la información y facilite el análisis de la misma. Esta información será tomada del documento técnico del diseño (2020).

2. Fase 2: Propuesta de una alternativa de diseño de pavimento

2.1. Teniendo en cuenta que no es posible efectuar un estudio de tránsito, se adopta el tránsito de diseño establecido en el Documento técnico del diseño 2020, para el diseño de la alternativa.

2.2. Se tomará como referencia los resultados de ensayos de laboratorio para definir características del suelo de subrasante en términos de CBR, para ello se emplearán los resultados de ensayos de laboratorio contenidos en el Documento técnico del diseño 2020, la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. INVIAS y el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito INVIAS.

2.3. Teniendo en cuenta el Documento técnico del diseño 2020, se identifican y analizan las variables de diseño adoptadas por el diseñador tomando como referencia los valores recomendados en la Guía de rehabilitación de pavimentos flexibles del INVIAS y Guía de diseño de pavimentos flexible para bajos volúmenes de tránsito.

2.4. Determinar las variables de diseño para la alternativa, teniendo en cuenta los valores recomendados en la Guía de rehabilitación de pavimentos flexibles del INVIAS y Guía de diseño de pavimentos flexible

2.5. Empleando las ecuaciones de la Guía AASHTO-93, se definen dos o más alternativas de diseño para cada subtramo.

3. Fase 3: Comparación de los diseños

3.1. Con el fin de identificar qué diferencias existen entre los valores de las variables de diseño del Constructor y la alternativa planteada, se listarán los datos.

3.2. Para una comparación económica se tendrá como referencia la Lista de precios del ICCU 2020 y el presupuesto oficial con el que fue contratado la ejecución del mejoramiento y rehabilitación del tramo vial (2020), esta comparación será únicamente de las capas de la estructura de pavimento.

3.3. Parte de las conclusiones del presente documento, es necesario establecer si sí se requería un ajuste al diseño inicial.

3.4. Para establecer el diseño de pavimento para el mejoramiento y rehabilitación del tramo vial, se tomarán los resultados y el comparativo económico.

Como resumen de la metodología, Con el fin de identificar la metodología, se presenta la siguiente matriz metodológica:

Tabla 10 *Matriz metodológica*

OBJETIVO ESPECÍFICO: Analizar la información adoptada para el diseño del pavimento para el mejoramiento y rehabilitación de la vía.		
ACTIVIDAD	MEDIOS	PRODUCTO
Indicar el diseño inicial (2017-2018) y el diseño ajustado (2020).	Documento técnico del diseño ICCU 2018 y Documento técnico del diseño 2020	Resultados v
Identificar y analizar el tránsito de diseño de la estructura de pavimento en ejecución.	Documento técnico del diseño ICCU 2018 y Documento técnico del diseño 2020	
Organizar la información referente a resultados de ensayos de laboratorio y analizarla.	Documento técnico del diseño 2020	
OBJETIVO ESPECÍFICO: Proponer un diseño de pavimento teniendo en cuenta la misma información referente a resultados de ensayos de laboratorio y tránsito.		
ACTIVIDAD	MEDIOS	PRODUCTO
Adoptar el tránsito de diseño.	Documento técnico del diseño 2020.	Resultados
Tomar como referencia los resultados de ensayos de laboratorio y definir características del suelo de subrasante.	Documento técnico del diseño 2020. Metodología AASHTO 93 Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. INVIAS Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. INVIAS.	
Identificar y analizar las variables de diseño adoptadas por el diseñador.	Metodología AASHTO 93 Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. INVIAS Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. INVIAS.	
Determinar variables de diseño de la alternativa	Metodología AASHTO 93 Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. INVIAS Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. INVIAS.	
Definir dos o más alternativas de diseño para cada subtramo.	Metodología AASHTO 93	

OBJETIVO ESPECÍFICO: Comparar el diseño de pavimento en ejecución con la alternativa de diseño propuesta en el presente documento.		
ACTIVIDAD	MEDIOS	PRODUCTO
Identificar qué diferencias existen entre los valores de las variables de diseño del Constructor y la alternativa planteada.	Documento técnico del diseño y Resultados	Conclusiones y recomendaciones
Efectuar un comparativo económico de las capas del pavimento	Presupuesto del diseño Lista de precios ICCU	
Definir si se requería un ajuste al diseño inicial.	Documento técnico del diseño y Resultados	
Establecer el diseño estructural adecuado.	Resultados	

La tabla 10 muestra las actividades necesarias para llevar a cabo los objetivos específicos de la investigación, indicando los medios requeridos y los resultados generados dentro del presente documento.

9. RESULTADOS

9.1. Antecedentes

El Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca mediante contrato 073 del 2017 contrató los Estudios y diseños de las vías del Departamento de Cundinamarca No. 2, como parte de los procesos de mejoramiento vial del departamento de Cundinamarca.

Producto de la celebración de este contrato, en el volumen VI: Estudio geotécnico y diseño del pavimento, se establecieron las siguientes alternativas de diseño:

La siguiente estructura de pavimento flexible es la recomendada a implementar:

MDC-19	Carpeta asfáltica	8 cm
BG-27	Base granular	15 cm
SBG-38	Sub-base granular	25 cm

Figura 11. La figura muestra el diseño de pavimento recomendado para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según Estudios y diseños adelantados por el ICCU en el año 2017. (*Consortio Dincitec, 2018*)

Sin embargo, el Consultor deja la siguiente anotación: “Sí, al realizar las excavaciones propias para construcción de la caja a una profundidad de 0,28 metros y el espesor remanente del afirmado es mínimo de 0,20 metros se recomienda la siguiente estructura más económica (menos excavaciones y menos materiales granulares a emplear)”. (*Consortio Dincitec, 2018*)

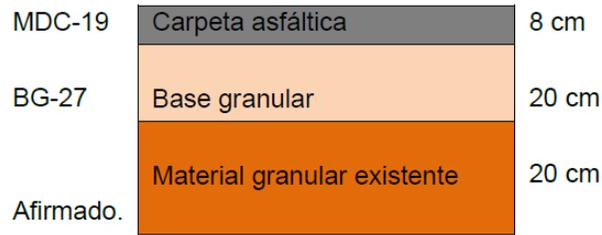


Figura 12. La figura muestra el diseño de pavimento recomendado en caso de que se cumpla la condición anteriormente descrita. (Consortio Dincitec, 2018)

Por otra parte, el Consultor también estableció la siguiente estructura de pavimento flexible como la mejor alternativa en cuanto al costo de construcción:

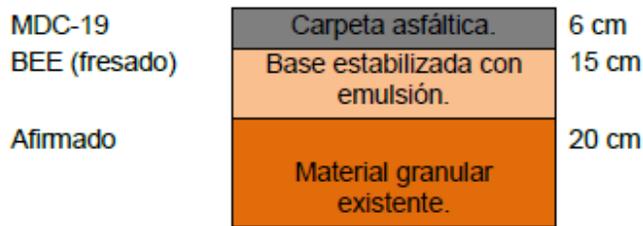


Figura 13. La figura muestra la mejor alternativa de diseño de pavimento para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según Estudios y diseños adelantados por el ICCU en el año 2017. (Consortio Dincitec, 2018)

En caso de que el Constructor optase por la alternativa anterior, el Consultor indica en el documento: “con un fresado de 15 cms, que incluye la carpeta existente y 9 cms del material existente y estabilizar con emulsión asfáltica y construir una nueva carpeta de 6 cms. La base estabilizada con emulsión (BEE), se debe apoyar sobre el afirmado existente (material remanente), garantizando un espesor mínimo de 20 cms y un C.B.R. mínimo del 10%”. (Consortio Dincitec, 2018)

Posteriormente, la Alcaldía de Quebradanegra mediante contrato LP-OBRA-015 del año 2019, contrató el mejoramiento y rehabilitación de la vía Villeta – Útica, a la altura del municipio de Quebradanegra, con un tramo de intervención de tres (3) kilómetros, dividido en dos (2) subtramos de la siguiente manera: El sub-Tramo N°1 (1.2km) que se encuentra a siete (7) kilómetros de La Autopista Medellín – Bogotá D.C., entre La Vega y Villeta, con inicio en El Cruce Vía a Utica con Autopista. El Sub-Tramo N°2 (1.8km), se encuentra ubicado a 6.5 kilómetros del inicio del sub-tramo N°1 en dirección al vecino municipio de Utica. Para el presente documento se efectuará el análisis del sub-Tramo N° 1. (Municipio de Quebradanegra, 2019).

De acuerdo con el anexo técnico del pliego de condiciones del proceso de licitación pública N°002 de 2019, que dio origen al contrato N° LP-OBRA-015 de 2019 adjudicado al Consorcio vías quebradanegra, se estableció que “El contratista deberá realizar validación de dicha estructura mediante todos los ensayos y soportes que considere pertinentes junto con la interventoría y de acuerdo a sus resultados manifestará por escrito si está o no conforme con dicha estructura de pavimento. (...) En caso que el contratista considere que la estructura de pavimento o sus ensayos no son pertinentes para poder emitir posteriormente su póliza de estabilidad, deberá presentar a la interventoría máximo dentro de los veinte (20) días calendarios después de haber firmado acta de inicio, la alternativa de pavimento flexible sugerida” (Municipio de Quebradanegra, 2019).

Teniendo en cuenta el presupuesto para el contrato de obra en mención, la estructura de pavimento que fue presupuestada fue la indicada en la figura 13.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO								
3.1	460.1	460-13		Fresado de pavimento asfáltico	m ²	5.162,00	6.570,00	\$ 33.914.340,00
3.2	420.1	420-13		Riego de imprimación con emulsión asfáltica CRL-1	m ²	6.960,00	3.270,00	\$ 22.759.200,00
3.3	450.2	450-13		Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	m ³	453,60	615.000,00	\$ 278.964.000,00
3.4	330.3	330-13		Base granular clase C	m ³	360,00	131.300,00	\$ 47.268.000,00
3.5	340.1	340-13		Base granular estabilizada BEE (Con material existente e=0,15 m)	m ³	775,00	167.857,00	\$ 130.089.175,00
Subtotal								\$ 512.994.715,00

Figura 14. La figura muestra el presupuesto para la estructura de pavimento.

Una vez efectuada la revisión del diseño de pavimento por parte del Contratista, con la exploración del suelo mediante apiques y ensayos de laboratorio a los materiales del sitio y análisis de los resultados obtenidos, se estableció que se requería sectorizar el diseño del pavimento del tramo, estableciendo dos tipos de intervención como lo son estructura reciclada y estructura nueva, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 11 Sectorización diseño de pavimento

TRAMO 1		
Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Tipo de Intervención
K0+000	K0+700	ESTABILIZADO
K0+730	K0+910	ESTRUCTURA NUEVA
K0+910	K1+070	ESTABILIZADO
K1+070	K1+200	ESTRUCTURA NUEVA

La tabla 11 indica el tipo de intervención a ejecutar con su respectiva ubicación, de acuerdo con el análisis efectuado por el Contratista. (Consorcio Vías Quebradanegra, 2020)

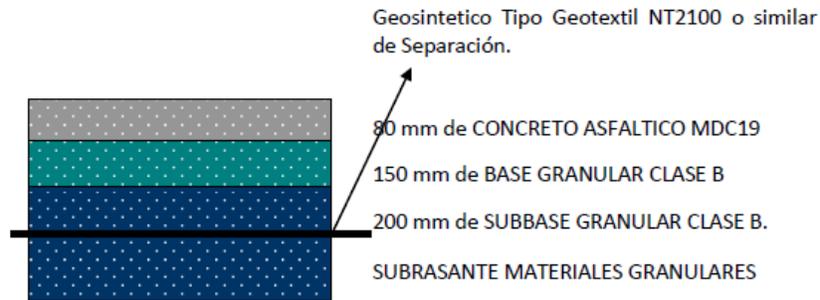


Figura 15. La figura muestra el diseño de pavimento de la estructura nueva para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según la revisión de los Estudios y diseños adelantada por el Contratista en el año 2020. (*Consortio Vías Quebradanegra , 2020*)



Figura 16. La figura muestra el diseño de pavimento de la estructura reciclada para el mejoramiento de la vía Villeta – Útica según la revisión de los Estudios y diseños adelantada por el Contratista en el año 2020. (*Consortio Vías Quebradanegra , 2020*)

9.2. Evaluación diseño de pavimento Consortio vías quebradanegra (año 2020)

A continuación, se procede a realizar la evaluación del diseño de pavimento propuesto por el Contratista, cuyo diseño implicó la modificación del diseño de pavimento original (Consortio Dincitec, 2018).

9.2.1. Tránsito

El Contratista estableció en su diseño de pavimento la siguiente información referente al tránsito:

9.2.1.1. Transito Promedio Diario – TPD.

El Contratista adoptó el TPD calculado por el Consorcio Dincitec en el año 2017, que consistió en la realización de aforos en tres puntos: 1. Intersección de las vías que comunican los municipios de Nocaima – Nimaima y Nocaima – Vergara, 2. Intersección de las vías que comunican los municipios de Vergara – Nocaima y Vergara – Supatá y 3. Ubicada en la salida del municipio de Zipaquirá, en la intersección de la Calle 1 con la vía Zipaquirá – Tabio, estaciones que se encuentran en el área de influencia del proyecto.

Para el cálculo de las proyecciones y de la composición vehicular del tramo vial analizado, se consideraron los registros de TPD de la vía Nocaima - Nimaima, Estación 1, datos que se encuentran consignados en el volumen de tránsito generado por el Consorcio Dincitec.

A continuación, se presenta el volumen de vehículos comerciales acumulados hallados por el Consultor Consorcio Dincitec

Tabla 12 *Composición y volúmenes de vehículos comerciales*

Año	TPDS	Autos	Buses	C ₂ P	C ₂ G	C ₃	Volúmenes vehículos comerciales
		81%	6,6%	5,0%	6,6%	0,7%	19,0%
2.017	451	365	30	23	30	3	86
2.027	512	414	34	26	34	4	98
Acumulados		1'620.000	133.000	101.000	133.000	13.500	380.500

La tabla 12 muestra el volumen vehicular para el año base (2017) y su proyección a diez (10) años (2027). (Consorcio Dincitec, 2018)

Siendo estos los datos adoptados por el Contratista Consorcio vías quebradanegra, con la diferencia de que el año base es el 2020 y el año 10, el 2030.

Tabla 13 *Composición y volúmenes de vehículos comerciales*

Año	TPDS	Autos	Buses	C ₂ P	C ₂ G	C ₃	Volúmenes vehículos comerciales
		81%	6,6%	5,0%	6,6%	0,7%	19,0%
2.020	451	365	30	23	30	3	86
2.030	512	414	34	26	34	4	98
Acumulados		1'620.000	133.000	101.000	133.000	13.500	380.500

La tabla 13 muestra el volumen vehicular para el año base (2017) y su proyección a diez (10) años (2027). (Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

9.2.1.2.Periodo de diseño, tasa de crecimiento, factor de distribución por carril, factor direccional

El periodo de diseño definido por el Contratista es de 10 años, que corresponde al periodo sugerido por el INVIAS en su guía de metodológica para el diseño de obras de rehabilitación en pavimentos asfálticos, teniendo en cuenta que la alternativa de rehabilitación corresponde a reciclado.

La tasa de crecimiento establecida en el Estudio de tránsito, producto de una regresión múltiple multivariada en la que se correlacionaron las variables PIB, Parque automotor como variables independientes respecto a la Población como variable dependiente, obteniendo tasas de crecimiento vehicular promedio año a año, se estimó una tasa promedio de crecimiento en grupos de 5 años, (Consortio Dincitec, 2018), como se muestra en la siguiente tabla y que de teniendo en cuenta el periodo de diseño, corresponde a 1.33%.

Tabla 14 *Tasas promedio de crecimiento vehicular anual por periodos*

Tasas de Crecimiento	
AÑO	Tasa promedio
2020	1.40%
2021-2025	1.33%
2026-2030	1.25%
2030-2034	1.17%
2035-2040	1.11%

La tabla 14 indica la tasa de crecimiento promedio para periodos de 5 años. (Consortio Dincitec, 2018)

Para el proyecto, se tienen dos carriles, un sentido por carril, por lo que el Factor de distribución por carril es 1.

Tabla 15 *Factor de distribución por carril*

Número Total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (Fca.)
1	1.00
2	0.90
3	0.60
4 o más	0.45

La tabla 15 indica los valores del Factor de distribución para el carril de diseño, dependiendo el número total de carriles en cada dirección.

De acuerdo con el Estudio de tránsito, se estableció el siguiente porcentaje de distribución, que corresponde al factor direccional, criterio que fue adoptado por el Contratista.

Tabla 16 *Porcentaje de distribución de flujos*

PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN DE FLUJOS		
SENTIDO	PORCENTAJE	VOLUMEN
VILLETA - ÚTICA	41%	179
ÚTICA - VILLETA	59%	258

La tabla 16 indica la distribución porcentual por sentido. (Consortio Dincitec, 2018)

9.2.1.3. Número de ejes equivalentes

El Consultor, de acuerdo con el estudio de tránsito efectuado, estableció la siguiente proyección del tránsito:

Tabla 17 Proyección a 10 y 20 años del TPD, Estudios y diseños iniciales

		TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO							VERSIÓN: 1
		Tramo N°4 Villeta - Útica							
OBRA: CONTRATO ICCU-073-2017 ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS VÍAS DE CUNDINAMARCA, GRUPO No 2									
UBICACIÓN: Vía Villeta - Útica									
SENTIDO Ambos sentidos									
AÑO	Autos	Buses	C2P	C2G	C3	C4	C5	>C5	TPD (VEH. MIXTOS)
	81,0%	6,6%	5,0%	6,6%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	
2017	365	30	23	30	3	0	0	0	451
2018	369	30	23	30	3	0	0	0	455
2019	374	31	23	31	13	0	0	0	472
2020	379	31	24	31	3	0	0	0	468
2021	384	31	24	31	3	0	0	0	473
2022	389	32	24	32	3	0	0	0	480
2023	394	32	24	32	3	0	0	0	485
2024	399	33	25	33	3	0	0	0	493
2025	404	33	25	33	3	0	0	0	498
2026	409	34	25	34	3	0	0	0	505
2027	414	34	26	34	4	0	0	0	512
2028	419	34	26	34	4	0	0	0	517
2029	424	35	26	35	4	0	0	0	524
2030	429	35	27	35	4	0	0	0	530
2031	434	36	27	36	4	0	0	0	537
2032	439	36	27	36	4	0	0	0	542
2033	444	36	28	36	4	0	0	0	548
2034	449	37	28	37	4	0	0	0	555
2035	454	37	28	37	4	0	0	0	560
2036	459	38	29	38	4	0	0	0	568
2037	464	38	29	38	4	0	0	0	573
2038	469	38	29	38	4	0	0	0	578
2039	474	39	29	39	4	0	0	0	585
2040	479	39	30	39	4	0	0	0	591
Total TPD	9009	738	560	738	77	0	0	0	11122
A 10 años	1,62E+06	1,33E+05	1,01E+05	1,33E+05	1,35E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E+06
A 20 años	3,15E+06	2,58E+05	1,96E+05	2,58E+05	2,70E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,89E+06

Nota: Para el año 2019 se plantea un aumento de 10 Camiones tipo C3 por obras del proyecto

La tabla 14 indica la proyección del tránsito. (Consortio Dincitec, 2018)

El número de ejes equivalentes es:

Tabla 18 Número de ejes equivalentes

VIA	N _{8.2Ton}
Villeta - Útica, Tramo I.	377.152 ok

La tabla 18 indica el número de ejes equivalentes (Consortio Dincitec, 2018)

Los datos obtenidos del estudio de tránsito y empleados en el estudio geotécnico y diseño del pavimento del Consultor, fueron adoptados por el Contratista para el ajuste. Asimismo, estos datos también serán adoptados en la propuesta de diseño del presente documento, teniendo en cuenta que no es posible realizar aforos vehiculares.

El Contratista en el documento de ajuste de Estudios y diseño, dejó la siguiente aclaración: “Dado que el manual del INVIAS establece un solo intervalo para clasificar el nivel de Tránsito entre 150.000 y 500.000 como T2 y que este número de ejes equivalentes también es extensivo al tramo 2, para efectos de la verificación de las estructuras por la metodología AASHTO y Mecanicista se adoptará un número de ejes equivalentes de 500.000. Este número de Ejes Equivalentes, aplica para los dos corredores viales denominados Tramo 1 y Tramo 2” (Consortio Vías Quebradanegra, 2020). Por lo que el número de ejes equivalentes es diferente a los estudios y diseños originales.

9.2.2. Exploración geotécnica

El Contratista luego de efectuados los ensayos de laboratorios respectivos por los laboratorios DINCITEC, CONCRELAB y PAVIMCONC, obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 19 Resumen resultados laboratorio Dincitec

Apique No.	Ubicación	Prof. (m)		USCS	Granulometría				Wn (%)	Límites de Consistencia		
					% Gravas	% Pasa No. 4	% Arenas	% Pasa 200		LL	LP	IP
AP-49	Tramo 1- K0 + 058	0	0,06	Carpeta asfáltica								
		0,06	0,45	GW-GM	60,3	39,7	30,1	9,6	4,3	20	14	6
		0,45	1,50	CL	2,2	97,8	32,2	65,6	12,4	32	19	13
AP-50	Tramo 1- K0 + 350	0,00	0,08	Carpeta asfáltica								
		0,15	0,65	GM	53,9	46,1	33,5	12,6	4,6	15	12	3
		0,65	1,50	GC	51,6	48,4	44,3	14,1	9,5	22	13	9
AP-51	Tramo 1- K0 + 600	0,00	0,07	Carpeta asfáltica								
		0,07	0,35	GC-GM	48	52	33,8	18,2	5,2	16	12	4
		0,35	0,70	GC	41	59	31,5	27,6	10,9	32	16	16
AP-52	Tramo 1- K0 + 878	0,00	0,05	Carpeta asfáltica								
		0,05	0,40	GP-GC	72	28	20,2	20,2	7,8	31	22	9
		0,40	0,60	GC	52,2	47,8	21,4	26,4	12,4	26	16	10
AP-53	Tramo 1- K1 + 119	0,00	0,06	Carpeta asfáltica								
		0,06	0,30	GP-GC	68,1	31,9	23,3	8,7	7,8	25	17	8
		0,30	0,70	SC-SM	29,4	70,6	46,3	24,3	8,1	24	17	7

La tabla 19 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por el Contratista.

(Consorcio Vías Quebradanegra , 2020)

Tabla 20 Resumen resultados laboratorio Dincitec

Ensayos de CBR - Vía Villeta - Útica - Tramo 1 - Dincitec				
ABSCISA	No. Apique 1	CBR (%) Inalterado	CBR (%) Sumergido	Profundidad (m)
K0+058	AP-49	12,90%	9,70%	0,65
K0+350	AP-50	-	-	
K0+600	AP-51	-	-	
K0+750	AP-52	-	-	
K0+850	AP-53			
	Promedio	12,90%	9,70%	0,65

La tabla 20 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por el Contratista.

(Consorcio Vías Quebradanegra , 2020)

Tabla 21 *Resumen resultados laboratorio Concrelab*

Apique No.	Ubicación	Prof. (m)		USCS	Granulometría				Wn (%)	Límites de Consistencia		
					% Gravas	% Pasa No. 4	% Arenas	% Pasa 200		LL	LP	IP
APIQUE No.1	Tramo 1- K1+140	0,00	0,05	Capa de asfalto								
		0,05	0,32	GC	42	58	32	26	4	34	21	13
		0,32	1,51	GC	40	60	29	31	3	29	17	12
APIQUE No.2	Tramo 1- K0+820	0,00	0,07	Capa de asfalto								
		0,07	0,54	GC	54	46	26	20	6	29	21	8
		0,54	1,05	Visual-Material granular marrón oscuro, consistencia suelta y condición de humedad seca								
		1,05	1,50	Visual-Material granular marrón oscuro, consistencia suelta y condición de humedad seca								
APIQUE No.3	Tramo 1- K0+090	0,00	0,12	Mezcla asfáltica								
		0,12	0,20	GP-GC	54	46	35	10	2	23	16	7
		0,20	0,60	GP-GC	79	21	14	7	1	23	16	7
		0,60	1,52	Visual-Material granular marrón amarillento, consistencia suelta y condición de humedad seca								

La tabla 21 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por el Contratista.

(Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

Tabla 22 *Resumen resultados laboratorio Concrelab*

Ensayos de CBR - Vía Villeta - Útica - Tramo 1 - Concrelab				
ABSCISA	No. Apique 1	CBR (%) Inalterado	CBR (%) Sumergido	Profundidad (m)
K1+140	1 - Tramo 1	-	-	1,50
K0+820	2 - Tramo 1	-	-	1,50
K0+090	3 - Tramo 1	-	-	1,50
	Promedio	0,00%	0,00%	1,50

La tabla 22 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por el Contratista.

(Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

Tabla 23 Resumen resultados laboratorio Pavimconc

Sondeo No.	Ubicación	Prof. (m)		USCS	Granulometría				Wn (%)	Límites de Consistencia		
					% Gravas	% Pasa No. 4	% Arenas	% Pasa 200		LL	LP	IP
APIQUE No.1	k0 +100 Costado Derecho - Diseño BEEC	0,00	0,11	Carpeta asfáltica en mal estado								
		0,11	0,34	GC	66	34	16	18	186	29	18	11
		0,34	0,60	GC	54	46	19	27	10,44	35	18	17
		0,60	1,50	GP-GC	82	18	9	9	7,54	32	16	16
APIQUE No.2	k0 +605 - Costado Izquierdo - Diseño BEEC	0,00	0,07	Carpeta asfáltica en mal estado								
		0,07	0,65	GC-GM	7	93	72	14	3,49	19	12	7
		0,65	0,71	Gravas de 16 pulgadas de longitud a 6 y 3 pulgadas de altura								
		0,71	1,50	GC	60	40	21	19	4,88	20	13	7
APIQUE No.3	k0 +800 Costado Derecho - Diseño estructura nueva	0,00	0,43	GC	41	59	41	19	3,37	28	14	14
		0,43	1,50	GC	47	53	30	23	4,23	34	19	15
APIQUE No.4	K1+000 Costado Izquierdo - Diseño BEEC	0,00	0,05	Carpeta asfáltica en mal estado								
		0,05	0,20	GC	59	41	22	19	6,58	30	17	13
		0,20	1,25	GC	58	42	21	21	11,26	34	17	17
		1,25	1,50	Material Ídem al anterior, humedad baja, denso								
APIQUE No.5	K1+095 Costado Izquierdo - Diseño estructura nueva	0,00	0,27	GC	60	40	23	17	2,48	31	19	12
		0,27	1,20	GC	64	36	14	22	3,22	35	17	18

La tabla 23 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por el Contratista.

(Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

Tabla 24 Resumen resultados laboratorio Pavimconc

Ensayos de CBR - Vía Villeta - Útica - Tramo 1				
ABSCISA	No. Apique 1	CBR (%) Inalterado	CBR (%) Sumergido	Profundidad (m)
K0+100	1	28,20%	20,50%	1,50
K0+605	2	29,80%	21,10%	1,50
K0+800	3	34,90%	28,70%	1,50
K1+000	4	18,20%	13,00%	1,20
K1+095	5	15,00%	12,60%	1,20
	Promedio	25,22%	19,18%	1,38

La tabla 24 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por el Contratista.
(Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

Tabla 25 *Sectorización resultados ensayos de laboratorio*

Sectorizacion	
K0+000 a K0+100	Arcillas CL a 0,45 m de Profundidad
K0+100 a K0+170	Material granular con al menos 45 cm de espesor.
K1+119	Dato puntual que reporta arenas a 30 cm de profundidad.
K0+170 a K1+200	Material granular con al menos 125 cm de espesor.

La tabla 52 indica la sectorización definida por el Contratista, de acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos. (Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

Se generó el Anexo 1 – Exploración geotécnica, en el que se presenta una tabla, en la cual se consolidaron los resultados obtenidos por los diferentes laboratorios en ensayos como granulometría, límites de consistencia y CBR en estado sumergido, que permite evidenciar la existencia de tramos con características similares:

De acuerdo con la Tabla 12, la sectorización definida por el Contratista, corresponde a:

TRAMO 1		
Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Tipo de Intervencion
K0+000	K0+700	ESTABILIZADO
K0+730	K0+910	ESTRUCTURA NUEVA
K0+910	K1+070	ESTABILIZADO
K1+070	K1+200	ESTRUCTURA NUEVA

Una vez analizados los resultados de la exploración geotécnica, reportados por los laboratorios de Concrelab, Pavimconc y Dincitec y consolidados en el Anexo 1, se encuentra que la sectorización y tipo de intervención definidos guardan coherencia, sin embargo, es posible tener la siguiente sectorización:

Tabla 26 *Sectorización por tipo de intervención*

Abscisa inicio	Abscisa fin	Tipo de intervención
K0+000	K0+800	Reciclado
K0+800	K1+000	Reconstrucción
K1+000	K1+200	Reciclado

La tabla 26 indica la sectorización definida a partir de los datos consignados en el Anexo 1.

Lo anterior, debido a que para el tramo K1+070 al K1+200, en el cual el Contratista definió una intervención de reconstrucción, se presenta carpeta asfáltica con un espesor aproximado de 5cm y grava en una profundidad desde 0,05m hasta 1.5m en los resultados de laboratorio reportados por Concrelab y Pavimconc, para el caso de Dincitec, reporta que el material existente desde 0.30cm hasta 0.7m corresponde a una arena.

No obstante, dentro del informe el Constructor realizó la observación de que la sectorización se definió en conjunto por el Contratista e Interventoría, una vez efectuado un recorrido al tramo, por lo que, para el presente documento, se planteará la alternativa diseño acogiendo la sectorización definida por el Contratista, teniendo en cuenta que en campo se evidencia el estado real del pavimento y para la elaboración del presente documento se imposibilita la visita.

Debido al nivel de deterioro que presentaba el pavimento y de acuerdo con lo evidenciado por el Contratista mediante la exploración geotécnica e identificación visual del pavimento, se efectuó una sectorización que dio como resultado dos (2) subtramos para reciclado y dos (2) subtramos para reconstrucción (Tabla 12).

Como se indicó anteriormente, aunque el Consultor estableció tres (3) alternativas de pavimento flexible viables, éstas se encontraban sujetas a las condiciones presentadas en el pavimento a la hora de ejecutar los diseños.

No obstante, el Municipio de Quebradanegra como Entidad ejecutora del contrato de obra para el mejoramiento y rehabilitación de la vía Villeta – Útica (incluido el tramo de 1.2km de Villeta – La Magdalena, a la altura del Municipio de Quebradanegra) de acuerdo con el presupuesto, definió para su contrato de obra, la estructura de reciclado del pavimento (Figura 8), con capas de afirmado (20cm), base estabilizada con emulsión asfáltica empleando el material de fresado (15cm) y una carpeta asfáltica tipo MDC-19 (6cm).

Aun cuando en la sectorización realizada por el Constructor se estableció que para dos (2) subtramos, la alternativa de rehabilitación era reciclado, se presentó un ajuste al diseño planteado.

9.2.3. Estructura del pavimento

Dado lo anterior y como objeto del presente documento, se procede a evaluar las alternativas de diseño propuestas para el reciclado y reconstrucción del pavimento por parte del Constructor.

En la siguiente figura se muestran las estructuras de pavimento, primero la definida inicialmente por el Consultor (Consortio Dincitec, 2018) y adoptada por el Municipio de Quebradanegra y posteriormente los resultados del ajuste de la estructura por el Contratista (Consortio Vías Quebradanegra , 2020).

	Consortio Dincitec	Consortio vias quebradanegra	
Prof. (cm)	Alternativa rehabilitación		
	Reciclado	Reciclado	Reconstrucción
0	Carpeta asfáltica (MDC-19)	Concreto asfáltico (MDC-19)	Concreto asfáltico (MDC-19)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	Base estabilizada con emulsión (fresado)	Base estabilizada con emulsión INV 340	Base granular clase B
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18	Material granular existente	Geosintético tipo geotextil NT2100 o similar de separación.	Subbase granular remanente o Art. INV 312
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
Subrasante			

Figura 17. La figura muestra las dos estructuras de pavimento para el mejoramiento de la vía, establecidas por el Consultor y Contratista. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que las estructuras de pavimento propuestas por el Contratista, tanto para el reciclado como para la reconstrucción, se diseñarán con el mismo módulo resiliente de la Subrasante y contemplan una carpeta asfáltica tipo MDC-19, se opta por comenzar hallando el Módulo resiliente de estas capas.

Subrasante

Para efectuar la verificación del módulo de reacción de la subrasante, se tomará en cuenta la anotación hecha por el Constructor, referente al CBR (%): “En el caso de este parámetro, se debe anotar que solo PAVIMCONC presenta resultados de ensayos obtenidos de cómo se comporta el material constituyente en forma saturada (estado sumergido) en todos los apiques realizados, en este orden de ideas, los resultados de la capacidad de soporte de la subrasante para el caso del **Tramo 1 se encuentran entre 12.6% y 28%**, para dimensionar y chequear la estructura de pavimento sugerida, se tomara el menor valor de CBR o sea **12.6%**” (Consortio Vías Quebradanegra , 2020), por lo que se calculará el módulo con un CBR del 12.6%.

Se usa la siguiente correlación de la AASHTO-93 y recomendada por el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito:

$$MR(psi) = 2555(CBR)^{0.64}$$

$$MR(psi) = 2555(12.6)^{0.64} = 12930.88 \text{ psi}$$

Obtenido este resultado, se hace la observación de que, aunque el Constructor indicó que utilizaría el valor más bajo del CBR (12,6%) y que emplearía la correlación de MR ya enunciada, el valor obtenido como Modulo resiliente de la subrasante, no coincide (ver tabla 28).

Concreto asfáltico

Para esta capa el Constructor especifica: “El Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS, en su tabla 8.1, recomienda un aporte estructural de 0,37 para la mezcla asfáltica en caliente tipo MDC, para temperaturas entre $20^{\circ}\text{C} \leq \text{TMAP} \leq 30^{\circ}\text{C}$. Temperatura media anual de Villeta = $22,8^{\circ}\text{C}$, precipitación media anual = 1.392 mm y se en cuenta a una altura de 850 M.S.N.M.”. (Consortio Vías Quebradanegra , 2020). Y empleando la gráfica de la Guía AASHTO 93 (figura 18) se obtuvo un módulo de 350,000 psi (2413 MPa), asumiendo finalmente un valor de 2500 MPa (362.575 psi).

Como se enunció al inicio del documento, el tránsito establecido por el Consultor y asumido por el constructor está dentro del nivel NT1 (ver tabla 3) por lo que se utilizarán los valores consignados en la siguiente tabla, extraída del Manual para bajos volúmenes de tránsito.

Tabla 27 *Coefficientes estructurales a_i*

Tipo de capa		Clasificación climática por temperatura	a_i
Descripción de la Capa	Nomenclatura		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

La tabla 27 indica los valores de coeficiente estructural dependiendo el tipo de capa. (El Alcazar Limitada, 2007)

Para definir la clasificación climática por temperatura, según se indica en el Manual de diseño para bajos volúmenes, se requiere obtener en el IDEAM, la serie histórica de los datos de temperatura media diaria del aire, lo cual no fue posible por un daño en la página de la Entidad, por lo que se procedió a efectuar una búsqueda en línea, que dejó como resultado una temperatura media de 22°C para el municipio de Quebradanegra - Cundinamarca.

Tabla 28 *Categorías de clima por temperatura*

Categoría de clima	Temperatura media diaria del aire histórica, de los siete (7) días consecutivos más calientes del año $T_{7 \text{ días}} (^{\circ}\text{C})$
Frío	$T_{7 \text{ días}} \leq 20$
Templado	$20 < T_{7 \text{ días}} \leq 30$
Cálido	$T_{7 \text{ días}} > 30$

La tabla 28 indica la categoría de clima teniendo en cuenta la temperatura media diaria de los siete (7) días más calientes del año. (El Alcazar Limitada, 2007)

Con lo anterior, se define que la categoría del clima corresponde a templado y el coeficiente estructural es 0.41, el cual difiere del adoptado por el Contratista.

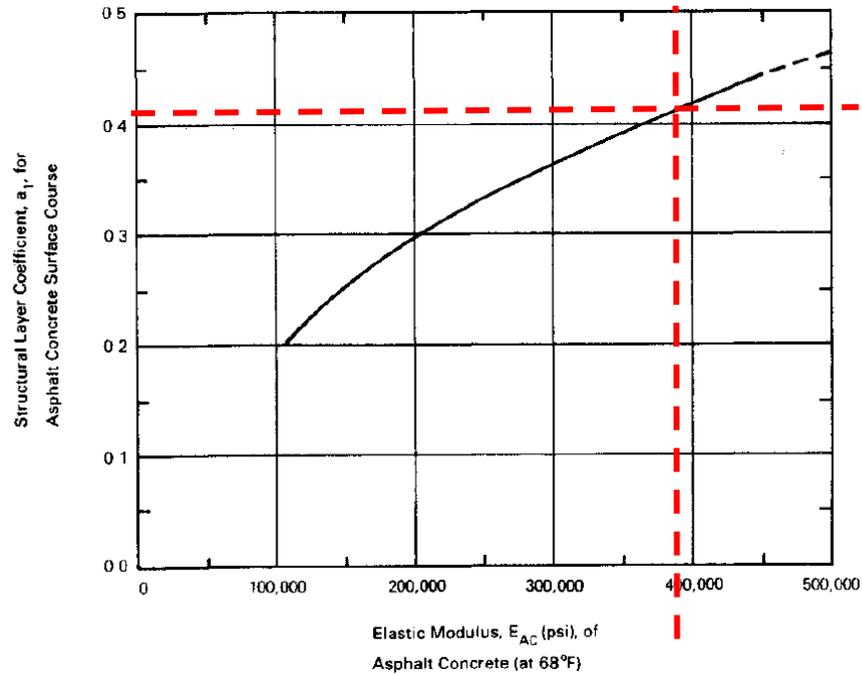


Figura 18. La figura muestra la gráfica AASHTO para hallar el modulo del concreto asfáltico a partir de un coeficiente estructural. (AASHTO, 1993)

De la gráfica anterior, se obtiene que el módulo de la capa de concreto asfáltico es aproximadamente 385.000 psi, es decir 2654.48 MPa.

Para el diseño de las alternativas de reciclado y reconstrucción mediante el programa AASHTO-93, el Constructor estableció los siguientes valores:

Tabla 29 Valores de entrada AASHTO-93 (Constructor)

Confiabledad			Serviciabilidad			Módulo Resiliente CBR		Tránsito 10 años
So	R	Zr	PSI _i	PSI _f	ΔPSI	MPa	PSI	Ns.2ton
0,45	70%	0,524	4,20	2,20	2,00	Variable	Variable	500.000

La tabla 29 indica los valores de entrada establecidos por el Contratista para el diseño con el programa AASHTO-93. (Consortio Vías Quebradanegra , 2020)

De los valores adoptados por el Constructor, se evidencia que estos acogen las recomendaciones establecidas en el Manual de bajos volúmenes en cuanto a la Confiabilidad y serviciabilidad inicial, valores que serán también adoptados en el presente documento.

En cuanto a la desviación estándar (S_o), el Constructor estableció 0.45, para la presente evaluación se acoge la recomendación del Manual de bajos volúmenes de 0.44.

9.2.3.1. Reciclado (K0+000-K0+700 y K0+910-K1+070)

Teniendo en cuenta las condiciones del proyecto y las establecidas en el anexo técnico del pliego de condiciones del contrato de obra (año 2019), el reciclado a efectuar será reciclado en frío.

De acuerdo con la figura 17, el ajuste al diseño del reciclado del pavimento, se presentó en el cambio del espesor de la carpeta asfáltica y la inclusión de un geosintético tipo geotextil NT2100 o similar de separación.

Para establecer si en realidad se requería un ajuste al diseño, se toma la información consignada en el Anexo 1 como resultado de la exploración geotécnica, a fin de establecer la existencia o no de material granular que sirva como capa de 20cm de material granular remanente, una carpeta asfáltica y material granular para reciclado y posterior conformación de una capa de base estabilizada con emulsión asfáltica y que al trabajar de manera conjunta con una capa asfáltica de 6cm tipo MDC-19, garanticen el correcto funcionamiento del pavimento para el periodo y tránsito de diseño establecidos.

De lo anterior y teniendo en cuenta lo establecido en la tabla 12, dicha sectorización en la cual se establecieron dos (2) subtramos de reciclado y dos (2) subtramos de reciclado está acorde, por lo que se evaluará de forma paralela el diseño propuesto por el Consultor (Consortio Dincitec,

2018) y por el Constructor (Consortio Vías Quebradanegra , 2020), con base en los resultados de laboratorio del Constructor y que se encuentran consolidados en el Anexo 1 del presente documento, y utilizando el programa AASHTO-93, para establecer si se presentó la necesidad de cambiar el espesor de carpeta asfáltica, como lo efectuó el Constructor.

Se procede a realizar la verificación del SN de la estructura de pavimento (figura 13), propuesto por el Consultor (espesores y coeficientes de aporte (a) y drenaje(m)), utilizando el programa AASHTO-93.

Base estabilizada con emulsión - BEE

Para esta capa, el Constructor estableció como especificación del material la especificación INVIAS Art. 340, que, de acuerdo con lo allí descrito, lo permite: “El material por estabilizar puede ser aquel que resulta al escarificar una capa superficial existente, un material que se adiciona o una mezcla de ambos.” (Consortio Normas 2012, 2012, pág. 170). Sin embargo, de forma contractual no se especificó la obligatoriedad de acogerse a la especificación INVIAS para la base estabilizada con emulsión.

De acuerdo con lo contenido en el Informe del Constructor, “se ha empleado un aporte estructural para base de 0.14, teniendo en cuenta las recomendaciones del INVIAS para granulares tipo S-BG. El valor de relación de soporte (CBR) al 100% de la densidad seca máxima, con el número estructural adoptado de 0.14. De acuerdo a la siguiente figura se tiene un módulo asociado de 42.000 psi (289.38 MPa)” (Consortio Vías Quebradanegra , 2020, pág. 16).

Sin embargo, no fue posible identificar la gráfica a la que hacía referencia el Constructor, puesto que en ninguna de las gráficas de la AASHTO-93, un coeficiente estructural de 0.14, corresponde a un módulo de 42.000psi.

Para la alternativa del presente documento, de acuerdo con la siguiente tabla, los valores de coeficiente de aporte estructural recomendados para una base estabilizada con emulsión asfáltica varían entre 0.14 y 0.2. Teniendo en cuenta que el agregado de la base estabilizada con emulsión es un material producto de reciclado en frío y el mismo ha sufrido degradación a causa del tránsito, pero que presenta mejores características que un granular elaborado por las propiedades que aporta la carpeta asfáltica reciclada, se establece un valor de 0.18.

Tabla 30 Valores típicos ai

Materia l	Condición	a_i
Mezcla densa en caliente	T < 13°C	0,44
	13°C ≤ T < 20°C	0,37
	20°C ≤ T < 30°C	0,30
Mezcla densa en frío	T < 13°C	0,35
	13°C ≤ T < 20°C	0,30
	20°C ≤ T < 30°C	0,24
Base granular		0,14
Base estabilizada con cemento	suelos A-1	0,16
	suelos A-2-4, A-2-5 y A-3	0,14
	demás suelos	0,13
Base estabilizada con emulsión asfáltica	agregado grueso (BEE1)	0,20
	agregado fino (BEE2)	0,20
	suelo (BEE3)	0,14
Subbase granular		0,11

La tabla 30 indica los valores típicos del coeficiente estructural para distintos materiales.

Teniendo como precedente que esta capa es base estabilizada con emulsión, se debe cumplir con los requisitos para este material, establecido en el Artículo 340 de 2013 de las Especificaciones del INVIAS.

Para la determinación del módulo del espesor de la base estabilizada con emulsión (BEE), se utiliza el método del Instituto del asfalto.

Tabla 31 Gradaciones sugeridas reciclado en frío

Tabla 11.2 Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío								
Tamiz		Porcentaje que pasa						
		Gradación abierta			Gradación densa			
m.m.	Pg.	A	B	C	D	E	F	G
28.1	1½	100			100			
25.0	1	95-100	100		80-100			
19.0	¾		90-100					
12.5	½	25-60		100		100	100	100
9.5	3/8		20-55	85-100				
4.5	No. 4	0-10	0-10		25-85	75-100	75-100	75-100
2.36	No. 8	0-5	0-5					
1.18	No. 16			0-5				
0.30	No. 50						15-30	
0.15	No. 100							15-65
0.075	No. 200	0-2	0-2	0-2	3-15	0-12	5-12	12-20

La tabla 31 indica los tipos de gradaciones para el reciclaje en frío de un pavimento (Montejo, 2002).

Ya que el Constructor efectuó ensayos de laboratorio a muestras de material, se tomará como referencia esta información y de acuerdo con la tabla 31, se establece que la gradación es tipo D.

Granulometría:

Tamiz	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 100	Nº 200
%pasa	100	23.9	67.5	59.5	48.9	33.7	20.6	15.9	13.1
Norma	100	70-100	50-80	45-75	30-60	20-45	10-27	5-18	3-15

Límite Líquido	22.
Índice de Plasticidad	5.
Superficie Específica	17.8338 m ² /kg.
Peso Unitario Suelto Seco	1554 kg/m ³
Peso Unitario Compacto Seco	1624 kg/m ³
Equivalente de Arena	30%

Figura 19. La figura indica la granulometría obtenida por el laboratorio Pavimconc a muestras de material en seis puntos para el diseño de la base estabilizada.

De acuerdo con el método del Instituto del Asfalto, para el diseño de espesores de capas recicladas en frío se tienen en cuenta las siguientes variables: tránsito (N8.2 ton), Soporte de la subrasante (M_r) y tipo de mezcla, la cual puede ser tipo A (gradaciones tipos A, B, C y D) o tipo B (gradaciones tipos E, F y G). Para este caso, la mezcla es tipo A, por lo que se requiere el uso de la figura 24, con un módulo de la subrasante de 89.15Mpa y el transito N80kN=500.000.

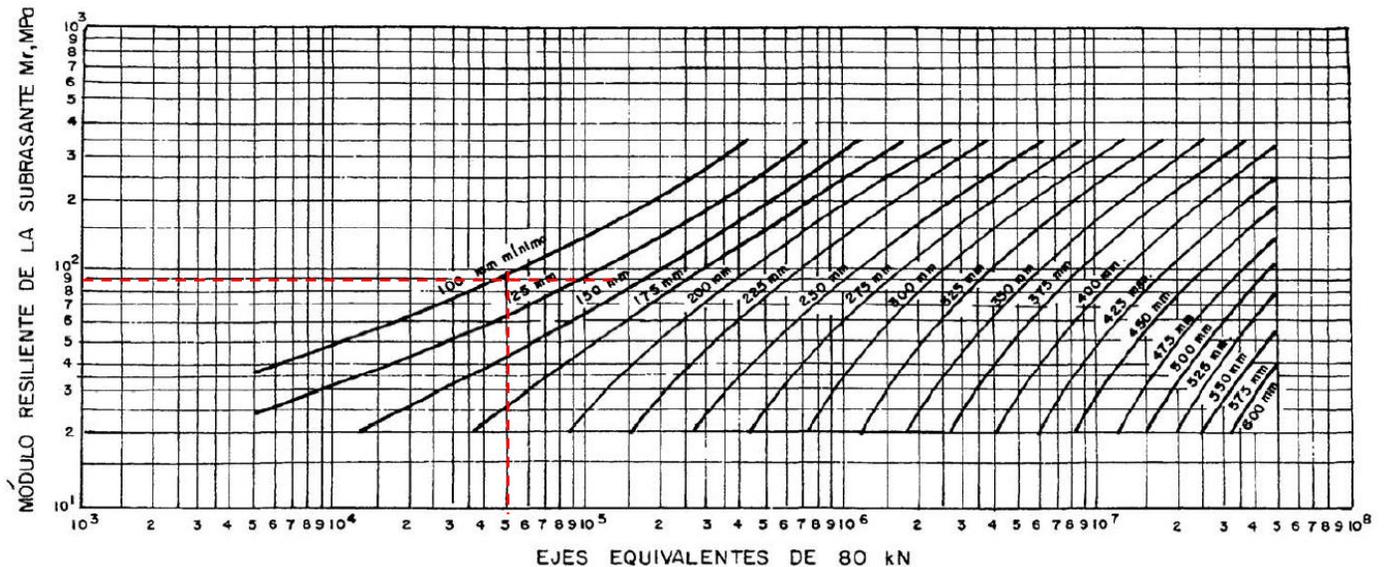


Figura 20. La figura indica la gráfica para el diseño de pavimentos asfálticos reciclados en frío (Mezcla tipo A) (Montejo, 2002).

De la anterior gráfica, se obtiene que el espesor mínimo combinado de base reciclada y capa de rodadura debe ser 1 estabilizada es de 102mm aproximadamente, de acuerdo con la tabla 32, el espesor mínimo de la carpeta asfáltica en función del tránsito, es de 50mm, por lo que el diseño propuesto inicialmente por el Consultor y el diseño ajustado por el Constructor, estarían cumpliendo, sin embargo, este valor se usará únicamente como una referencia para el diseño.

Tabla 32 *Espesores mínimos capa de rodadura sobre una base reciclada en frío.*

Número de ejes equivalentes de 80 KN	Espesor mínimo (mm)
<10 ⁴	Tratamiento superficial
10 ⁴	50
10 ⁵	50
10 ⁶	75
10 ⁷	100
>10 ⁷	130

La tabla 32 establece los espesores mínimos de capa de rodadura sobre una base reciclada en frío. (Montejo, 2002)

Tabla 33 *Tipos bases estabilizadas con emulsión*

Bases estabilizadas con emulsión asfáltica		Reciclados con emulsión asfáltica
Tipo	Descripción	Tipo
I	Mezclas en planta con agregados procesados de gradación densa, con propiedades similares al concreto asfáltico.	
II	Mezclas con agregados semiprocados.	A
III	Mezclas con arenas o arenas limosas.	B

La tabla 33 indica los tipos de bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

Para este caso, el tipo de base estabilizada es tipo II, teniendo en cuenta que el reciclado será en frío y producto de dicho reciclado, aunque sus capas ya han sufrido deterioro, el mismo no presentará una baja calidad ya que es reciclado con una carpeta asfáltica.

Tabla 34 *Módulos tipos de mezclas*

Tipo de mezcla	Módulo dinámico (MPa)		
	Inicial a 23° F	Final a 23° C	Final a 38° C
I	1034	5171	1724
II	793	2758	862
III	414	1034	345

La tabla 34 indica valores típicos de módulos con diferentes tipos de mezcla.

Para un tipo de base II y curado a 23°c, el módulo de la capa de BEE es 793MPa (115015psi), para la Alternativa, se adoptará este valor.

Material granular

Para esta capa, el Constructor empleó un coeficiente de aporte estructural para subbase granular de 0.10, lo que arrojó según el Constructor un módulo de 15.011psi (103.43MPa), sin embargo, utilizando la gráfica del INVIAS como se evidencia a continuación, dicho valor de módulo no corresponde. Para efectos de cálculo del SN, se utilizará el módulo establecido por el Contratista.

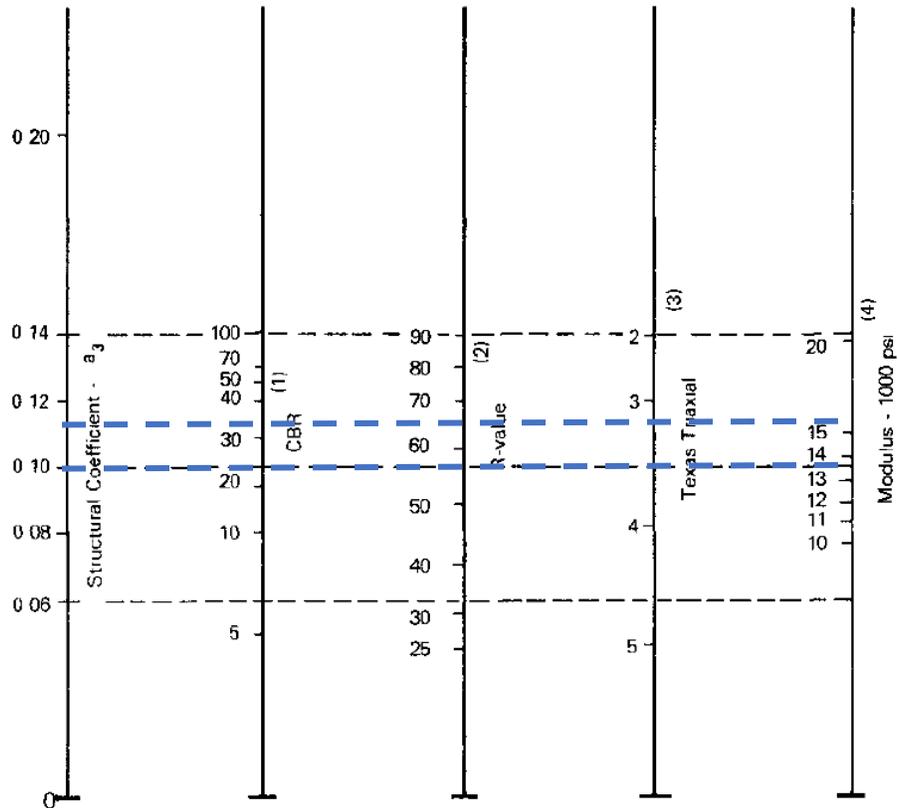


Figura 21. La figura muestra la inconsistencia en el valor del módulo de material granular, determinado por el Constructor para un coeficiente de aporte estructural de 0.10. (AASHTO, 1993)

Para definir el coeficiente de aporte (a) de la capa de material granular (20cm) del Consultor y la alternativa del presente documento, se utilizará la tabla 27, por lo que se requiere verificar cómo se clasifica el material. Para ello se toman del Anexo 1, los datos referentes a los porcentajes (%) que pasan los tamices N°4 y N°200 y límites de consistencia:

PROF. (m)	Consortio Dinotec	Consortio vias quebradanegra	RECICLADO						RECICLADO						RECICLADO					
			% Pasa No. 4		% Pasa 200		% Pasa No. 4		% Pasa 200		% Pasa No. 4		% Pasa 200		% Pasa No. 4		% Pasa 200			
			ABS/CISA	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	ABS/CISA	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	ABS/CISA	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC
	Carpeta asfáltica	Carpeta asfáltica																		
	Base estabilizada con emulsión	Base estabilizada con emulsión		46			10													
	Granular remanente	Granular remanente	KD+058, KD+090, KD+100	39.7	34	9.6	18	KD+350	46.1			12.6			KD+600, KD+605	52	93	18.2	14	
					21		7										Gravas de 15" de longitud a 6 y 3" de altura		Gravas de 15" de longitud a 6 y 3" de altura	
					46		27													

Figura 22. La figura muestra porcentajes (%) que pasan los tamices N°4 y N°200 del material existente previo al ajuste del diseño del pavimento.

PROF. (m)	Consortio Dinotec	Consortio vias quebradanegra	RECICLADO						RECICLADO						RECICLADO							
			LL		LP		IP		LL		LP		IP		LL		LP		IP			
			ABS/CISA	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	ABS/CISA	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	ABS/CISA	DIN/TEC	CON/RELAB	PAV/MCONC	DIN/TEC	CON/RELAB
	Carpeta asfáltica	Carpeta asfáltica																				
	Base estabilizada con emulsión	Base estabilizada con emulsión		23			16		7													
	Granular remanente	Granular remanente	KD+058, KD+090, KD+100	20	23	14	18	6	11	KD+350	46.1			12.6		KD+600, KD+605	52	93	18.2	14		
				23		16		7		15			3				19		12		7	
					35		18		17								32		16		16	
																		Gravas		Gravas		Gravas

Figura 23. La figura muestra los límites de consistencia del material existente previo al ajuste del diseño del pavimento.

Para definir los valores representativos se utilizan parámetros estadísticos y se tendrán en cuenta los valores cuyas capas estén contenidas en la franja sombreada:

Tabla 35 Valores representativos de % pasa tamices N°4 y 200 y límites de consistencia

	% pasa tamiz N°4	% pasa tamiz N°200	LL	LP	IP
	39.7	9.6	20	14	6
	21	7	23	16	7
	46.1	12.6	15	12	3
	52	18.2	19	19	7
CV	0.29	0.35	0.15	0.17	0.29

	% pasa tamiz N°4	% pasa tamiz N°200	LL	LP	IP
CV ≤ 0.3 (promedio)					
CV > 0.3 (percentil)	Calcular promedio	Calcular percentil	Calcular promedio	Calcular promedio	Calcular promedio
Valor representativo	39.70	9.60	19.25	15.25	5.75

La tabla 35 indica los valores representativos para posterior comparación con especificaciones INVIAS.

Para el cálculo del valor representativo del porcentaje (%) que pasa el tamiz N°200, se ordenan los valores, se calcula el porcentaje (%) de valores mayores o iguales, se gráfica y para un tránsito mediano (tabla 35), se establece que el valor representativo es 9.6%.

Tabla 36 *Calculo valor representativo del porcentaje (%) que pasa el tamiz N°200*

% pasa tamiz N°200	Valores ≥	% Valores ≥
7	4	100%
9.6	3	75%
12.6	2	50%
18.2	1	25%

La tabla 36 indica los datos requeridos para el cálculo del valor representativo del porcentaje % pasa tamiz N°200

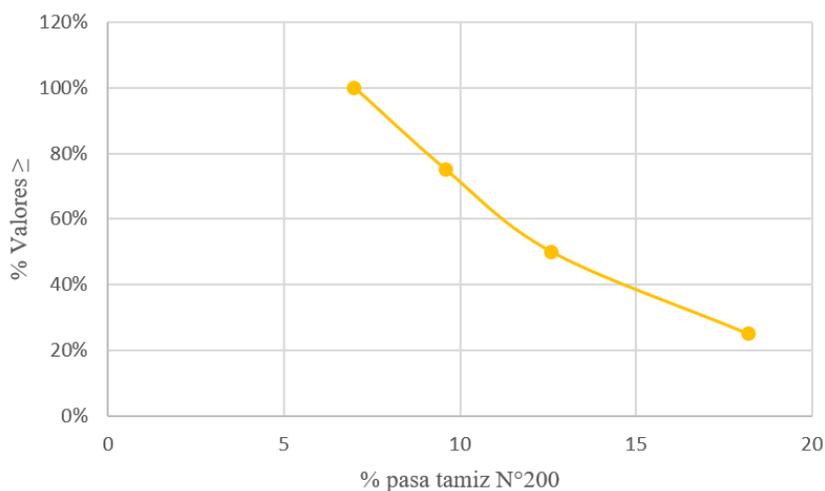


Figura 24. La figura ilustra los percentiles por cada porcentaje (%) que pasa el tamiz N°200.

Tabla 37 Valor representativo por percentiles

Clase de Tránsito	Nivel de tránsito (N)	Valor de diseño %
Liviano	10 ⁴ o menos	60 %
Mediano	10 ⁴ - 10 ⁶	75 %
Pesado	mayor de 10 ⁶	87,5 %

La tabla 37 indica los valores representativos dependiendo la clase de tránsito. INVIAS.

Teniendo los porcentajes (%) que pasa los tamices N°4 y N°200 y límites de consistencia, se comparan con las Especificaciones INVIAS Art. 311 Afirmado y Art.320 Sub-base granular para tener una idea de qué tipo de material equivaldría y establecer así los coeficientes de aporte.

Tabla 38 Comprobación de cumplimiento del material como afirmado – Art. 311-13.

Característica	Valor	Art. 311-13 A-38	Art. 311-13 A-25	Observación
% pasa tamiz N°4	40	40-65	45-70	Cumple
% pasa tamiz N°200	10	9-18	10-20	Cumple
LL (%)	19	máx 40		Cumple
IP (%)	6	4-9		Cumple

La tabla 38 indica la comparación de los valores de % pasa tamiz N°4 y N°200, LL (%) e IP (%) con el Art. 311-13 de las Especificaciones INVIAS. Elaboración propia.

Tabla 39 Comprobación de cumplimiento del material como sub-base granular – Art. 320-13.

Característica	Valor	Art. 320-13 SBG-50	Art. 320-13 SBG-38	Observación
% pasa tamiz N°4	40	25-55	30-60	Cumple
% pasa tamiz N°200	10	2-15	2-15	Cumple
LL (%)	19	máx 25		Cumple
IP (%)	6	máx 6		Cumple

La tabla 39 indica la comparación de los valores de % pasa tamiz N°4 y N°200, LL (%) e IP (%) con el Art. 320-13 de las Especificaciones INVIAS. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior y que no es posible asegurar el cumplimiento del material granular de todos los requisitos de las Especificaciones INVIAS para materiales de Afirmado y Subbase granular, para el coeficiente de aporte de la capa de material granular (20cm), será el promedio de los valores de una subbase granular (0.12) y un afirmado que cumple la Especificación INVIAS Artículo 311 (0.08) (ver tabla 31). Por lo tanto, para el cálculo del SN del diseño del Consultor (Consortio Dincitec, 2018) y de la alternativa a plantear en el presente documento, el coeficiente de aporte para la capa de material granular corresponde a 0.1 y utilizando la siguiente gráfica, se tiene un módulo de 13.600 psi (93.77 MPa), aproximadamente.

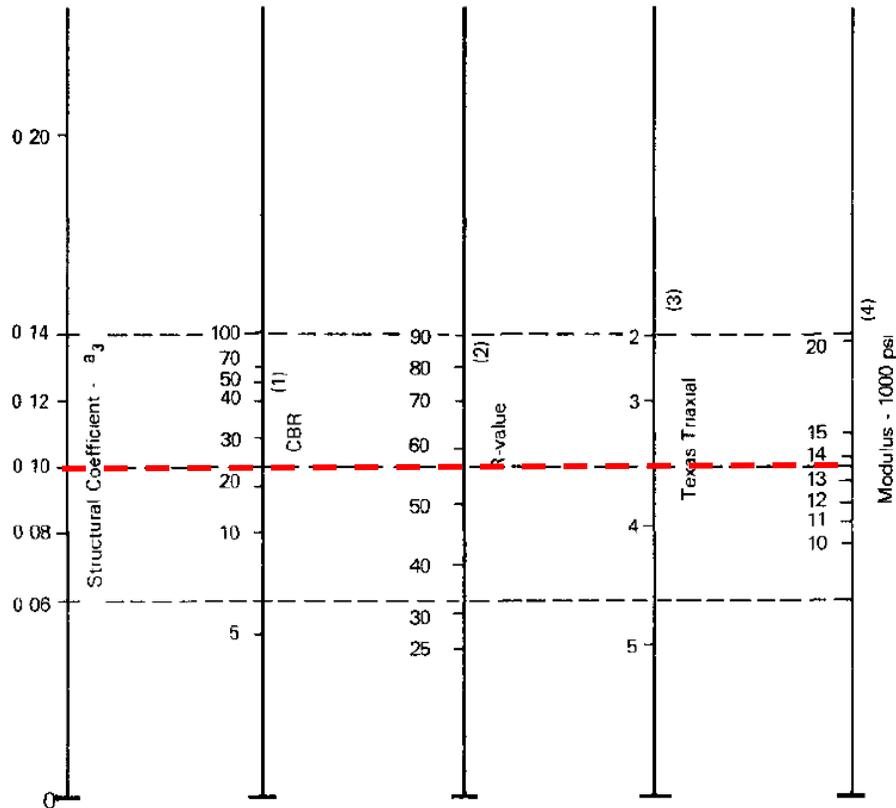


Figura 25. La figura muestra la obtención del módulo de una subbase granular cuyo coeficiente estructural es de 0.10, utilizando la gráfica AASHTO. (AASHTO, 1993). (AASHTO, 1993)

Para el coeficiente de drenaje, el Constructor determinó un valor de 0.9, este valor será igualmente adoptado para la verificación del diseño del Consultor.

Para la alternativa de este documento, en el Manual de diseño de bajos volúmenes del INVIAS, se establecen los siguientes valores típicos, de acuerdo con la clasificación climática por humedad (tabla 28) y de acuerdo con la ubicación del proyecto (figura 26), por lo que el valor de m será el correspondiente a una clasificación climática por humedad – húmedo, es decir 0.95:

Tabla 40 *Coefficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas*

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

La tabla 40 indica los valores del coeficiente de drenaje. (El Alcazar Limitada, 2007)

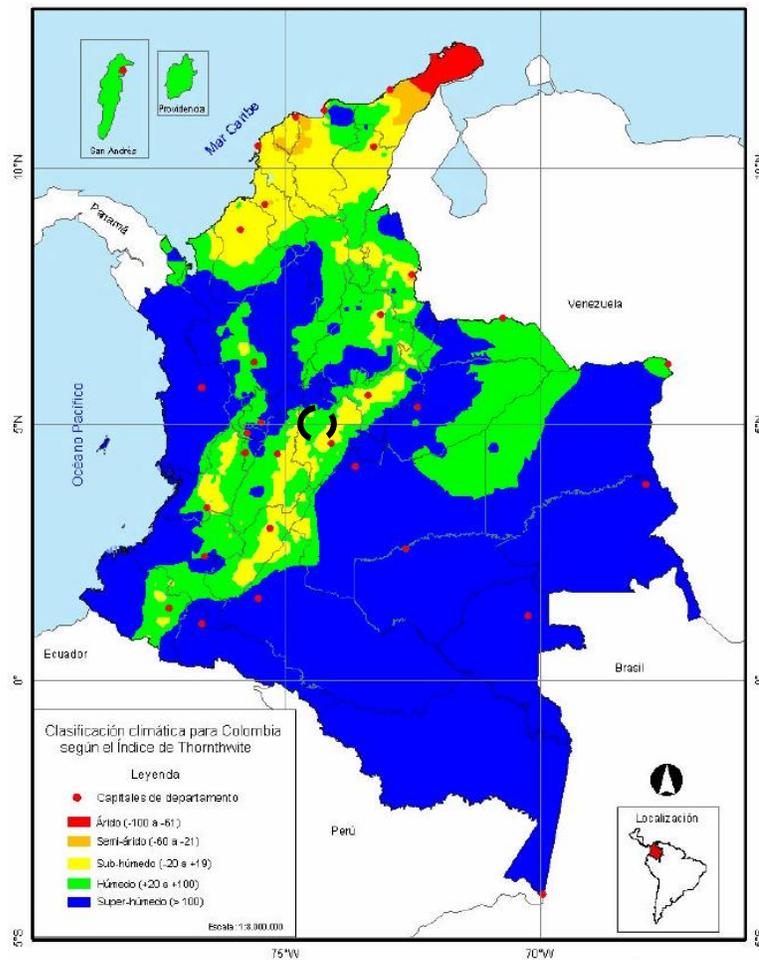


Figura 26. La figura muestra la clasificación climática de Colombia por humedad con base en el Índice de Thornthwaite. (El Alcazar Limitada, 2007)

Ahora, se procede con la evaluación del diseño del Consultor y del Constructor, con los siguientes datos de entrada, para el cálculo del SN requerido utilizando el programa AASHTO-93:

Tabla 41 *Datos de entrada para cálculo del SN requerido*

DATOS DE ENTRADA	
Variable	Valor
Tránsito (N8.2ton)	500000
Serviciabilidad inicial (PSI inicial)	4.2
Serviciabilidad final (PSI final)	2.2
Δ PSI	2
Confiabilidad (R)	70
Variabilidad (So)	0.45
CBR Subrasante (%)	12.6
Mr Subrasante (psi)	10036.7

La tabla 41 muestra los datos utilizados para el cálculo del SN requerido mediante el programa AASHTO-93. Elaboración propia.

Con lo anterior se obtiene:

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 70 % $Z_r = -0.524$ So 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 10036.7 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN $W_{18} =$
 Calcular W_{18}

Número Estructural
 SN =

Calcular Salir

Figura 27. La figura muestra el resultado de SN

En la siguiente tabla se muestran los espesores, coeficientes de aporte estructural y coeficientes de drenaje, con los que se calculará el SN para el Consultor y Constructor:

Tabla 42 Datos para el cálculo de SN esperado.

DATOS		
Variable	Consultor	Constructor
Concreto asfáltico		
D (cm)	6	8
a	0.44	0.44
m	1	1
Base estabilizada con emulsión		
D (cm)	15	15
a	0.14	0.14
m	0.9	0.9
Material granular		
D (cm)	20	20
a	0.1	0.1
m	0.9	0.9

La tabla 42 indica los datos para el cálculo del SN del diseño del Consultor y el Constructor.

Elaboración propia.

Empleando la siguiente ecuación, se hallan los SN esperados con el diseño del Consultor y Constructor

$$SN = a_1H_1+a_2H_2m_2+a_3H_3m_3$$

Se tienen los siguientes resultados:

Consultor					
CALCULO SN					
	D (cm)	Capa	a	m	SN
1	6	Concreto asfáltico	0.44	1	
2	15	Base estabilizada con emulsión	0.14	0.9	
3	20	Material granular	0.1	0.9	2.41
	41	Subrasante			
2.49		CONDICIÓN		2.41	
		≥			
		Cumple			

Figura 28. Cálculo SN esperado diseño del Consultor (Consortio Dincitec, 2018). Elaboración

propia

Constructor

CALCULO SN					
	D (cm)	Capa	a	m	SN
1	8	Concreto asfáltico	0.44	1	
2	15	Base estabilizada con emulsión	0.14	0.9	
3	20	Material granular	0.1	0.9	2.41
	43	Subrasante			

CONDICIÓN		
2.84	≥	2.41
Cumple		

Figura 29. Cálculo SN esperado diseño del Constructor (*Consortio Vías Quebradanegra , 2020*). Elaboración propia

De lo anterior, se observa que, con las características del material, evidenciadas en la exploración geotécnica, el diseño inicial Consultor y diseño ajustado por el Constructor, cumplen.

Para la alternativa de diseño, se procede con el cálculo del SN requerido, con los siguientes datos de entrada, los cuales fueron definidos anteriormente:

Tabla 43 *Datos de entrada diseño alternativa de reciclado*

DATOS DE ENTRADA	
Variable	Valor
Tránsito (N8.2ton)	500000
Serviciabilidad inicial (PSI inicial)	4.2
Serviciabilidad final (PSI final)	2
ΔPSI	2.2
Confiability (R)	70
Variabilidad (So)	0.44
Concreto asfáltico	

DATOS DE ENTRADA	
Variable	Valor
Mr (psi)	385000
a	0.41
m	1
Base estabilizada con emulsión	
Mr (psi)	115015
a	0.18
m	0.9
Material granular	
Modulo (psi)	13600
a	0.1
m	0.95
CBR Subrasante (%)	12.6
Mr Subrasante (psi)	12930.9

La tabla 43 muestra los valores de entrada para el diseño de los espesores de la alternativa de reciclado. Elaboración propia.

Utilizando el programa AASHTO-93 se obtiene:



Figura 30. La figura muestra los resultados obtenidos de SN en el programa AASHTO-93.

Utilizando las ecuaciones de la AASHTO, se establecieron las siguientes alternativas de diseño para los dos (2) subtramos cuya rehabilitación corresponde al reciclado:

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad SN_{1*} = a_1 D_{1*} \geq SN_1$$

$$D_{2*} \geq \frac{SN_2 - SN_{1*}}{a_2 m_2} \quad SN_{2*} = SN_{1*} + a_2 m_2 D_{2*} \geq SN_2$$

$$D_{3*} \geq \frac{SN_3 - SN_{2*}}{a_3 m_3} \quad SN_{3*} = SN_{2*} + a_3 m_3 D_{3*} \geq SN_3$$

Alternativa 1 - Reciclado

Alternativa - 1 Reciclado

CALCULO SN Y ESPESOR CAPAS								
	D (pulg)	D (cm)	D (cm)	Capa	Modulo (psi)	a	m	SN
1	2.05	5.20	6	Concreto asfáltico	385000	0.41	1	0.84
2	7.17	18.20	15	Base estabilizada con emulsión	115015	0.2	0.9	2.13
3	0.42	1.07	20	Material granular	13600	0.1	0.95	2.17
			41	Subrasante	12930.9			

2.78	CONDICIÓN ≥ cumple	2.17
------	---------------------------------	------

Figura 31. La figura muestra los espesores de la alternativa 1 de diseño de reciclado.

Elaboración propia

Los espesores definidos en la alternativa 1, coinciden con el diseño original del Consultor, por lo que se considera viable esta estructura.

Alternativa 2 - Reciclado

Alternativa - 2 Reciclado

CALCULO SN Y ESPESOR CAPAS								
	D (pulg)	D (cm)	D (cm)	Capa	Modulo (psi)	a	m	SN
1	2.05	5.20	5	Concreto asfáltico		0.41	1	0.84
2	7.17	18.20	20	Base estabilizada con emulsión	115015	0.2	0.9	2.13
3	0.42	1.07	20	Material granular	13600	0.1	0.95	2.17
			45	Subrasante	12930.9			

2.97	CONDICIÓN ≥ cumple	2.17
------	---------------------------------	------

Figura 32. La figura muestra los espesores de la alternativa 2 de diseño de reciclado.

Elaboración propia

La alternativa 2 se estableció con base en la posibilidad de generar un mayor espesor de reciclado de acuerdo con la exploración geotécnica y disminuir así el espesor de la carpeta asfáltica.

Se verifica el cumplimiento en la condición del SN para las dos (2) alternativas de diseño, las mismas serán evaluadas desde el punto de vista económico y constructivo, teniendo en cuenta que los subtramos de reciclado y reconstrucción están intercalados, por lo que se considera mantener en lo posible los espesores de un subtramo a otro.

9.2.3.2.Reconstrucción (K0+730-K0+910 y K1+070-K1+200)

Base granular

El Constructor empleó un coeficiente de aporte estructural para base granular de 0.14, teniendo en cuenta las recomendaciones del INVIAS para granulares tipo BG, de acuerdo con la figura 16, se tiene un módulo asociado de 30.021 psi (207 MPa).

Para la evaluación de la alternativa del presente documento, se adoptará de igual manera el valor del coeficiente de 0.14 y módulo de 30.021 psi (207 MPa), de acuerdo con lo indicado en la tabla 27.

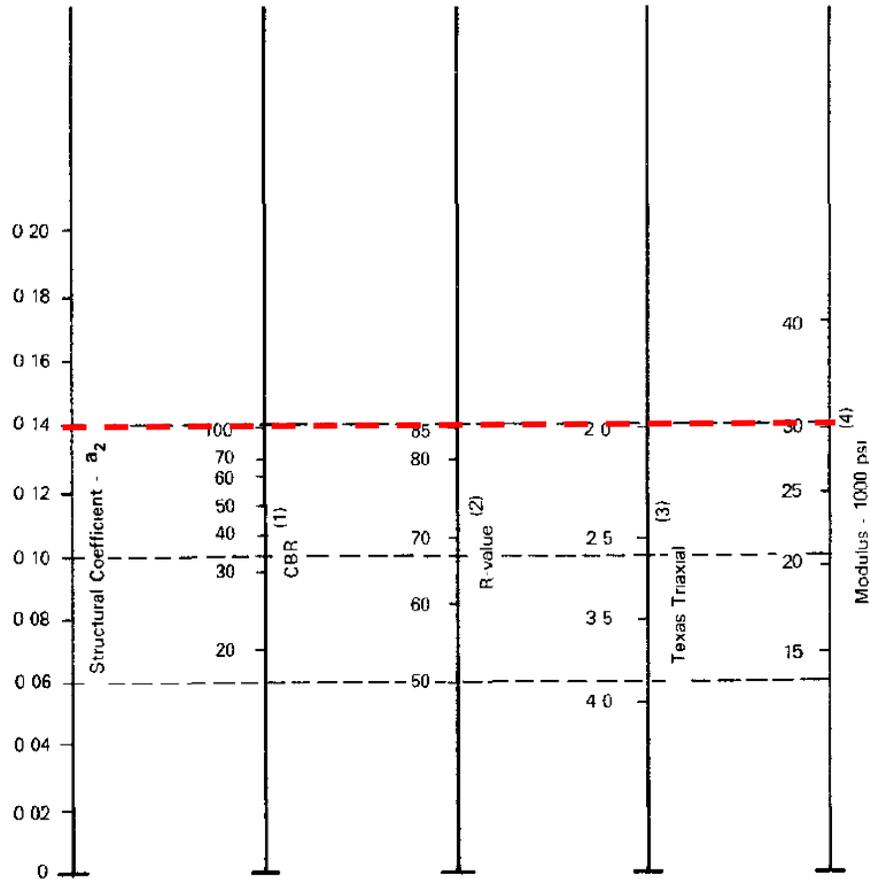


Figura 33. La figura muestra la obtención del módulo de una base granular cuyo coeficiente estructural es 0.14, utilizando la gráfica AASHTO. (AASHTO, 1993). (AASHTO, 1993)

Subbase granular

El Constructor empleó un coeficiente de aporte estructural para subbase granular de 0.10, teniendo en cuenta las recomendaciones del INVIAS para granulares tipo S-BG, de acuerdo con la figura 26, se tiene un módulo asociado de 15.011 psi (103.43 MPa).

Para la evaluación de la alternativa del presente documento, se adoptará el valor del coeficiente de 0.12, de acuerdo con lo indicado en la tabla 39, con lo que se obtiene según la figura 26, un módulo de 17.000 psi (117.21 MPa) aproximadamente.

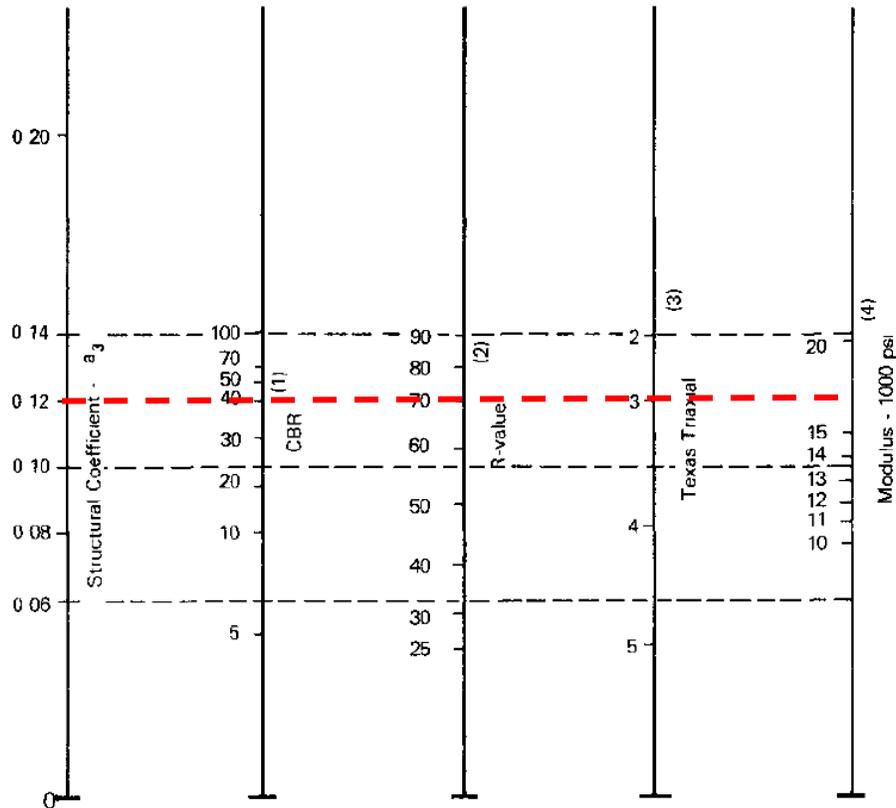


Figura 34. La figura muestra la obtención del módulo de una subbase granular cuyo coeficiente estructural es 0.12, utilizando la gráfica AASHTO. (AASHTO, 1993)

Tabla 44 Resumen módulos de las capas (Constructor)

Capa	Modulo (kg/cm ²)	Modulo (psi)	Modulo (Mpa)
Rasante	705,58	10036,70	69,15
Subbase Granular	1055,27	15011,00	103,43
Base Granular	2110,48	30021,00	206,84
Base Estabilizada Emulsion	2952,60	42000,00	289,38
Concreto Asfaltico	25489,02	362575,00	2498,14

La tabla 44 indica los valores de modulo obtenidos por el Constructor. (Consortio Vías Quebradanegra , 2020).

Se presentan en la siguiente tabla, un resumen de los datos de entrada para el cálculo del SN tanto del Constructor como de la Alternativa planteada.

Tabla 45 Comparación datos de entrada AASHTO-93

Variable	Constructor	Alternativa 1
Tránsito (N8.2ton)	500.000	500.000
Serviciabilidad inicial (PSI inicial)	4.2	4.2
Serviciabilidad final (PSI final)	2.2	2
ΔPSI	2	2.2
Confiability (R)	70	70
Variabilidad (So)	0.45	0.44
Concreto asfáltico		
Mr (psi)	362575	385000.
a	0.44	0.41
m	1.0	1.0
Base granular		
Mr (psi)	30021	30021
a	0.14	0.14
m	0.9	0.95
Subbase granular		
Modulo (psi)	15011	17000
a	0.10	0.12
m	0.9	0.95
CBR Subrasante (%)	12.6	12.6
Mr Subrasante (psi)	10036.7	12930.9

La tabla 45 indica los valores de modulo obtenidos por el Constructor. Elaboración propia.

Aplicando el método AASHTO, se procedió a verificar el cumplimiento de la estructura de pavimento propuesta por el Constructor como alternativa de rehabilitación (reconstrucción). Los datos de entrada, corresponden a los datos consignados en la tabla N°33. A continuación, se muestran los valores obtenidos para cada SN.

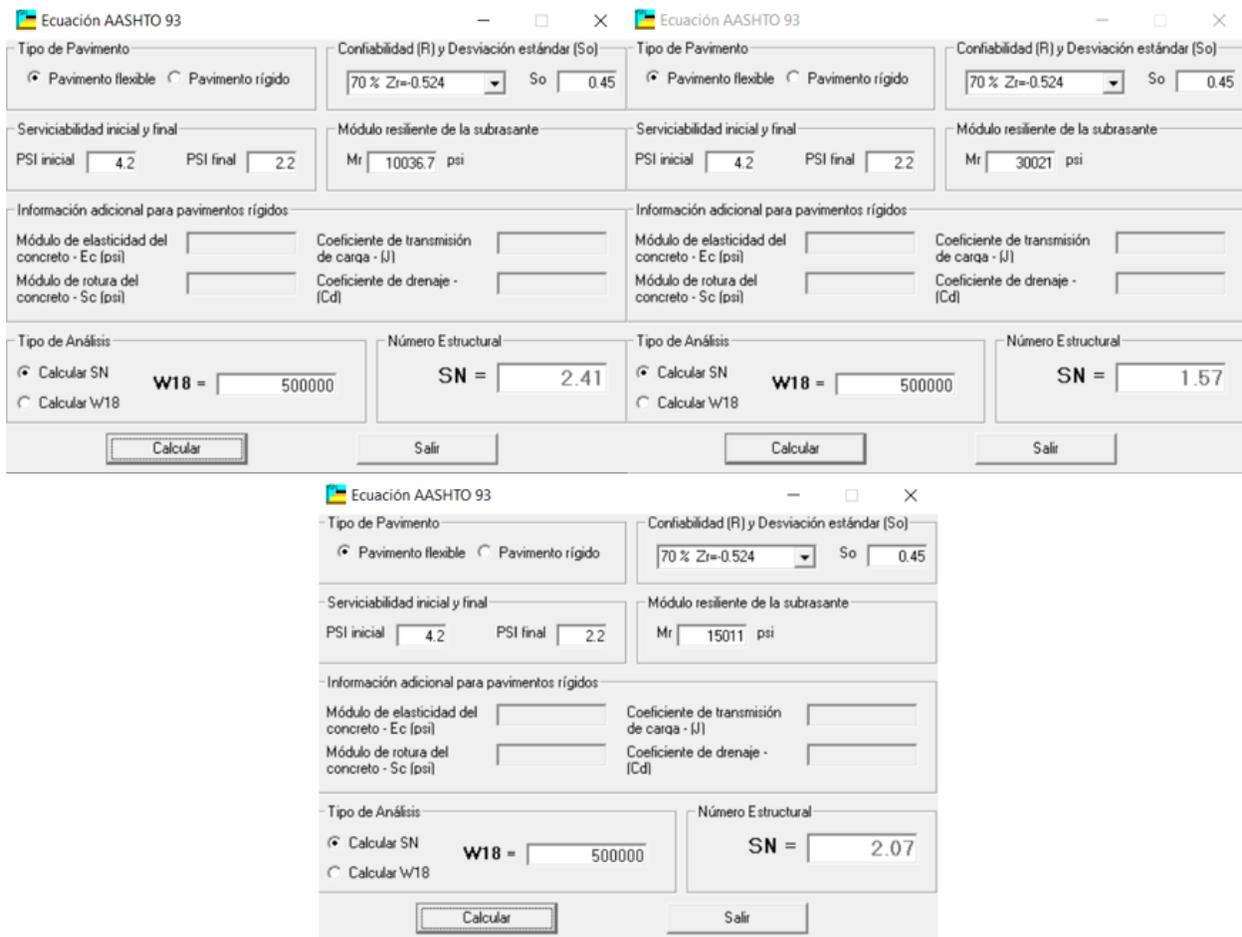


Figura 35. La figura muestra los resultados obtenidos de SN en el programa AASHTO-93.

Previo al diseño de espesores de cada una de las capas, se sustraen del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, los espesores mínimos de cada capa, que se deben tener en cuenta:

Tabla 46 *Espesores mínimos carpeta asfáltica*

Categoría de tráfico	Rango de ejes de 80 kN en el carril de diseño	h_{\min} (mm)
T1	< 150.000	50
T2	150.000 - 500.000	75

La tabla 46 indica los espesores mínimos de carpeta asfáltica en función del tránsito.

Para el caso de la base granular, se establece un espesor mínimo de 150mm.

Empleando las ecuaciones del método AASHTO y con los espesores propuestos por el Constructor, se verifica que la siguiente condición de SN, se cumple:

CALCULO SN Y ESPESOR CAPAS								
	D (pulg)	D (cm)	D (cm)	Capa	Modulo (psi)	a	m	SN
1	3.57	9.06	8	Concreto asfáltico		0.44	1	1.57
2	3.97	10.08	15	Base granular	30021	0.14	0.9	2.07
3	3.78	9.60	20	Subbase granular	15011	0.1	0.9	2.41
			43	Subrasante	10036.7			

CONDICIÓN			
2.84	≥	2.41	
cumple			

Figura 36. La figura muestra la verificación de cumplimiento de la condición con los espesores propuestos por el Contratista.

Cabe resaltar que la estructura de diseño establecida por el Contratista (Consortio Vías Quebradanegra , 2020), no corresponde a ninguna de las cuatro (4) alternativas de diseño propuestas por el Consultor (Consortio Dincitec, 2018).

Teniendo en cuenta que en el presente documento se busca establecer una alternativa de diseño, y de acuerdo con los valores establecidos como datos de entrada (Tabla 45) por el Constructor y para la alternativa de diseño difieren, tales como serviciabilidad final, variabilidad (So), Módulos de la subrasante y la subbase, así como coeficientes estructurales (a) de la carpeta asfáltica y subbase, se procede con el cálculo de los SN mediante el programa AASHTO-93.

Se obtiene:

The figure displays three instances of the 'Ecuación AASHTO 93' software interface, showing the results of structural number (SN) calculations for different pavement designs. Each window includes the following fields:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 70 % Zr=-0.524, So = 0.44
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2
- Módulo resiliente de la subrasante (Mr):** 12930.9 psi (top-left), 17000 psi (top-right), 30021 psi (bottom)
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi), Módulo de rotura del concreto - Sc (psi), Coeficiente de transmisión de carga - (J), Coeficiente de drenaje - (Cd)
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W18
- Número Estructural (SN):** 2.17 (top-left), 1.96 (top-right), 1.57 (bottom)
- W18:** 500000 (all three)

Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are present at the bottom of each window.

Figura 37. La figura muestra los resultados obtenidos de SN en el programa AASHTO-93.

Utilizando las ecuaciones de la AASHTO, se establecieron las siguientes tres (3) alternativas de diseño para los dos (2) subtramos cuya rehabilitación corresponde a la reconstrucción:

Alternativa 1 - Reconstrucción

Alternativa 1 - Reconstrucción

CALCULO SN Y ESPESOR CAPAS								
	D (pulg)	D (cm)	D (cm)	Capa	Modulo (psi)	a	m	SN
1	3.83	9.73	6	Concreto asfáltico		0.41	1	1.57
2	2.93	7.45	15	Base granular	30021	0.14	0.95	1.96
3	1.84	4.68	20	Subbase granular	17000	0.12	0.95	2.17
			41	Subrasante	12930.9			

2.65	CONDICIÓN ≥ cumple	2.17
------	--------------------------	------

Figura 38. La figura muestra los espesores de la alternativa 1 de diseño de reconstrucción.

Elaboración propia

La alternativa 1 de reconstrucción presenta una variación con respecto a la estructura definida por el Constructor en el espesor de la carpeta asfáltica, no obstante, se cumple la condición del SN.

Alternativa 2 - Reconstrucción

Alternativa 2 - Reconstrucción

CALCULO SN Y ESPESOR CAPAS								
	D (pulg)	D (cm)	D (cm)	Capa	Modulo (psi)	a	m	SN
1	3.83	9.73	5	Concreto asfáltico		0.41	1	1.57
2	2.93	7.45	20	Base granular	30021	0.14	0.95	1.96
3	1.84	4.68	20	Subbase granular	17000	0.12	0.95	2.17
			45	Subrasante	12930.9			

2.75	CONDICIÓN ≥ cumple	2.17
------	--------------------------	------

Figura 39. La figura muestra los espesores de la alternativa 2 de diseño de reconstrucción.

Elaboración propia

La alternativa 2 se planteó con el fin de establecer una uniformidad en los espesores de las capas con la alternativa

Alternativa 3 - Reconstrucción

Alternativa 3 - Reconstrucción								
CALCULO SN Y ESPESOR CAPAS								
	D (pulg)	D (cm)	D (cm)	Capa	Modulo (psi)	a	m	SN
1	3.83	9.73	5	Concreto asfáltico		0.41	1	1.57
2	2.93	7.45	15	Base granular	30021	0.14	0.95	1.96
3	1.84	4.68	20	Subbase granular	17000	0.12	0.95	2.17
			40	Subrasante	12930.9			

2.49	CONDICIÓN ≥ cumple	2.17
------	---------------------------------	------

Figura 40. La figura muestra los espesores de la alternativa 3 de diseño de reconstrucción.

Elaboración propia

La alternativa 2 se estableció con base en la posibilidad de generar un mayor espesor de reciclado de acuerdo con la exploración geotécnica y disminuir así el espesor de la carpeta asfáltica.

En cuanto a la alternativa 3, es posible mantener la capa de reciclado en 15cm y aun así disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

Se verifica el cumplimiento en la condición del SN para las alternativas de diseño, las mismas serán evaluadas desde el punto de vista económico y constructivo, teniendo en cuenta que los

subtramos de reciclado y reconstrucción están intercalados, por lo que se considera mantener en lo posible los espesores de un subtramo a otro

En cuanto al geotextil NT2100 o similares implementados por el Constructor, se considera que teniendo en cuenta el tipo de geotextil y la ubicación, es acorde con lo que se quiere lograr que es la separación de las capas para evitar posterior contaminación de los materiales de base estabilizada con emulsión (reciclado) y subbase (reconstrucción).

9.3. Análisis económico

A continuación, se presentan los valores para las estructuras de pavimento, para reciclado y reconstrucción, sin contemplar las demás actividades requeridas para la construcción de un pavimento, tales como excavaciones, transporte, entre otras.

En el anexo 2 – análisis económico, se puede evidenciar los valores y espesores de cada capa de las estructuras de pavimento propuestas por el Consultor, Constructor y las planteadas aquí, para reciclado y reconstrucción.

Los valores unitarios mostrados en las siguientes tablas, fueron tomados de la Lista de precios del ICCU año 2020, para el caso de la capa de Base granular estabilizada (con material existente), se tomó el valor pactado contractualmente entre el Municipio de Quebradanegra y el Constructor.

Se presenta a continuación el resumen de los espesores obtenidos producto del diseño de reciclado:

Tabla 47 *Espesores diseños reciclado*

Reciclado (K0+000-K0+700 y K0+910-K1+070)				
DESCRIPCIÓN	Consultor	Constructor	Alternativa 1	Alternativa 2
	Espesor (m)			
Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	0.06	0.08	0.06	0.05
Base granular estabilizada (con material existente e=0.15m)	0.15	0.15	0.15	0.20
Material granular	0.20	0.20	0.20	0.20
Σ	0.41	0.43	0.41	0.45

La tabla 47 muestra los espesores de las alternativas de diseño para reciclado

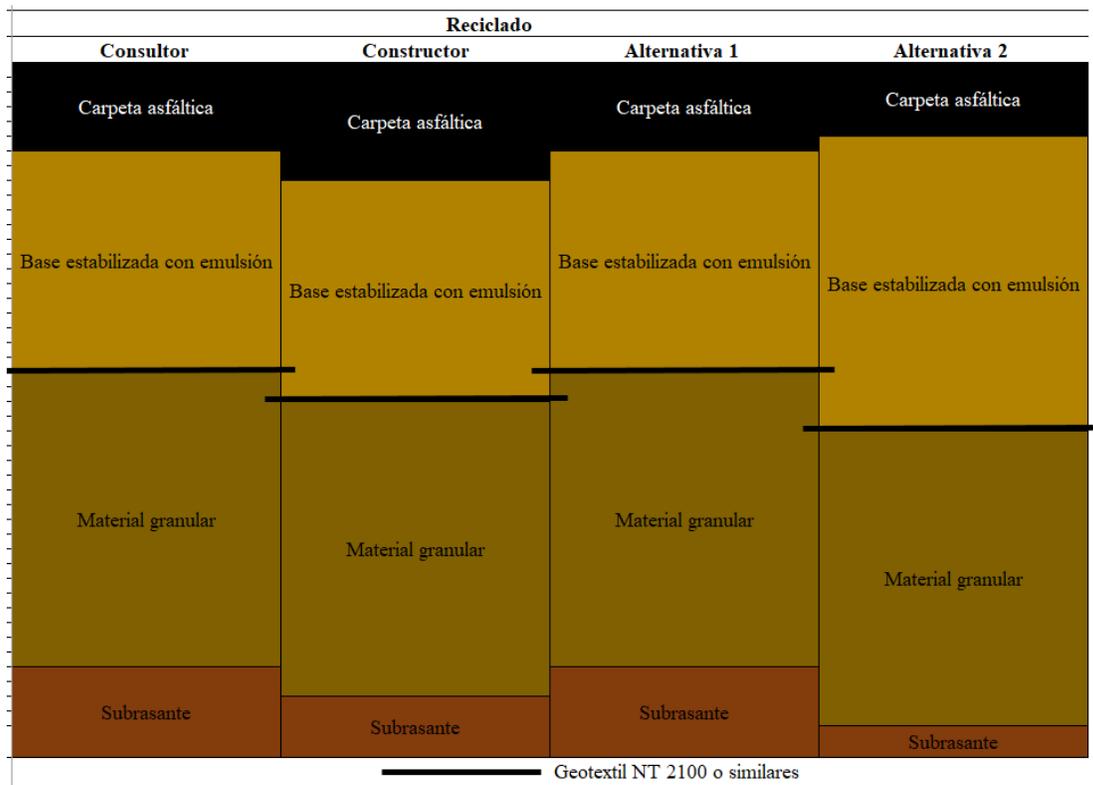


Figura 41. La figura muestra las alternativas de diseño para reciclado

Se presentan los costos, teniendo en cuenta los espesores de los diseños del Consultor, Constructor y las dos (2) alternativas planteadas.

Tabla 48 *Costos totales estructuras de pavimento para reciclado*

		Reciclado (K0+000-K0+700 y K0+910-K1+070)			
		Consultor	Constructor	Alternativa 1	Alternativa 2
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Valor total (\$)			
450.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	\$ 186,326,041.68	\$ 248,434,722.24	\$ 186,326,041.68	\$ 155,271,701.40
340.1	Base granular estabilizada (con material existente)	\$ 125,590,607.40	\$ 125,590,607.40	\$ 125,590,607.40	\$ 167,454,143.20
	Material granular	\$ 311,916,649.08	\$ 374,025,329.64	\$ 311,916,649.08	\$ 322,725,844.60

La tabla 48 indica los costos totales para las alternativas de diseño de reciclado. Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, el diseño del Consultor y la Alternativa 1, presentan el menor valor, seguido por la Alternativa 2 y el Constructor. La diferencia puede deberse a la estimación del módulo de la BEE.

Se presenta a continuación el resumen de los espesores obtenidos producto del diseño de reciclado:

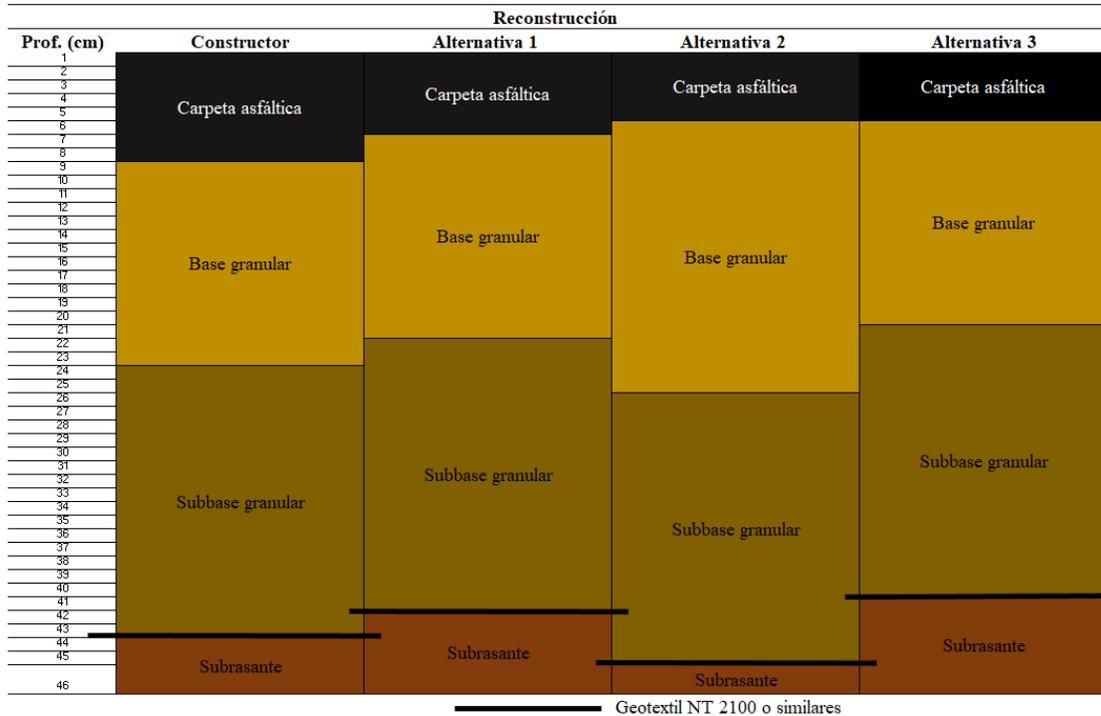


Figura 42. La figura muestra las alternativas de diseño para reconstrucción

Se presentan los costos, teniendo en cuenta los espesores de los diseños del Constructor y las tres (3) alternativas planteadas.

Tabla 49 Costos totales estructuras de pavimento para reconstrucción

Reconstrucción (K0+730-K0+910 y K1+070-K1+200)				
	Constructor	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
ÍTEM	DESCRIPCIÓN			
	Valor total (\$)			
450.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	\$ 89,552,051.04	\$ 67,164,038.28	\$ 55,970,031.90
330.3	Base granular clase c	\$ 40,363,841.40	\$ 40,363,841.40	\$ 53,818,455.20
7.1	Subbase granular	\$ 41,097,245.60	\$ 41,097,245.60	\$ 41,097,245.60
		\$ 171,013,138.04	\$ 148,625,125.28	\$ 150,885,732.70
				\$ 137,431,118.90

La tabla 49 indica los costos totales para las alternativas de diseño de reconstrucción.

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, la propuesta establecida por el Constructor corresponde a la estructura más costosa, esto puede deberse a las diferencias en los módulos de la carpeta asfáltica, subbase granular y subrasante, en las que el Constructor podría estar subvalorando la calidad de dichas capas.

En cuanto a nivel constructivo y con el fin de evaluar los costos que implicarían mantener un espesor total del pavimento uniforme a lo largo del tramo (reciclado y reconstrucción), se presenta la siguiente tabla en la cual se identifican las posibles combinaciones de alternativas de diseño para todo el tramo.

Tabla 50 *Costos total tramo intervención con uniformidad en espesor del pavimento*

Costo total tramo manteniendo el mismo espesor de pavimento en todo el corredor		
Espesor		
0.43m	0.41m	0.45m
Reciclado (Constructor) y Reconstrucción (Constructor)	Reciclado (Consultor) y Reconstrucción (Alternativa 1)	Reciclado (Alternativa 2) y Reconstrucción (Alternativa 2)
\$ 545,038,467.68	\$ 460,541,774.36	\$ 473,611,577.30

La tabla 50 indica los costos totales para las alternativas de diseño de reconstrucción.

Elaboración propia

El espesor que garantiza el menor costo del pavimento, es de 0.41m, es decir los diseños establecidos por el Consultor – Alternativa 1 (reciclado) y la Alternativa 1 (reconstrucción).

El espesor de 0.43m que corresponde al diseño del Constructor, aunque no corresponde al mayor espesor, es el más costoso.

Tabla 51 *Diseño rehabilitación más económico*

	<u>Reciclado</u>	<u>Reconstrucción</u>
Espesor total	0.41	0.40
Valor total	\$ 449,347,767.98	

La tabla 51 indica el costo total para las alternativas de diseño de reconstrucción y reciclado más económicas. Elaboración propia

De lo anterior, el diseño del Consultor para los subtramos de reciclado y la Alternativa 1 para los subtramos de reconstrucción, presentan el diseño más económico para todo el tramo de Villeta – La Magdalena, con un mismo espesor del pavimento a lo largo del corredor.

Aunque los diseños más económicos presenten una diferencia de 1cm en su carpeta asfáltica, constructivamente no presentaría dificultad en hacer dicha transición de subtramo a subtramo, por lo que en caso de que se optase por este diseño del tramo, se requiere un control en obra de los espesores del pavimento.

Sin embargo, la estructura de pavimento que se recomienda en el presente documento corresponde a un espesor total de pavimento de 0.41m, con el diseño de reciclado propuesto por Consultor – Alternativa 1 y del diseño de reconstrucción planteado como alternativa 1.

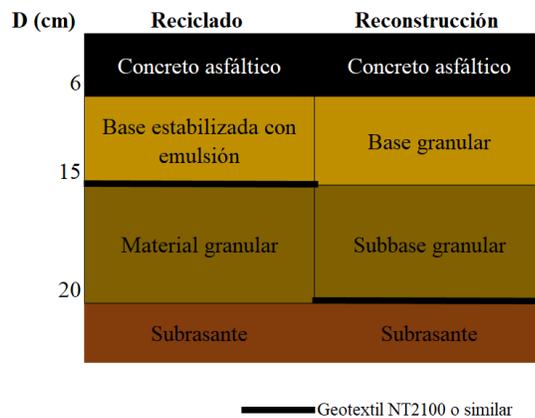
10. CONCLUSIONES

La sectorización de los tramos a intervenir, guarda coherencia con los resultados de la exploración geotécnica.

En términos generales, el tramo objeto de intervención cuenta con una subrasante *muy buena*, de acuerdo con la clasificación establecida por el Manual de bajos volúmenes del INVIAS.

Para el cálculo del módulo del material granular y subbase granular, el Constructor empleó un coeficiente de aporte estructural de 0.10, sin embargo, el módulo establecido utilizando la gráfica AASHTO-93, no corresponde, pues el valor establecido es mayor al que realmente corresponde a dicho coeficiente, lo que termina sobrevalorando estos materiales.

La estructura de pavimento recomendada presenta un espesor total de pavimento de 0.41m, con el diseño de reciclado propuesto por Consultor – Alternativa 1 y del diseño de reconstrucción planteado como Alternativa 1.



El diseño recomendado, disminuye en 2cm la carpeta asfáltica, sin embargo, con esta disminución se garantiza el cumplimiento de la condición del SN requerido y SN esperado.

Entre el ajuste al diseño del pavimento y las alternativas planteadas en el presente documento, presentan variaciones en el módulo de la subrasante, coeficientes estructurales del concreto asfáltico y subbase granular, así como el índice de serviciabilidad final.

Para la reconstrucción (estructura nueva), el Constructor definió como coeficiente de aporte (a) un valor de 0.1, con el cual obtuvo un Módulo (psi) de 15011, mientras que, para la alternativa planteada en este documento, se estableció un coeficiente de aporte (a) de 0.12, valor recomendado por el INVIAS y con el cual da un Módulo (psi) de 17000, presentando un incremento del 13.25% en los valores del módulo.

Para la capa de base estabilizada con emulsión, se presenta diferencia en los coeficientes de aporte estructural (a_i) del Constructor y lo planteado con el presente documento, lo que conlleva a presentar también diferencia en los módulos de esta capa, pues el Constructor está considerando un aporte estructural como si fuese una base granular.

Se verificó que el diseño de rehabilitación (reciclado) propuesto por el Consultor en el año 2018, teniendo en cuenta las características del material y evidenciadas en la exploración geotécnica, cumple, por lo que no se requería un ajuste al diseño.

Para los subtramos de reciclado, el diseño del Consultor y la Alternativa 1, son los diseños más económicos, con un espesor total de 41cm.

Para los subtramos de reconstrucción, la Alternativa 3 con un espesor total de pavimento de 40cm corresponde al diseño más económico.

El diseño del Constructor para reconstrucción con un espesor total de 43cm, presenta el diseño más costoso.

De acuerdo con la verificación del cumplimiento del diseño del Consultor y de que no se requería un ajuste al diseño, el valor que presenta la estructura de pavimento del Constructor supera en un 20% el valor de la estructura propuesta por el Consultor.

Se considera acorde la utilización y ubicación de los geotextiles en las estructuras de reciclado y reconstrucción.

El Constructor no acogió ninguna de las cuatro (4) alternativas definidas por el Consultor, aun cuando también existía una alternativa de reconstrucción.

Para utilizar producto del reciclado del pavimento como agregado de la base granular estabilizada con emulsión, se requiere que éste cumpla con los requisitos del Artículo 340-13 del INVIAS.

Se requiere que el pavimento esté acompañado de obras de drenaje superficial y subsuperficial, tales como filtros, cunetas y mantenimiento de alcantarillas y/o box culvert a lo largo del corredor con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del pavimento.

11. RECOMENDACIONES

Para obtener un análisis más detallado, se recomienda realizar una visita a campo para verificar en primera medida y de forma visual el estado del pavimento.

El análisis económico efectuado en el presente documento contempla únicamente las capas objeto de diseño, tales como subbase, base granular o estabilizada y carpeta asfáltica, por lo que, para obtener un análisis a detalle se recomienda incluir las labores de excavación y transporte.

Se recomienda que, al generar un informe de diseño, se indiquen las variables adoptadas y fuente de las mismas ya sean gráficas, recomendaciones de la metodología de diseño que se está empleando, INVIAS y en caso de que sean valores típicos o producto de la experiencia del profesional que genera el documento, es importante se indique dicha observación, puesto que estos documentos pueden ser tomados como referencia por profesionales con poca experiencia y pueden servir como una guía de diseño.

Para el caso en el que se presente una variación a lo largo del pavimento de la vía a rehabilitar, se requiere una sectorización de la vía, con el fin de evitar incurrir en errores de diseño, sobredimensionando el diseño de rehabilitación, o por el contrario sobrevalorando el estado del pavimento.

12. REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavemen Structures*. Washington .
- Consortio Beta. (2008). *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras* .
- Consortio Dincitec. (2018). *Estudios y diseños de las vías del Departamento de Cundinamarca, Grupo No. 2 - Volumen VI: Estudio geotécnico y diseño del pavimento*. Bogotá D.C.
- Consortio Normas 2012. (2012). *Especificaciones generales de construcción de carreteras* . Bogotá D.C.
- Consortio Vías Quebradanegra . (2020). *Ajuste a Estudios y Diseños de la estructura de pavimentos tramo 1 y tramo 2 versión 2*. Bogotá D.C.
- El Alcazar Limitada. (2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*.
- Fonseca, A. M. (2001). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá D.C.
- Londoño Naranjo, C., Alvarez Pabón, J., & ICPC. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajo, medios y altos volúmenes de transito*. Medellín, Colombia: INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. Recuperado el 2020
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá D.C.: Ediciones y publicaciones.
- Municipio de Quebradanegra. (2019). *Anexo 1 - Anexo técnico*.

Universidad del Cauca. (2015). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.*

13. ANEXOS

Anexo 1 – Exploración geotécnica

Anexo 2 – Análisis económico

Evaluación del diseño estructural de pavimento flexible en ejecución y planteamiento de alternativa para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1.2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca

**Exploración geotecnica
Resultados de laboratorio Dincitec, Concrelab y Pavimconc**

		RECONSTRUCCION																		
Consortio Dincitec	Consortio vias quebradanegra	ABSCISA	PROF. (m)	USCS			LL			LP			IP			CBR sumergido (%) SRS				
				DINCITEC	CONCRELAB	PAVIMCONC	DINCITEC	CONCRELAB	PAVIMCONC	DINCITEC	CONCRELAB	PAVIMCONC	DINCITEC	CONCRELAB	PAVIMCONC	DINCITEC	CONCRELAB	PAVIMCONC		
Carpeta asfáltica	Carpeta asfáltica	K1+119, K1+140, K1+000		Carpeta asfáltica	Capa de asfalto	Carpeta asfáltica en mal estado	Carpeta asfáltica		Carpeta asfáltica en mal estado	Carpeta asfáltica		Carpeta asfáltica en mal estado	Carpeta asfáltica		Carpeta asfáltica en mal estado					
Base estabilizada con emulsión	Base estabilizada con emulsión			GP-GC	GC	GC	25	34	30	17	21	17	8	13	13					
Granular remanente	Granular remanente			SC-SM			24			17			7							
						GC				34			17			17				13 (1,2m)
					GC				29			17			12					
						Material idem al anterior, humedad baja, denso						Material idem al anterior, humedad baja, denso								
												Material idem al anterior, humedad baja, denso								

Evaluación del diseño estructural de pavimento flexible en ejecución y planteamiento de alternativa para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1.2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca

ANÁLISIS ECONÓMICO

Reciclado (K0+000-K0+700 y K0+910-K1+070)																	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Un	Valor unit (\$)	Ancho (m)	Longitud (m)	Espesor (m)	Volumen (m)	Valor total (\$)	Consultor		Constructor		Alternativa 1		Alternativa 2		
									1	2	1	2	1	2	1	2	
450.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	m3	\$ 622,581.00	5.80	860.00	0.06	0.08	0.06	0.05	299.28	399.04	299.28	249.40	\$ 186,326,041.68	\$ 248,434,722.24	\$ 186,326,041.68	\$ 155,271,701.40
340.1	Base granular estabilizada (con material existente e=0.15m)	m3	\$ 167,857.00	5.80	860.00	0.15	0.15	0.15	0.20	748.20	748.20	748.20	997.60	\$ 125,590,607.40	\$ 125,590,607.40	\$ 125,590,607.40	\$ 167,454,143.20
	Material granular	m3		5.80	860.00	0.20	0.20	0.20	0.20	997.60	997.60	997.60	997.60				
	Σ				Σ	0.41	0.43	0.41	0.45					\$ 311,916,649.08	\$ 374,025,329.64	\$ 311,916,649.08	\$ 322,725,844.60

Reconstrucción (K0+730-K0+910 y K1+070-K1+200)																		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Un	Valor unit (\$)	Ancho (m)	Longitud (m)	Espesor (m)	Volumen (m)	Valor total (\$)	Consultor		Constructor		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
									1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
450.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	m3	\$ 622,581.00	5.80	310.00	0.08	0.06	0.05	0.05	143.84	107.88	89.90	89.90	\$ 89,552,051.04	\$ 67,164,038.28	\$ 55,970,031.90	\$ 55,970,031.90	
330.3	Base granular clase c	m3	\$ 149,662.00	5.80	310.00	0.15	0.15	0.20	0.15	269.70	269.70	359.60	269.70	\$ 40,363,841.40	\$ 40,363,841.40	\$ 53,818,455.20	\$ 40,363,841.40	
7.1	Subbase granular	m3	\$ 114,286.00	5.80	310.00	0.20	0.20	0.20	0.20	359.60	359.60	359.60	359.60	\$ 41,097,245.60	\$ 41,097,245.60	\$ 41,097,245.60	\$ 41,097,245.60	
	Σ					0.43	0.41	0.45	0.40					\$ 171,013,138.04	\$ 148,625,125.28	\$ 150,885,732.70	\$ 137,431,118.90	

Costo total tramo manteniendo el mismo espesor de pavimento en todo el corredor			
Espesor			
	0.43m	0.41m	0.45m
Reciclado (Constructor) y Reconstrucción (Constructor)	\$ 545,038,467.68	\$ 460,541,774.36	\$ 473,611,577.30
Reciclado (Consultor) y Reconstrucción (Alternativa 1)			
Reciclado (Alternativa 2) y Reconstrucción (Alternativa 2)			

	Reciclado	Reconstrucción
Espesor total	0.41	0.40
Valor total	\$ 449,347,767.98	

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Albán	La Peña	La Vega	Nimaima	Nocaima	Quebrada Negra	San Francisco	Sasaima	Supatá	Útica	Vergara	Villeta
VÍAS (SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVIAS 2007)														
1	NORMA INV PRELIMINARES													
1.1	201 P DEMOLICIÓN CONCRETO ESTRUCTURAL (INCLUYE CARGUE Y RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA DE 5KM)	M3	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004	163.004
1.2	201 P DEMOLICIÓN CONCRETO SIMPLE (INCLUYE CARGUE Y RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA DE 5KM)	M3	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239	57.239
1.3	200.1 DESMONTE Y LIMPIEZA EN BOSQUE (INCLUYE CARGUE Y RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA DE 5KM)	HA	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770	2.781.770
1.4	200.2 DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONA NO BOSCOSEA (INCLUYE CARGUE Y RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA DE 5KM)	HA	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734	1.007.734
1.5	201.7 DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS (INCLUYE CARGUE Y RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA DE 5KM)	M3	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420	95.420
1.6	*** TRANSPORTE DE MATERIALES PROV. DE EXPLANACIÓN, CANALES, PRESTAMOS, SOBRECARGOS Y DERRUMBES	M3-KM	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393
2	NORMA INV EXPLANACIÓN Y EXCAVACIONES													
2.1	210.1.1 EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRESTAMOS	M3	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141
2.2	210.2.1 EXCAVACIÓN EN ROCA DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRESTAMOS	M3	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171	37.171
2.3	210.2.2 EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRESTAMOS	M3	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296	9.296
2.4	220.1 TERRAPLENES	M3	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828	15.828
2.5	221.1 PEDRAPLÉN COMPACTO	M3	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840	13.840
2.6	221.2 PEDRAPLÉN SUELTO	M3	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955	7.955
2.7	230.1 MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INVOLUCRANDO EL SUELO EXISTENTE	M2	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510
2.8	230.2 MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INVOLUCRANDO ÚNICAMENTE MATERIAL ADICIONADO	M3	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601	13.601
2.9	600.1 EXCAVACIONES VARIAS SIN CLASIFICAR (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199	22.199
2.10	600.2 EXCAVACIONES VARIAS EN ROCA EN SECO (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580	68.580
2.11	600.3 EXCAVACIONES VARIAS EN ROCA BAJO AGUA (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199	84.199
2.12	600.4 EXCAVACIONES VARIAS EN MATERIAL COMÚN SECO (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181	20.181
2.13	600.4 P EXCAVACIONES VARIAS EN MATERIAL COMÚN SECO A MANO (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705	43.705
2.14	600.5 EXCAVACIONES VARIAS EN MATERIAL COMÚN BAJO AGUA (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128	33.128
2.15	600.5 P EXCAVACIONES VARIAS EN MATERIAL COMÚN BAJO AGUA A MANO (INCLUYE RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178	59.178
3	NORMA INV ESTRUCTURA DE PAVIMENTO													
3.1	460.1 PISADO CONCRETO ASFÁLTICO (E-9-12 cm)	M2	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763	5.763
3.2	320.1 SUBBASE GRANULAR	M3	154.126	161.369	141.449	137.827	132.395	114.284	134.206	123.340	154.126	136.017	161.369	87.122
3.3	330.1 BASE GRANULAR	M3	189.502	198.557	178.637	173.204	167.771	149.662	169.582	158.717	189.502	171.393	196.746	122.499

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Albán	La Peña	La Vega	Nimaima	Nocaima	Quebrada Negra	San Francisco	Sasaima	Supatá	Útica	Vergara	Villeta
3.4	365.1 EXCAVACIÓN PARA REPARACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE (INCLUYE RETIRO DE ESCOMBROS CON CARGUE MENOR A 5 Ton)	M3	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793	147.793
3.5	420.1 RIEGO DE IMPRIMACIÓN	M2	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460	3.460
3.6	421.1 RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRR-1	M2	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
3.7	461.1 PAVIMENTO RECICLADO EN FRÍO EN EL LUGAR CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M3	242.929	243.326	243.525	242.929	241.540	240.547	245.510	239.555	247.494	242.929	244.120	237.570
3.8	510.1 PAVIMENTO DE ADQUINES DE CONCRETO	M2	74.268	74.405	74.474	74.268	73.787	73.444	75.160	73.100	75.847	74.268	74.680	72.413
3.9	450.1 P MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-25 (INCLUYE CEMENTO ASFÁLTICO)	M3	573.063	618.336	552.168	585.252	586.993	616.594	543.462	593.958	573.063	635.748	592.217	674.756
3.10	450.2 P MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-19 (INCLUYE CEMENTO ASFÁLTICO)	M3	579.049	624.322	558.154	591.238	592.979	622.581	549.448	599.944	579.049	641.734	598.203	702.391
3.11	450.9 P MEZCLA DENSA EN CALIENTE PARA BACHEO (INCLUYE CEMENTO ASFÁLTICO)	M3	620.510	665.783	599.615	632.699	634.440	664.041	590.909	641.405	620.510	683.195	639.664	743.851
3.12	450.3 P MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-10 (INCLUYE CEMENTO ASFÁLTICO)	M3	610.477	655.749	589.582	622.666	624.407	654.008	580.876	631.372	610.477	673.162	629.631	710.067
3.12(1)	442 MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL	M3	321.471	330.347	317.711	320.293	327.484	303.537	333.833	294.887	359.375	262.596	346.922	279.943
3.13	340.1 BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO BEE-1	M3	348.703	357.757	337.837	332.404	326.972	308.863	328.783	317.917	348.703	330.594	355.946	281.699
3.14	340.2 BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO BEE-2	M3	312.051	319.295	299.375	295.753	290.320	272.211	292.131	281.266	312.051	293.942	319.295	245.048
3.14(1)	*** ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ESTABILIZANTE QUÍMICO	M3	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664	46.664
3.14(2)	*** ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON NANO TECNOLOGÍA	M3	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944	183.944
3.15	311.1 AFIRMADO	M3	98.985	104.418	82.687	80.876	75.443	71.822	86.309	64.578	111.661	79.065	77.254	44.658
3.16	431.1 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE CON EMULSIÓN CRR-2	M2	12.621	12.651	12.664	12.623	12.528	12.460	12.800	12.392	12.938	12.621	12.705	12.256
3.17	430.1 TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE CON EMULSIÓN CRR-2 CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO MR-38, INCLUYE SELLADO DE JUNTAS Y ACERO DE TRANSFERENCIA Y UNIÓN	M2	5.093	5.107	5.114	5.093	5.046	5.012	5.182	4.978	5.250	5.093	5.134	4.910
3.18	500.1 SELLADO DE JUNTAS Y ACERO DE TRANSFERENCIA Y UNIÓN	M3	716.696	718.803	719.856	716.696	709.320	704.052	730.393	698.783	740.930	716.696	723.017	688.246
3.19	500.1 CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO MR-41, INCLUYE SELLADO DE JUNTAS Y ACERO DE TRANSFERENCIA Y UNIÓN	M3	752.353	754.554	755.654	752.353	744.646	739.142	766.663	733.638	777.672	752.353	758.957	722.629
3.20	500.1 CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO MR-43, INCLUYE SELLADO DE JUNTAS Y ACERO DE TRANSFERENCIA Y UNIÓN	M3	776.167	778.432	779.565	776.167	768.237	762.573	790.893	756.909	802.220	776.167	782.963	745.581
3.21	*** (INCLUYE LIMPIEZA, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FONDO Y SELLANTE)	ML	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777	7.777
3.22	*** BACÓN PARA MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE	M3	125.359	134.552	117.697	114.633	110.036	103.906	119.229	100.842	140.682	113.100	131.488	83.987