

**USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE
CARRETERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**



AUTOR

HUGO ARMANDO MONTAÑA SANABRIA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

ORLANDO GERMAN POSSO AREVALO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, ABRIL DE 2021

Uso de residuos de caucho en pavimento de asfalto para el mejoramiento de carreteras terciarias en el municipio de Pesca departamento de Boyacá

Hugo Armando Montaña Sanabria

Código: D7303551

Propuesta de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. Orlando Germán Posso Arévalo

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia- FAEDIS

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá D.C, abril de 2021

Bogotá, D.C., 02 de mayo de 2021

Señores:

Comité de opción de grado

Programa de Ingeniería Civil

Facultad de Estudios a Distancia

Universidad Militar Nueva Granada

Ciudad.

Ref.: Presentación propuesta

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para los fines pertinentes la propuesta titulada: “Uso de residuos de caucho en pavimento de asfalto para el mejoramiento de carreteras terciarias en el municipio de Pesca departamento de Boyacá”.

El director es el Ingeniero Orlando Germán Posso Arévalo

Atentamente,

Hugo Armando Montaña Sanabria.

D7303551

Estudiante de Ingeniería Civil

Aprobación

La propuesta de grado titulada “Uso de residuos de caucho en pavimento de asfalto para el mejoramiento de carreteras terciarias en el municipio de Pesca departamento de Boyacá”, opción de grado: trabajo de grado, presentada por el estudiante Hugo Armando Montaña Sanabria en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el director: Ing. Orlando Germán Posso Arévalo.

Ing. Orlando Germán Posso Arévalo.

Director Universidad Militar Nueva Granada

Tabla de contenido

Lista de tablas	8
Lista de figuras.....	10
Lista de anexos.....	12
Glosario.....	13
Resumen.....	14
Introducción	15
1. Titulo	17
2. Áreas.....	18
3. Antecedentes.....	19
4. Planteamiento del problema	21
5. Justificación.....	24
6. Objetivos.....	26
6.1 Objetivo general	26
6.2 Objetivos específicos.....	26
7. Marco teórico y estado del arte.....	27
7.1 Marco teórico	27
7.1.1 Pavimentos.....	27
7.1.2 Asfalto	29
7.1.3 Neumáticos.....	32

7.2	Estado del arte	34
8.	Delimitación	37
8.1	Geográfica	37
8.2	Cronológica	39
8.3	Conceptual.....	39
9.	Alcance	42
10.	Metodología propuesta.....	43
11.	Cronograma de actividades.....	44
12.	Aspectos administrativos	47
13.	Presupuesto	48
14.	Esquema del trabajo.....	49
15.	Resultados	51
15.1	Diseño de la mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda	51
15.1.1	<i>Características de los materiales.....</i>	52
15.1.2	<i>Producción de asfalto modificado con GCR</i>	53
15.1.3	<i>Diseño de la mezcla con GCR</i>	54
15.1.4	<i>Ensayos de laboratorio para el diseño mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda.....</i>	56
15.1.5	<i>Ensayo de Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas.</i>	71

15.1.6	<i>Ensayo de estabilidad y flujo</i>	74
15.1.7	<i>Ensayo de extracción cuantitativa del asfalto</i>	78
15.1.8	<i>Conclusiones de los ensayos</i>	88
15.2	Viabilidad técnica.....	89
15.2.1	<i>Levantamiento topográfico y georreferenciación</i>	94
15.2.2	<i>Diseño geométrico</i>	100
15.3	Viabilidad económica.....	106
15.3.1	<i>Análisis de precios unitarios de la región para mezclas asfálticas convencionales</i>	107
15.3.2	<i>Costos de producción, instalación, y compactación de mezcla asfáltica en caliente con GCR.</i>	109
15.3.3	<i>Análisis final de costos</i>	112
	Conclusiones	114
	Recomendaciones	116
	Referencias bibliográficas.....	117
	Anexos	124

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Coordenadas ubicación del tramo Peña San Juan</i>	38
Tabla 2. <i>Actividades desarrolladas</i>	43
Tabla 3. <i>Cronograma de actividades</i>	44
Tabla 4. <i>Recursos</i>	47
Tabla 5. <i>Presupuesto</i>	48
Tabla 6. <i>Porcentajes de la mezcla asfáltica en caliente con GCR utilizados</i>	56
Tabla 7. <i>Especificación del GCR</i>	57
Tabla 8. <i>Ensayos de los agregados</i>	58
Tabla 9. <i>Elaboración de la mezcla asfáltica con GCR al 20 % por vía húmeda.</i>	60
Tabla 10. <i>Probetas con mezcla asfáltica en caliente con 20% de GCR por vía húmeda</i>	79
Tabla 11. <i>Probetas con mezcla asfáltica en caliente con 15% de GCR por vía húmeda</i>	81
Tabla 12. <i>Probetas con mezcla asfáltica en caliente con 10% de GCR por vía húmeda</i>	83
Tabla 13. <i>Resultados de la mezcla con el 20% de GCR</i>	85
Tabla 14. <i>Resultados de la mezcla con el 15% de GCR</i>	86
Tabla 15. <i>Resultados mezcla con 10% de GCR</i>	87
Tabla 16. <i>Códigos cartera topográfica</i>	95
Tabla 17. <i>Coordenadas de los puntos materializados</i>	97
Tabla 18. <i>Coordenadas geográficas base permanente tuna</i>	97
Tabla 19. <i>Resumen parámetros de diseño del proyecto</i>	104
Tabla 20. <i>Equipos necesarios para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.</i>	109
Tabla 21. <i>Materiales necesarios para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.</i>	110
Tabla 22. <i>Mano de obra mínima para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.</i>	110

Tabla 23. <i>Valor del transporte para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.</i>	111
Tabla 24. <i>Resumen de costos directos e indirectos y valor total para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.</i>	111
Tabla 25. <i>Resumen de cotizaciones GCR</i>	112
Tabla 26. <i>Análisis final de costos de las mezclas asfálticas</i>	112

Lista de figuras

Figura 1. <i>Estado de las vías terciarias según su superficie.</i>	19
Figura 2. <i>Estructura de diseño final para mezclas asfálticas con asfalto caucho.</i>	20
Figura 3. <i>Árbol del problema de investigación</i>	23
Figura 4. <i>Estructura del pavimento flexible</i>	28
Figura 5. <i>Materias primas utilizadas en pavimentos flexibles</i>	28
Figura 6. <i>Estructura del pavimento rígido</i>	29
Figura 7. <i>Proceso por vía húmeda</i>	31
Figura 8. <i>Proceso por vía seca</i>	32
Figura 9. <i>Resultados de ensayos convencionales sobre asfalto no modificado y modificado con GCR</i>	35
Figura 10. <i>Localización geográfica del municipio de Pesca</i>	37
Figura 11. <i>Mapa de carreteras terciarias de Pesca- Boyacá</i>	38
Figura 12. <i>Localización geográfica del tramo Peña San Juan</i>	39
Figura 13. <i>Probetas mezcla asfáltica en caliente con GCR 15%</i>	67
Figura 14. <i>Probetas mezcla asfáltica en caliente con GCR 10%</i>	68
Figura 15. <i>Ensayos de probetas</i>	70
Figura 16. <i>Toma de espesor de briquetas</i>	71
Figura 17. <i>Ensayo de Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas.</i>	72
Figura 18. <i>Ensayo de estabilidad y flujo</i>	74
Figura 19. <i>Ensayo de extracción cualitativa de asfalto</i>	78
Figura 20. <i>Gráfica de la mezcla asfáltica con 20% de GCR</i>	80

Figura 21. <i>Grafica de la mezcla asfáltica con 15% de GCR</i>	82
Figura 22. <i>Grafica de la mezcla asfáltica con 10% de GCR</i>	84
Figura 23. <i>Cuneta revestida en concreto de 21 MPA (3000PSI) sin refuerzo incluye sello de juntas</i>	91
Figura 24. <i>Estado actual de la vía.</i>	91
Figura 25. <i>Esquema de ajuste del levantamiento topográfico</i>	97
Figura 26. <i>Puntos materializados</i>	98
Figura 27. <i>Levantamiento topográfico</i>	100
Figura 28. <i>Sección transversal típica</i>	104
Figura 29. <i>APU de la Gobernación de Boyacá para mezclas asfálticas convencionales</i>	107
Figura 30. <i>APU de INVIAS para mezcla en caliente tipo MDC-19</i>	108
Figura 31. <i>Relación de costos totales de las mezclas asfálticas</i>	113

Lista de anexos

Anexo 1. <i>Plano de localización geográfica exacta del proyecto</i>	124
Anexo 2. <i>Plano planta perfil del levantamiento topográfico</i>	124
Anexo 3. <i>Plano de secciones transversales levantamiento topográfico</i>	124
Anexo 4. <i>Plano planta perfil diseño geométrico</i>	124
Anexo 5. <i>Plano secciones transversales diseño geométrico desde k0 +000 hasta k0 + 350</i>	124
Anexo 6. <i>Plano secciones transversales diseño geométrico desde k0 +360 hasta k0 + 710</i>	124
Anexo 7. <i>Plano secciones transversales diseño geométrico desde k0 +710 hasta k0 + 900</i>	124

Glosario

Asfalto: “Es un material aglomerante de color oscuro, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos.” (Valenzuela, 2003, pág. 10)

Pavimento: “Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos” (Giordani & Leone, s.f, pág. 2)

Caucho: “Es un hidrocarburo de gran importancia que se obtiene del látex de ciertos árboles de la zona tropical.” (Castro, 2008, pág. 19)

Reciclaje: “El reciclaje constituye una forma de aprovechamiento de los materiales contenidos en objetos que, por diversas causas, han sido desechados y que mediante transformación industrial o artesanal pueden obtener un nuevo valor.” (Reyes Curcio , Pellegrini Blanco , & Reyes Gil, 2015, pág. 160)

Carretera: “Adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llena las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.” (Castelán Sayago , 2008, pág. 5)

Resumen

Esta investigación evalúa la viabilidad técnica y económica que tiene incluir gránulos de caucho reciclados en pavimentos de asfalto para el mejoramiento de las carreteras terciarias del municipio de Pesca-Boyacá, teniendo en cuenta que es posible reciclar y reutilizar el caucho, pues es un material que se encuentra presente en productos de uso diario como las llantas, las alfombras, los recubrimientos de cables, las piezas mecánicas, el calzado, entre otros. En efecto, al tener en cuenta la vida útil del pavimento y la disminución de los costos de mantenimiento, se hace necesario estudiar la incorporación del caucho de las llantas en la composición de capas de asfalto pavimentado de una manera eficaz, técnica y económicamente viable.

Dicho lo anterior, para el desarrollo del proceso investigativo se establecen tres etapas. En primer lugar, la revisión de los antecedentes de las investigaciones realizadas previamente sobre el tema. En segundo lugar, la realización del trabajo exploratorio de campo fundamentado en los estudios topográficos, el diseño geométrico y los laboratorios. Por último, el análisis de los aspectos técnicos y económicos precisados con el uso de mezclas asfálticas modificadas con GCR.

Palabras clave: asfalto, pavimento, reciclaje, caucho, carretera.

Introducción

Las carreteras son de suma importancia para la infraestructura vial de un país pues fomentan al desarrollo económico, social y cultural del mismo. Las exigencias que demandan los flujos vehiculares, el mal estado de las vías y los impactos ambientales negativos que genera la disposición inadecuada de las llantas fuera de uso, hacen necesario como alternativa el empleo del granulo de caucho reciclado-GCR como mejorador de las mezclas asfálticas para su uso en la construcción de pavimentos. En este sentido, evaluar la viabilidad técnica y económica que éste aporta a los pavimentos, se convierte en el fin principal al que se espera llegar con esta investigación.

Por consiguiente, la presente investigación resalta la importancia que tiene la implementación y aprovechamiento de gránulos de caucho reciclados como materia prima para proyectos de infraestructura vial a nivel general. En efecto, este trabajo se enmarca dentro de una iniciativa de investigación y pretende efectuar un diseño de pavimento mediante el efecto de la incorporación de caucho de neumáticos desechados dentro de mezclas asfálticas en caliente, realizando los correspondientes ensayos de laboratorio para ser comparados con un diseño de mezcla asfáltica tradicional o convencional.

Finalmente, es preciso mencionar que este documento se divide en cuatro capítulos, en los cuales el lector podrá encontrar la información distribuida de la siguiente manera: En primer lugar, en la aproximación al objeto de estudio, se exponen los antecedentes, el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, la justificación y los objetivos. En segundo lugar, en el marco referencial, se encuentran las teorías, el estado del arte y la delimitación geográfica, cronológica y conceptual del presente estudio. En tercer lugar, en la orientación metodológica, se presenta el alcance del proyecto, la metodología, el cronograma de actividades, los aspectos

administrativos y el presupuesto. Por último, en los hallazgos y reflexiones, se muestran los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones.

1. Título

El título seleccionado para el proyecto investigativo es: *“Uso de residuos de caucho en pavimento de asfalto para el mejoramiento de carreteras terciarias en el municipio de Pesca departamento de Boyacá”*

2. Áreas

Las áreas de ingeniería civil en las que intervino el presente documento fueron:

- *Vías y transporte*, pues pretende la cualificación del ingeniero civil desde el punto de vista técnico y económico en el planteamiento, análisis y resolución de los problemas de vías y de servicios de transporte que se presentan en el país mediante una visión crítica, responsable y ética para la toma acertada de decisiones.
- *Geotecnia vial y pavimentos*, al considerar que el ingeniero civil puede desarrollar múltiples capacidades para conocer las nuevas tendencias en el diseño de pavimentos, aplicar técnicas de rehabilitación de estructuras viales, usar materiales alternativos, planear y controlar proyectos viales para dar solución a problemas geotécnicos, entre otros.

3. Antecedentes

Inicialmente, conviene mencionar que “en Colombia, las carreteras están conformadas aproximadamente por 16.968 km de red de primer orden, 45.137 km de segundo orden y 142.284 km de tercer orden; es decir, la red vial terciaria tiene la mayor extensión en el territorio nacional.” (Ministerio de Transporte , 2018, pág. 48) En este sentido, al considerar el terreno objeto de estudio de la presente investigación, se hace necesario mencionar que “para el año 2014, se estimaba que de los 142.284 km de red terciaria, el 24% estaba en tierra, el 70% en afirmado y el 6% pavimentado y que aproximadamente el 25% del total estaba en buen estado.” (Ministerio de Transporte , 2018, pág. 48) Lo anterior se puede observar detalladamente en la Figura 1.

Figura 1. *Estado de las vías terciarias según su superficie.*

TIPO DE SUPERFICIE	LONGITUD (KM)	ESTADO %		
TIERRA	34.148	36,6	29,9	33,5
AFIRMADO	99.599	42,0	46,1	11,9
PAVIMENTO	8.537	32,5	28,0	39,5

Nota. Tomado de *vías terciarias según su superficie*, por Ministerio de Transporte (2018)

En este contexto, el deterioro de las carreteras y la gestión vial encaminada a la intervención ocasional producen un impacto económico demasiado elevado, razón por la cual es preciso considerar la posibilidad de mejorar las vías terciarias con pavimentos de asfalto económica y ambientalmente sostenibles. En concordancia, para renovar las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos resulta conveniente incorporar una parte importante del caucho contenido en los productos desechados como los neumáticos, tal y como se analiza en la figura 2 tras el estudio con gránulos de caucho reciclado.

Figura 2. Estructura de diseño final para mezclas asfálticas con asfalto caucho.

ESPESOR	CAPA	MODULO RESILIENTE E(Mpa)	OBSERVACIONES
8	MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MDC-19	3000	
8	MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MDC-25		
8	MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MSC-25		
15	BASE GRANULAR TIPO INVIAS	210	
45	SUBBASE GRANULAR TIPO INVIAS	175	
40	RAJON Y SELLO DE MAT GRANULAR	30	CBR=3%
	SUBRASANTE		

Nota. Tomado de *Estructura final método ASSHTO-93*, por A, Ramírez; I, L, Ladino & J,P Rosas (2014)

Finalmente, cabe resaltar que uno de los mayores problemas ambientales que se está presentado en la actualidad es el manejo irresponsable de los desechos, lo cual ocasiona el desuso de materiales potencialmente útiles, la contaminación del aire y del agua, el consumo de nuevas materias primas, entre otros. Con base en lo anterior, desde la ingeniería civil se puede contribuir con el cuidado del medio ambiente gracias al reciclaje y el uso de gránulos de cauchos reciclados como agregado en las mezclas asfálticas de pavimentado.

4. Planteamiento del problema

Para empezar, es importante señalar que según los registros de Planeación Nacional “las vías terciarias representan el 69,4 por ciento del total de la malla vial del país, de las cuales solo 6 por ciento están pavimentadas, 70 por ciento han sido afirmadas y 24 por ciento son puro camino polvoriento” (Escobar, 2017). Lo anterior constituye una dificultad para la movilidad y el transporte pues al menos el 75% de las vías terciarias estarían en mal estado, ya que “existe una descentralización administrativa en la institucionalidad de las carreteras terciarias, la cual no se tradujo en mayor eficacia debido a la baja capacidad técnica y financiera de las autoridades locales.” (Escobar, 2017)

En este orden de ideas, en las carreteras terciarias del municipio de Pesca Boyacá se ha evidenciado un deterioro de la red vial, a causa de la poca inversión realizada en proyectos de conservación, pues las actividades de gestión vial han estado encaminadas al mantenimiento correctivo y no preventivo. Como consecuencia, el tránsito de vehículos se ve interrumpido, en ocasiones las vías llegan a estar intransitables. Además, se presenta un incremento en los costos del transporte, en la operación vehicular y en los tiempos de viaje.

En relación con esto, la dificultad de la intercomunicación terrestre en la gran mayoría de la población rural del municipio aparece debido al deterioro de las vías terciarias, principalmente en la superficie de rodadura por la desatención de puntos críticos; lo que viene generando la baja comercialización de productos, el inoportuno acceso a servicios médicos, el aumento del riesgo de deserción escolar, el incremento en los precios de alimentos, la pérdida de las cosechas, entre otros factores que inciden directamente en el desarrollo económico y social de la población boyacense.

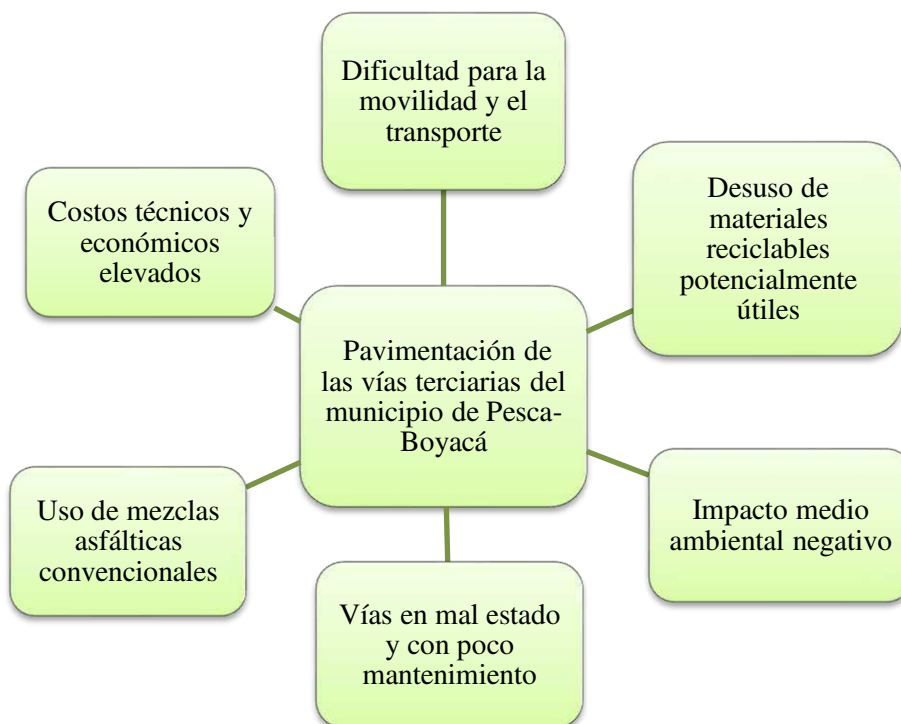
Por otro lado, de acuerdo con la inspección ocular realizada en la red terciaria del municipio se pudo evidenciar que está se encuentra en mal estado, con deficiente mantenimiento y en su gran mayoría con una capa de rodadura en recebo o en algún tipo de material afirmado con pavimentos convencionales. Es por esto que, es importante evaluar las características y las propiedades de productos no tradicionales tales como el caucho, un componente que al reciclarse puede llegar a cumplir con los parámetros y las especificaciones técnicas para su uso en la pavimentación de vías terciarias.

Desde otra perspectiva, es necesario señalar que el municipio de Pesca no es ajeno a los problemas ambientales generados por la disposición inadecuada de los diferentes artículos de caucho como las llantas. Por esta razón, se ha acogido a los lineamientos expuestos en la Resolución 1326 de 2017 “por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones” (2017, pág. 1) al fomentar un nuevo uso de las llantas para mantener controlada su disposición final sin afectar al medio ambiente y a la comunidad en general.

En virtud de lo anterior, se planteó el siguiente problema: *“La pavimentación de las carreteras terciarias del municipio de Pesca-Boyacá con mezclas de asfalto convencionales provoca costos técnicos y económicos elevados”*

En concordancia, surgió el siguiente interrogante: *¿Qué viabilidad técnica y económica tiene incluir gránulos de caucho reciclados en pavimentos de asfalto para el mejoramiento de las carreteras terciarias del municipio de Pesca-Boyacá?*

Para concluir, los datos presentados en la figura 3 relacionan las causas y los efectos del problema encontrado durante esta investigación .

Figura 3. *Árbol del problema de investigación*

5. Justificación

La presente investigación surgió como respuesta a la necesidad de evaluar la viabilidad técnica y económica que tiene incluir gránulos de caucho reciclados en pavimentos de asfalto para el mejoramiento de las carreteras terciarias del municipio de Pesca-Boyacá, considerando que la realización de este estudio examina una opción diferente de pavimentación con mezclas asfálticas no convencionales, en virtud de que las actividades producidas desde el campo de la ingeniería civil tienen una gran incidencia en la economía, la sociedad y el medio ambiente.

En efecto, este proyecto se fundamentó en las investigaciones que se han realizado previamente para conocer el comportamiento y mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas convencionales, incorporando llantas como material agregado. De esta manera, el reciclaje del caucho se transforma en una técnica eficaz y económica para el mejoramiento de las carreteras terciarias, ya que es posible reutilizar los materiales que están dispuestos en este una vez han cumplido su vida útil, generando así soluciones sostenibles en el diseño de pavimentos.

Adicionalmente, es necesario tomar en cuenta que al modificar las mezclas asfálticas se tiene como principal objetivo, obtener propiedades mecánicas que no se logran con la refinación en los tipos de asfaltos convencionales; aspectos que definen la eliminación de residuos, el ahorro de materias primas, la conservación del medio ambiente, la disminución de costos, la durabilidad y por ende el aumento de la vida útil del pavimento con técnicas económicas y funcionalmente viables.

Finalmente, el impacto de esta investigación radicó en la contextualización de las distintas opciones técnicas que se pueden ejecutar con el uso de materiales alternativos para el mejoramiento, el mantenimiento y la construcción de las redes viales terciarias, lo cual permitirá

realizar proyectos y planes a futuro que darán respuestas e impactos positivos a la sociedad, entendiendo el escenario en el que se encuentra Colombia y las posibilidades que tiene el ingeniero civil para actuar en ella.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica y económica que tiene incluir gránulos caucho reciclado en pavimentos de asfalto para el mejoramiento de las vías terciarias del municipio de Pesca-Boyacá

6.2 Objetivos específicos

- Revisar los antecedentes de las investigaciones efectuadas con relación al uso de mezclas asfálticas modificadas con GCR.
- Realizar en el tramo de carretera terciaria seleccionado estudio topográfico, diseño geométrico y ensayos de laboratorio para el análisis de mezclas asfálticas modificadas con GCR.
- Analizar los aspectos técnicos y económicos precisados con el uso de mezclas asfálticas modificadas con GCR.

7. Marco teórico y estado del arte

7.1 Marco teórico

En este apartado se presentan los principios teóricos considerados para evaluar la viabilidad técnica y económica que tiene incluir gránulos de caucho reciclados en pavimentos de asfalto para el mejoramiento de las carreteras terciarias del municipio de Pesca-Boyacá.

7.1.1 Pavimentos

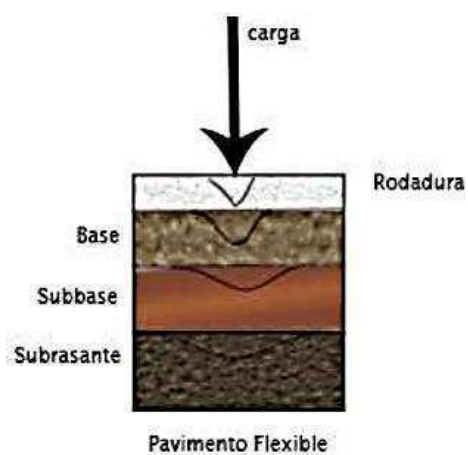
Tal y como lo menciona Henríquez Ulloa (2014) “Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados” (pág. 2) , dichas capas se constituyen teniendo en cuenta diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente la rigidez y la durabilidad necesaria para el tránsito de vehículo.

Tipos de pavimentos. Las carreteras están destinadas para diferentes actividades, algunas serán más empleadas que otras, es por esto que es necesario seccionar los pavimentos según sus características de uso, resistencia y estructura. Estos se dividen básicamente en dos grupos: flexibles y rígidos.

Pavimento Flexible. Tal y como se muestra en la figura 4, son estructuras formadas por tres capas que se extienden y compactan sobre la subrasante existente y que a su vez pueden tener subcapas. Para el pavimento flexible “tiene un periodo de vida de 10 a 15 años, pero, requiere de un constante mantenimiento para poder cumplir los años de funcionamiento.” (pág. 26)

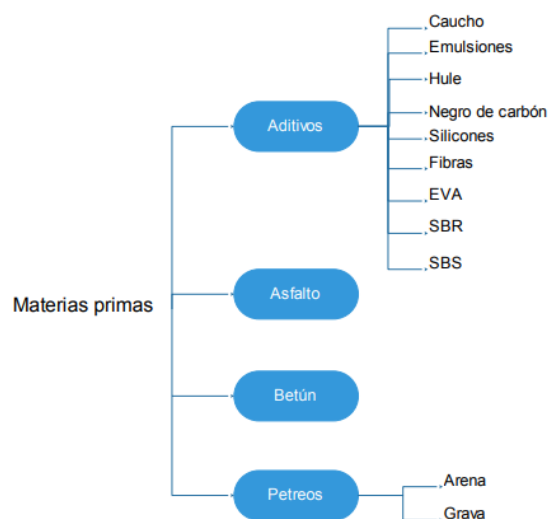
Adicionalmente, es preciso mencionar que “existen propiedades químicas, físicas y toxicológicas de los materiales empleados en la construcción de pavimentos flexibles” (Archila Acelas & Aparicio Jurado, 2018, pág. 18), entre las cuales se destaca en la figura 5 el caucho material de estudio de la presente investigación.

Figura 4. *Estructura del pavimento flexible*



Nota. Tomado de *Estructuras de Pavimento flexible Modificado*, por A, M Dueñas Rodriguez & S, A Calume (2017) adaptado de INVIAS (2006).

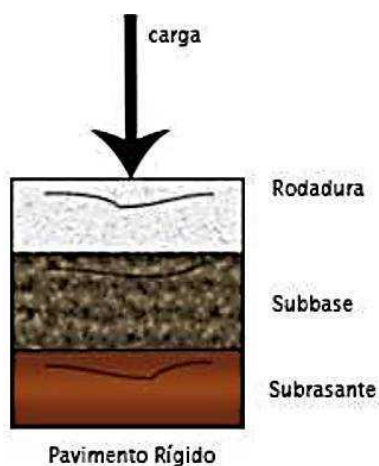
Figura 5. *Materias primas utilizadas en pavimentos flexibles*



Nota. Tomado de *Materias primas pavimentos flexibles*, por A, V Archila & M, A Aparicio (2018) adaptado de Hernández, et al. (2001)

Pavimento Rígido. Está conformado por una losa de concreto sobre una base o directamente sobre la subrasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente. “Su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.” (Archila Acelas & Aparicio Jurado, 2018) En la figura 6 se señala la estructura del pavimento rígido.

Figura 6. *Estructura del pavimento rígido*



Nota. Tomado de *Estructuras de Pavimento rígido Modificado*, por A, M Dueñas Rodriguez & S, A Calume (2017) adaptado de INVIAS (2006).

7.1.2 Asfalto

“El asfalto es (...) un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente.” (Diaz Claros & Castro Celis, 2017, pág. 17) En relación con esto,

el asfalto se convierte en una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que se emplea para construir el pavimento de las carreteras.

Asfaltos modificados con gránulos de caucho reciclado (GCR). “Las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos, pueden incorporar una parte importante del caucho contenido en los neumáticos desechados. La adición de caucho proveniente de neumáticos a las mezclas asfálticas es una forma de reciclar tales desechos y mejorar las propiedades del pavimento.” (Ramírez Villamizar, Ladino Rubio, & Rosas Ramírez, 2014, pág. 12). Diferentes estudios han demostrado que al agregar el GCR a la mezcla asfáltica, ciertas características en el pavimento mejoran notablemente, su rendimiento deriva en una durabilidad superior de la carpeta asfáltica, prolongando la periodicidad de los mantenimientos que a la vez reduce el costo total de la inversión inicial de construcción.

En concordancia, los gránulos de caucho reciclados pueden ser agregados a las mezclas asfálticas de dos maneras diferentes: por vía seca o por vía húmeda. “En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el ligante, mientras que en el proceso seco el caucho es usado como una porción de agregado fino.” (Ramírez Villamizar, Ladino Rubio, & Rosas Ramírez, 2014, pág. 16)

Vía húmeda. “En el proceso por vía húmeda, se unen los granos de caucho con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada llamada asfalto-caucho, que es usada de la misma manera que un ligante modificado.” (Villegas Camargo & Wilches Gómez, 2019, pág. 33) Este procedimiento de modificación aumenta la viscosidad del cemento asfáltico dándole unas características particulares. Una vez que el asfalto-caucho alcance los parámetros

requeridos se incorpora al mezclador de la planta asfáltica para unirse con los agregados pétreos. En la figura 7 se muestra el proceso de incorporación a la mezcla por vía húmeda.

Figura 7. *Proceso por vía húmeda*



Nota. Tomado de *Esquema proceso vía húmeda*, por J, D Villegas & L, M Wilches (2019)

Vía seca. “Es el método mediante el cual el caucho reciclado es mezclado con los agregados, antes de adicionar el cemento asfáltico.” (Villegas Camargo & Wilches Gómez, 2019, pág. 35). Sin embargo, luego de mezclar el ligante con los agregados más el caucho, se le da el tiempo a esta mezcla para que suceda el proceso de digestión, ya que se ha evidenciado que no se producen reacciones importantes entre el caucho y el cemento asfáltico debido al corto tiempo de mezclado. En la figura 8 se relaciona el proceso de adición a la mezcla por vía seca.

Además, es preciso mencionar que según Villegas Camargo & Wilches Gómez (2019):

Este método no requiere de un equipo especial de mezclado, solo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de caucho y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando éstos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado. (pág. 37)

Figura 8. *Proceso por vía seca*



Nota. Tomado de *Proceso por vía seca*, por J, D Villegas & L, M Wilches (2019)

7.1.3 Neumáticos

Los neumáticos están compuestos por una cubierta dura de caucho que se pone sobre la llanta de la rueda y sirve como superficie de rodamiento, la destinación inadecuada de las llantas produce graves problemas medios ambientales. Una de las alternativas que se viene

implementando en las principales ciudades del país y que se podría aplicar en el municipio de Pesca para controlar la inadecuada disposición final de llantas y residuos de caucho, es la recolección y el reciclaje de las mismas para realizar un proceso de trituración mecánica, el cual se ha caracterizado por ser el método más utilizado por generar productos finales libres de impurezas y de buena calidad. Según la Alcaldía Mayor de Bogotá, existen cuatro posibles soluciones para dar uso a los neumáticos desechados:

1. El Aprovechamiento energético y materia prima para hornos en la industria cementera, con fundamento en el uso de la llanta usada como combustible alternativo al carbón en función de su potencial calorífico. (...)
2. El Aprovechamiento energético en termoeléctricas, utilizando el poder calorífico de la llanta usada para generar energía eléctrica. (...)
3. La utilización de la llanta usada como Materia prima para producción de pavimento asfáltico fundamentada en el reconocido éxito de su aplicación en países como Canadá, Estados Unidos y España, entre otros, con base en la adición de caucho pulverizado (malla 80/ malla 40) durante la fabricación de pavimento asfáltico. El caucho de llanta pulverizado le proporciona al pavimento características de flexibilidad y elasticidad que aumentan su vida útil por lo menos en un 50% a un costo efectivo menor que el pavimento convencional. (...)
4. El suministro de materias primas para usuarios del caucho, entre los cuales está la fabricación del asfalto especificada anteriormente; el mercado internacional y el mercado potencial nacional del caucho pulverizado como materia prima en diferentes procesos. (s.f, págs. 6-7)

En el presente proyecto el proceso con mayor viabilidad técnica y económica para el municipio de Pesca sería el número 3, el cual contempla la reutilización de caucho de llantas desechadas como suministro de materia prima para la producción de pavimento asfáltico con gránulos de caucho reciclado GCR, generando una mezcla asfáltica a menor costo que contribuya al manejo ambiental de llantas con inadecuada disposición final con el cumplimiento técnico necesario.

7.2 Estado del arte

Para fundamento técnico y metodológico a la presente investigación, a continuación, se muestran en el estado del arte los resultados de las investigaciones efectuadas con relación a los asfaltos modificados con gránulos de caucho reciclado.

En primer lugar, Ocampo, Caicedo, & González (2015) con su estudio *Mezclas asfálticas mejoradas con caucho molido proveniente de llanta*, donde abarcaron la caracterización de los materiales, el diseño y el estudio de las propiedades mecánicas que tienen las mezclas asfálticas con agregados de caucho a fin de establecer la metodología más apropiada para mejorar sus propiedades mecánicas y su durabilidad. En este sentido, se llevaron a cabo dos métodos diferentes de incorporación en la mezcla: proceso por vía húmeda y proceso por vía seca. Se concluye que el GCR es un modificador potencial del ligante, que aumenta su elasticidad y su rigidez. Además, se evidenció que se puede trabajar con granulometrías convencionales en las mezclas asfálticas con GCR. Y que el GCR favorece a la mezcla asfáltica para que no se fisure fácilmente ni presente un riesgo excesivo de deformabilidad. En la figura 9, se muestran algunos de los resultados obtenidos durante el estudio.

Figura 9. Resultados de ensayos convencionales sobre asfalto no modificado y modificado con GCR.

Ensayo	Ductilidad [25°C]	Penetración [25°C, 100 g, 5 s]	Punto de ablandamiento	Densidad [25°C]	Pérdida de masa
Código	[cm]	[1/10 mm]	[°C]	g/cm ³	[%]
Original					
A	> 100	65	51.0	1.02	-
B	> 100	71	44.8	1.02	-
A-13-165-55	10.25	48	54.9	1.06	-
B-15-155-50	11.50	52	54.7	1.03	-
RTFO					
A	48.50	45	51.7	0.97	1.14
B	> 100	54	48.8	1.03	1.00
A-13-165-55	13.75	59	70.3	0.97	0.87
B-15-155-50	18.25	55	64.0	1.04	0.58
PAV					
A	9.90	38	62.3	0.89	-
B	7.75	18	66.9	0.99	-
A-13-165-55	5.75	28	85.9	1.02	-
B-15-155-50	12.75	40	94.1	1.05	-

Nota. Tomado de *Resultados de ensayos convencionales sobre cemento asfáltico no modificado y modificado con GCR.*, por M, Ocampo, B, Caicedo, & D, González (2015)

En segundo lugar, Lubo Gómez & Martínez Giraldo (2019) con su investigación *Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019*. Su objetivo principal fue evaluar los procesos de modificación, las ventajas y las desventajas que representan en las mezclas asfálticas con cauchos en pavimentos flexibles. En efecto, se desarrolló un análisis documental con fichajes que identifico las siguientes premisas:

- La adición de Granulo de Caucho para la modificación de las mezclas asfálticas, se traduce en una gran cantidad de beneficios en relación a su durabilidad y a la reducción de gastos económicos pues son menores los costos de mantenimiento, además contribuyen a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente gracias al reciclaje de llantas.
- Existen dos métodos para adicionar GCR a la mezcla caliente de concreto asfáltico, estos son: el proceso por vía seca y el proceso por vía húmeda, con los que se ha demostrado que se aumentan las propiedades mecánicas de los pavimentos.
- El asfalto es susceptible a la temperatura, esto debido a que es un material visco elástico, el cual presenta cambios continuos en sus características según el rango de temperaturas de operación: es rígido a bajas temperaturas y fluido a altas.

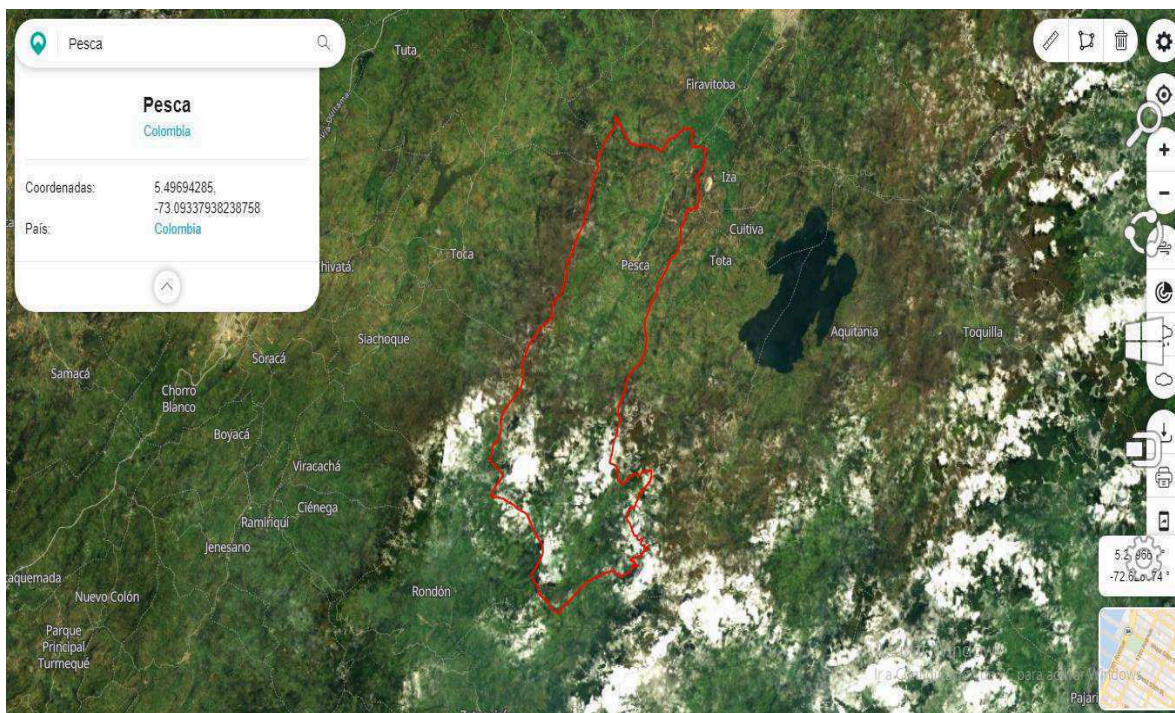
Por último y en tercer lugar, Patiño & Rodríguez Ramos (2017) con su trabajo *Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples eco aplicaciones*, cuyo propósito fue elaborar un análisis reflexivo de la problemática ambiental derivada por la inadecuada disposición de llantas usadas. En concordancia, se ejecutó una revisión documental del granulo de caucho reciclado, hallando como desenlace que el granulado o polvo de caucho reciclado sirve como materia prima para un interminable número de usos y aplicaciones en diferentes industrias, entre ellas, además de la mezcla asfáltica o asfalto modificado, la construcción y la recuperación de vías.

8. Delimitación

8.1 Geográfica

Este trabajo se desarrolló en la república de Colombia, departamento de Boyacá, municipio de Pesca, en la figura 10 se expone su localización específica. Como objeto de estudio, se establecieron las carreteras terciarias del municipio de Pesca, con una extensión aproximada de 150 km distribuidas y contempladas como se evidencia en la figura 10. Por su parte, el trabajo exploratorio de campo se ejecutó en el denominado tramo Peña San Juan, que se sitúa en la vereda Nocuata dentro de la red vial terciaria de Pesca, en las coordenadas que se indican en la tabla 1 y en la ubicación que se enseña en la figura 11. Adicionalmente, en el anexo 1 se encuentra el plano de localización geográfica exacta.

Figura 10. *Localización geográfica del municipio de Pesca*



Nota. Tomado de Pesca, por Google Earth, (2021)

Figura 11. Mapa de carreteras terciarias de Pesca- Boyacá

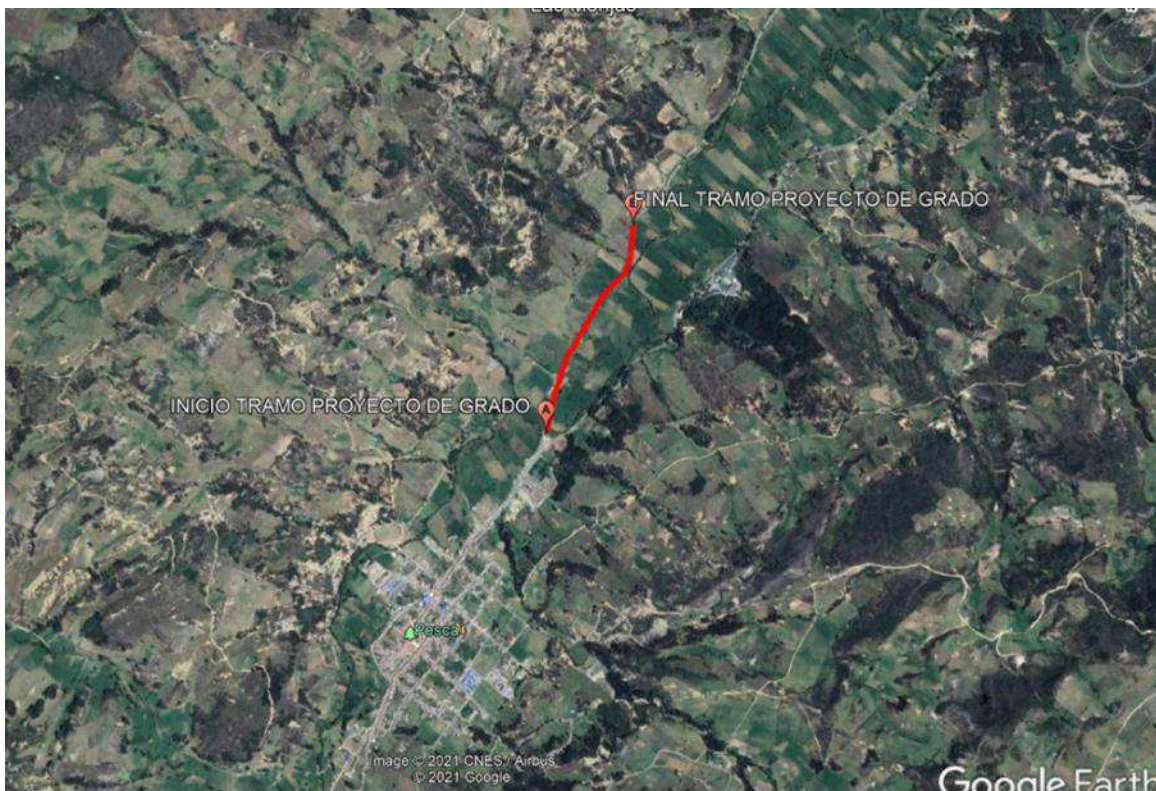


Nota. Tomado de *Esquema de Ordenamiento Territorial*, por Alcaldía Municipal de Pesca- Boyacá (2019)

Tabla 1. *Coordenadas ubicación del tramo Peña San Juan*

TRAMO DE VIA TRABAJO EXPLORATORIO DE CAMPO				
	ABSCISA	NORTE (Y)	ESTE (X)	ALTURA
ABSCISA INICIAL	k 0 + 000	1107461.194	1114154.052	2586.129
ABSCISA FINAL	k 0 + 900	1109236.382	1114696.024	2579.401

Figura 12. Localización geográfica del tramo Peña San Juan



Nota. Tomado de Google Earth, (2021)

8.2 Cronológica

El presente trabajo tuvo una duración general de seis meses, las acciones desarrolladas durante este tiempo pueden visualizarse más adelante en el cronograma de actividades y en la metodología propuesta.

8.3 Conceptual

La presente investigación está orientada a evaluar la viabilidad técnica y económica que tiene incluir gránulos caucho reciclado en pavimentos de asfalto para el mejoramiento de las vías terciarias del municipio de Pesca-Boyacá. En este sentido, el proyecto se encuentra enmarcado

académicamente dentro del área de la ingeniería civil, aplicando conocimientos de los siguientes temas:

- Normas y especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano: ET 220-18 (IDU, 2019), la ET 600-18 (IDU, 2019), la ET 620-18 (IDU, 2019), la ET 625-18 (IDU, 2019).
- Normas y especificaciones del Instituto Nacional de Vías: INV E 218-13 (INVIAS, 2012), INV E 224-13 (INVIAS, 2012), INV E 227-13 (INVIAS, 2012), INV E 232-13 (INVIAS, 2012), INV E 237-13 (INVIAS, 2012), INV E 238-13 (INVIAS, 2012), INV E 239-13 (INVIAS, 2012), INV E 240-13 (INVIAS, 2012), INV E 702-13 (INVIAS, 2012), INV E 706-13 (INVIAS, 2012), INV E 709-13 (INVIAS, 2012), INV E 712-13 (INVIAS, 2012), INV E 713-13 (INVIAS, 2012), INV E 716-13 (INVIAS, 2012), INV E 717-13 (INVIAS, 2012), INV E 720-13 (INVIAS, 2012), INV E 721-13 (INVIAS, 2012), INV E 732-13 (INVIAS, 2012), INV E 733-13 (INVIAS, 2012), INV E 748-13 (INVIAS, 2012), INV E 757-13 (INVIAS, 2012), INV E 774-13 (INVIAS, 2012), INV E 782-13 (INVIAS, 2012).
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (INVIAS, 2008)
- Asfaltos modificados
- Gránulos de caucho reciclados de neumáticos- GCR
- Mezclas asfálticas en caliente
- Proceso por vía húmeda
- Ensayo de laboratorio
- Levantamiento topográfico
- Diseño geométrico
- Viabilidad técnica

- Viabilidad económica

9. Alcance

El alcance del presente proyecto es de tipo exploratorio y descriptivo, teniendo en cuenta que el uso de residuos de caucho en mezclas asfálticas es un tema poco estudiado e implementado en el departamento de Boyacá, donde principalmente se busca generar pavimentos no convencionales capaces de obtener resultados técnicos que cumplan con las normas vigentes, a costos de producción que compitan con las mezclas asfálticas convencionales en el mercado.

En este sentido, el presente documento se cimienta como un sustento teórico y práctico que permite describir y contemplar las características y los comportamientos de las mezclas asfálticas en caliente con gránulos de caucho reciclado, partiendo de ensayos de laboratorio, diseños geométricos, estudios topográficos y análisis técnicos y económicos para la producción de mezclas asfálticas, como alternativas en la pavimentación del tramo de carretera terciaria denominado peña san juan del municipio de Pesca departamento de Boyacá, bajo la normativa vigente.

10. Metodología propuesta

En la tabla 2, se exponen las actividades que se realizaron para alcanzar los objetivos propuestos en la investigación.

Tabla 2. *Actividades desarrolladas*

Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3
Buscar información en fuentes bibliográficas que permitan establecer los resultados y los avances obtenidos en investigaciones fundamentadas desde el tema objeto de estudio.	Realizar ensayos de laboratorio y análisis de resultados cumpliendo con la normatividad vigente.	Describir los aspectos técnicos presentados en el tramo de vía terciaria seleccionado en el municipio de Pesca.
Revisar, analizar, y resumir los parámetros de la normatividad vigente en el país para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente con GCR.	Realizar estudios técnicos complementarios en el tramo de vía seleccionado tales como el levantamiento topográfico y el diseño geométrico.	Elaborar un análisis económico para la producción, instalación, y compactación de mezclas asfálticas en caliente con GCR, teniendo en cuenta los precios unitarios dispuestos en la región.

12. Aspectos administrativos

En la tabla 4 se indican los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Tabla 4. *Recursos*

Recursos humanos	Recursos técnicos	Recursos institucionales	Recursos económicos
Responsable del proyecto	Software de dibujo civil 3d versión estudiantil	Universidad Militar Nueva Granada	\$ 1.590.500,00
Tutor del proyecto	Equipos de laboratorio de pavimentos	Laboratorio Rapitest Ingeniería	
Cadeneros	Especificaciones técnicas INVIAS	Alcaldía Municipal de Pesca	
Ingenieros profesionales	Especificaciones técnicas IDU	Secretaria de planeación y obras públicas de Pesca	
	Manual de diseño geométrico de vías INVIAS.	Pavimentos Boyacá EVM	
	Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Pesca	Instituto Nacional de Vías. INVIAS	
	Computador de mesa con internet	Instituto de Desarrollo Urbano. IDU	
	Programas básicos como Word y Excel		
	Implementos básicos de oficina		

13. Presupuesto

En la tabla 5 se mencionan los ítems que representaron un costo dentro del proyecto y la cantidad total utilizada.

Tabla 5. *Presupuesto*

Ítem	Descripción	Ud.	Valor unitario	Valor parcial
1	Material bibliográfico, fotocopias e impresiones	1	\$ 165.000,00	\$ 165.000,00
2	Viáticos y transportes para el trabajo de campo	10 días	\$ 50.000,00	\$ 500.000,00
3	Alquiler de equipos topográficos	2 días	\$ 60.000,00	\$ 120.000,00
4	Honorarios para dos cadeneros de topografía	2 días	\$ 80.000,00	\$ 160.000,00
5	Compra del Granulo de caucho reciclado	5 kg	\$ 1.100,00	\$ 5.500,00
6	Viáticos y transportes para la selección de materiales en la planta asfáltica de pavimentos Boyacá EVM en Sogamoso	1 día	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
7	Viáticos y transportes para visita al laboratorio de pavimentos Rapitest ingeniería en Sogamoso Boyacá	8 días	\$ 35.000,00	\$ 280.000,00
8	Suministro de papelería y elementos básicos de oficina	1	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00
9	Equipos, software y servicios técnicos	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
10	Varios e imprevistos	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Valor Total			\$ 1.590.500,00	

14. Esquema del trabajo

Este proyecto investigativo se desarrolla bajo el siguiente esquema:

Páginas preliminares

Tabla de contenido

Lista de tablas

Lista de figuras

Lista de anexos

Glosario

Resumen

Introducción

Título

Áreas

1. Aproximación al Objeto de Estudio

1.1. Antecedentes

1.2. Planteamiento del problema

1.3. Formulación del problema

1.4. Justificación

1.5. Objetivos

2. Marco Referencial

2.1. Marco teórico

2.2. Estado del arte

2.3. Delimitación

3. Orientación Metodológica

3.1. Alcance

3.2. Metodología propuesta

3.3. Cronograma de actividades

3.4. Aspectos administrativos

3.5. Presupuesto

4. *Hallazgos Y Reflexiones*

4.1. Resultados

4.2. Conclusiones

4.3 Recomendaciones

Referencias bibliográficas

Anexos

15. Resultados

15.1 Diseño de la mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda

Para la presente investigación se implementó el método de diseño de mezcla Marshall con el fin de obtener la dosificación del cemento asfáltico y agregados pétreos, y teniendo en cuenta que se utilizara la mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda, para los demás agregados de la mezcla y formula de trabajo se tendrán en cuenta las especificaciones técnicas del Instituto de Desarrollo Urbano 625-18 IDU, 620-18, 200-18 IDU, IDU 220-18 y el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del INVIAS.

El proceso que se realiza de mezcla por vía húmeda actualmente se usa para producir un ligante modificado conocido como asfalto caucho. El alcance del proceso se basa en incluir GCR en las mezclas asfálticas como un modificador del asfalto, preparada y colocada en caliente. El valor de modificación del asfalto depende de varios factores, entre los cuales se encuentran la cantidad de GCR donde este puede variar entre el 15% y el 20% por el peso total de la mezcla asfalto caucho dependiendo del tipo de ligante, la textura y el tamaño del GCR, el tiempo y temperatura de mezclado, el grado de agitación mecánica durante la reacción.

En Colombia la mezcla asfáltica en caliente con asfaltos modificados con caucho por vía húmeda posee unas especificaciones técnicas realizadas por el IDU Instituto de Desarrollo Urbano, en la ET 625-18 se muestran las especificaciones a tener en cuenta para la incorporación del GCR como modificador del asfalto, diseño de mezcla, obtención de la fórmula de trabajo, criterios de aceptación, agregados pétreos y llenante mineral, ligante

asfáltico a modificar, especificaciones y características del GCR, equipos necesarios para el proceso, requerimientos para la ejecución de trabajos, condiciones para el recibo de los trabajos, entre otros. En cuanto a los materiales granulares que hacen parte de la mezcla asfáltica con GCR se debe cumplir con la especificación técnica 620-18 del IDU, la cual guía o reglamenta lo concerniente a mezclas asfálticas en caliente, densas, semidensas, y gruesas, agregado fino, agregado grueso, entre otros.

15.1.1 Características de los materiales

El GCR conforme a la especificación 220-18 del IDU puede ser de llantas desechadas, pero cumpliendo con las siguientes características:

- Libre de contaminantes como el metal, textiles entre otros
- Tamaño inferior a 2.36 mm pasante del tamiz # 08
- Almacenado correctamente en sitio libre de impurezas listo para utilizar como en tolvas.
- Realizar y cumplir con la norma de ensayo ASTM D5644.

Por otra parte, la especificación 220-18 de IDU aclara para el control de insumos el contratista le debe certificar al interventor los siguientes aspectos:

- Tipo y fuente del GCR.
- Granulometría del GCR.
- Resultados de ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega de GCR.

Considerando las especificaciones del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del INVIAS, el cemento asfáltico a emplear en

las en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente es seleccionado en función de las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía. Para las características de calidad que debe presentar el cemento asfáltico se contempla la especificación técnica 200-18 del IDU la cual indica que los cementos asfálticos se pueden clasificar por su viscosidad y su desempeño.

Para las mezclas asfálticas en caliente con GCR el agregado grueso y el agregado fino debe proceder de la trituración de grava natural o piedra de cantera, debe estar libre de impurezas como polvo, tierra, arcillas u otros materiales que impidan la correcta adhesión del asfalto, además de ser duro y resistente.

15.1.2 Producción de asfalto modificado con GCR

Para producir una mezcla asfalto caucho homogénea y de calidad se deberá contar con los equipos necesarios y con la capacidad para cumplir con las variables de ET 625-18 del IDU. Adicionalmente, la norma señala que si no se cumple con alguna de especificaciones se debe establecer el porcentaje de gránulos de caucho reciclado para modificar el ligante y comenzar con un proceso experimental.

- Otras recomendaciones a tener en cuenta son:
- Cuando se encuentra almacenado el asfalto caucho por encima 155° C y no es usado dentro de las 4 horas iniciales, el calentamiento de la mezcla asfalto caucho debe ser suspendido.
- El número máximo de ciclos de calentamiento de la mezcla no podrá ser superior a dos.

- La mezcla asfáltica con GCR no se puede almacenar, y para evitar que se separe el ligante y GCR se tiene que mantener en agitación constante.

15.1.3 Diseño de la mezcla con GCR

Según la ET 625-18 y la ET 600-18 del IDU, antes de comenzar con el almacenamiento de los agregados y del ligante asfáltico modificado con GCR, se deben entregar muestras al interventor para su verificación y aprobación mediante ensayos de laboratorio. Una vez sean aprobados por parte del interventor el constructor podrá proceder a definir la fórmula de trabajo cumpliendo con cada una de las especificaciones técnicas, finalizando con la elaboración de un informe completo y detallado que incluya la fórmula de trabajo, los ensayos del asfalto modificado con GCR y de los agregados.

El diseño de la mezcla asfáltica con asfalto modificado, se desarrolla con la norma de ensayo INV E-748-13 método Marshall. El equipo requerido para la producción de la mezcla asfáltica con GCR es:

- Una tolva para el almacenamiento del GCR, debidamente acondicionada para conservarlo libre de humedad y contaminantes nocivos.
- Un tanque de reacción capaz de calentar y sostener la temperatura requerida del cemento asfáltico para la reacción con el GCR.
- Un tanque de almacenamiento capaz de mantener la mezcla asfalto-caucho en agitación constante y a la temperatura de almacenamiento establecida. Esta unidad debe estar equipada con un equipo de control y registro de temperatura.

- La planta para la elaboración de la mezcla asfáltica con un asfalto modificado con GCR debe estar equipada con tuberías y bombas adecuadas para trabajar con un asfalto modificado.

Para la ejecución de trabajos el equipo mínimo es:

- Equipo de limpieza de la superficie.
- Equipo de transporte de la mezcla.
- Equipo para la extensión de la mezcla.
- Equipo de compactación.
- Equipo accesorio requerido para realizar todas las operaciones de cargue que necesite la ejecución de esta partida de trabajo.

Las principales condiciones para el recibo de trabajos con mezclas asfálticas con GCR que verifica el interventor son el control de tolerancias máximas permitidas, control de producción de la mezcla, calidad de los agregados pétreos y de la llenante mineral, calidad del ligante asfáltico, calidad de los aditivos, y control de composición de la mezcla, este último cumpliendo con las especificaciones dadas en la siguiente tabla.

Para el control de calidad específico de la mezcla asfáltica modificada con GCR se tomaron dos muestras por lote elaborado con el asfalto modificado con GCR, y se compactaron las briquetas con 75 golpes por cara, para luego verificar en el laboratorio el flujo y la resistencia en el ensayo Marshall, además de realizar los ensayos mínimos de verificación.

15.1.4 Ensayos de laboratorio para el diseño mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda

La fabricación de probetas cilíndricas de mezcla asfáltica con GCR, se realizó de acuerdo a la norma de ensayo INV E-748-13, cumpliendo con las características de los materiales y agregados de los numerales anteriores.

Proceso. Se realizaron tres juegos de briquetas o probetas con porcentajes de GCR del 20%, 15%, y 10%, del contenido total de asfalto utilizado. Con las probetas elaboradas se determinó la estabilidad, flujo, análisis de densidad y vacíos; Teniendo en cuenta que para cada probeta se necesitan 1200 gramos, para cada juego de briquetas (tres 03) se prepararon 4000 gramos de mezcla asfáltica con gránulos de caucho reciclado por vía húmeda con los porcentajes de material que se señalan en la tabla 6.

Tabla 6. *Porcentajes de la mezcla asfáltica en caliente con GCR utilizados*

4000 gramos de mezcla asfáltica con 20% GCR			
#	Material	%	Peso gr
1	Arena	15,0%	600
2	Agregado fino	32,5%	1300
3	Agregado grueso	47,0%	1880
4	Asfalto 5,5%	4,4%	176
4,1	GCR / asfalto	1,1%	44
Total		100,0%	4000
4000 gramos de mezcla asfáltica con 15% GCR			
#	Material	%	Peso gr
1	Arena	15,0%	600
2	Agregado fino	32,5%	1300
3	Agregado grueso	47,0%	1880
4	Asfalto 5,5%	4,675%	187
4,1	GCR / asfalto	0,825%	33
Total		100,0%	4000
4000 gramos de mezcla asfáltica con 10% GCR			
#	Material	%	Peso gr

1	Arena	15,0%	600
2	Agregado fino	32,5%	1300
3	Agregado grueso	47,0%	1880
4	Asfalto 5,5%	4,95%	198
4,1	GCR / asfalto	0,55%	22
Total		100,0%	4000

Resultados de los materiales y/o agregados. El GCR se obtuvo mediante el proceso de trituración mecánica de residuos de llantas, cumpliendo con la especificación 220-18 del IDU. (Ver tabla 7)

Tabla 7. *Especificación del GCR*

Especificación del grano de caucho reciclado					
#	Especificación	Ensayo	Ud.	Requisito	Evaluación
1	Tamaño máximo (tamiz No. 8)	_-----	mm	2,36	Cumple
2	Humedad, máximo	ASTM D1864	%	0,75	Cumple
3	Gravedad específica	ASTM D1817	_----	1,10 - 1,20	Cumple
4	Longitud partículas alargadas, máximo	_-----	mm	4,7	Cumple
5	Contenido de material no ferroso	_-----	_----	No visible	Cumple
6	Contenido de material ferroso, máximo	ASTM D5603	%	0,01	Cumple
7	Contenido de fibras textiles, máximo	ASTM D5603	%	0,50	Cumple
8	Contenido de polvo mineral, máximo	_-----	%	4,00	Cumple
9	Contenido de otros materiales extraños	_-----	%	0,25	Cumple

Los ensayos de los agregados grueso, agregados finos, y cemento asfáltico fueron realizados previamente por los proveedores, sin embargo se presenta en la tabla 8 un resumen de los ensayos realizados.

Tabla 8. *Ensayos de los agregados*

Agregado grueso numeral 620.2.1.1 de et 620-18 del IDU			
#	Especificación	Ensayo	Evaluación
1	Desgaste los ángeles	INV E 218-13	Cumple Previamente
2	Micro deval. % máximo	INV E 238-13	Cumple Previamente
3	10% de finos	INV E 224-13	Cumple Previamente
4	Impureza en agregado. % máximo	INV E 237-13	Cumple Previamente
5	Partículas fracturadas mecánicamente	INV E 227-13	Cumple Previamente
6	Partículas planas y alargadas relación 1:5%	INV E 240-13	Cumple Previamente
7	Resistencia al pulimento	INV E 232-13	Cumple Previamente
8	Adhesividad	INV E 757-13	Cumple Previamente
Agregado fino numeral 620.2.1.2 de la et 620-18 del IDU			
#	Especificación	Ensayo	Evaluación
1	Contenido de arena natural	----	Cumple Previamente
2	Geometría de las partículas	INV E 239-13	Cumple Previamente
3	Adhesividad	INV E 774-13	Cumple Previamente
Cemento asfáltico Et 200-18 IDU			
#	Especificación	Ensayo	Evaluación
1	Viscosidad a 60 °C, Pa-s	INV E 716-13	Cumple Previamente
2	Viscosidad a 135 °C, mm ² /s	INV E 717-13	Cumple Previamente
3	Punto de ablandamiento, °C	INV E 712-13	
4	Penetración, 0.1 mm	INV E 706-13	Cumple Previamente
5	Solubilidad en tricloroetileno, %	INV E 713-13	Cumple Previamente
6	Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland, ° C	INV E 709-13	Cumple Previamente
Pruebas al residuo ensayo INV E 720-13			
7	Pérdida por calentamiento, %	INV E 709-13	Cumple Previamente
8	Penetración del residuo como % de la penetración original, 0.1 mm	INV E 720-13	Cumple Previamente
9	Incremento del punto de ablandamiento, °C	INV E 721-13	Cumple Previamente
10	viscosidad a 60 °C del residuo,Pa-s	INV E 712-13	Cumple Previamente
11	Ductilidad (25 oC, 5 cm/min), cm	INV E 716-13	Cumple Previamente
12	Contenido máximo de ceras, %	INV E 702-13	Cumple Previamente

Equipos de laboratorio. En concordancia con la norma de ensayo INV E-748-13,

los equipos de laboratorio a utilizar son:

- Dispositivo para moldear probetas
- Extractor de probetas
- Martillo de compactación
- Pedestal de compactación
- Sujetador para el molde
- Elementos de calefacción
- Mezcladora
- Mordazas
- Máquina de compresión
- Medidor de la estabilidad
- Medidor de deformación
- Equipo para baño de agua

Otros equipos misceláneos necesarios:

- Bandejas metálicas
- Recipiente con tapa
- Herramientas básicas para mezclar
- Termómetros blindados
- Balanzas digitales calibradas
- Tamices
- Guantes
- Crayolas

En la tabla 9 se muestra en detalle el proceso ejecutado para la elaboración de la mezcla asfáltica con GCR al 20 % por vía húmeda. Adicionalmente, en las figura 13 y 14 se evidencia los ensayos de laboratorio con probetas de mezcla asfáltica en caliente con GCR 15% y al 10%.

Tabla 9. *Elaboración de la mezcla asfáltica con GCR al 20 % por vía húmeda.*

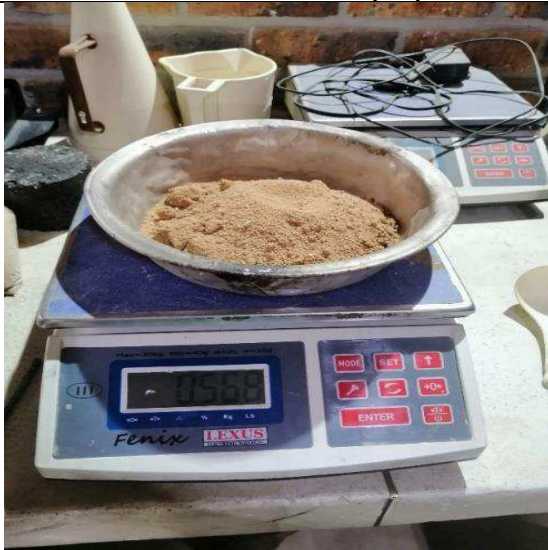
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>En primer lugar, se calentó el cemento asfáltico seleccionado para el ensayo de acuerdo a las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía seleccionada (tramo peña san juan municipio de Pesca).</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Los GCR fueron seleccionados de acuerdo con la especificación 220-18 del IDU y luego como se muestra en la imagen se pesó la cantidad exacta de acuerdo a los porcentajes de la presente mezcla.</p>
	<p>Los ensayos para el agregado fino fueron realizados por los proveedores para que cumplieran con los parámetros de la ET 620-18 del IDU y luego como se muestra en la imagen se pesó la cantidad exacta de acuerdo a los porcentajes de la presente mezcla.</p>

Fuente: Elaboración propia



Los ensayos para el agregado grueso fueron realizados por los proveedores para que cumplieran con los parámetros de la ET 620-18 del IDU y luego como se muestra en la imagen se pesó la cantidad exacta de acuerdo a los porcentajes de la presente mezcla.

Fuente: Elaboración propia






Los ensayos para la arena fueron realizados por los proveedores para que cumplieran con los parámetros de la ET 620-18 del IDU y luego como se muestra en la imagen se pesó la cantidad exacta de acuerdo a los porcentajes de la presente mezcla.



Fuente: Elaboración propia






En un recipiente apto, se procedió con el calentamiento del asfalto virgen como se muestra en la imagen.

Fuente: Elaboración propia

 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Como se muestra en la imagen se controló continuamente la temperatura hasta alcanzar 155 grados centígrados cumpliendo con las de la ET 625-18 del IDU como se muestra en la imagen.</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Cuando la mezcla alcanzo una temperatura de más de 155 grados centígrados cumpliendo con las variables de la tabla 625.3 de la ET 625-18 del IDU. Se procedió a agregar los GCR, como se muestra en la imagen.</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Inicio del ciclo. Para producir una mezcla asfalto caucho homogénea se controló la temperatura que estuviera entre los rangos de la ET 625-18 del IDU. Tiempo de reacción 60 minutos. Velocidad de agitación rpm 100 Temperatura de mezclado 170 grados Como se muestra en la imagen.</p>

 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Mitad del ciclo. Para producir una mezcla asfalto caucho homogénea se controló la temperatura que estuviera entre los rangos de la tabla 625.3 de la ET 625-18 del IDU.</p> <p>Tiempo de reacción 60 minutos. Velocidad de agitación rpm 100 Temperatura de mezclado 170 grados Como se muestra en la imagen.</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Final del ciclo. El asfalto modificado con gránulos de caucho reciclado GCR debió cumplir con lo estipulado en la norma 625-18 del IDU. En la imagen se muestra la mezcla homogénea al final del ciclo.</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Los agregados pesados anteriormente se mezclan y se procede a calentarlos de acuerdo con lo señalado en la norma de ensayo INV – E 748-13, sin agregar el asfalto con GCR, como se observa en la imagen.</p>

 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Posteriormente de acuerdo con la norma de ensayo INV – E 748-13, se calentó y se mezcló los demás agregados en seco, para luego hacer un cráter en el centro y agregar la mezcla de asfalto con GCR y comenzar a mezclar.</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Se controló el tiempo, la temperatura y se mezcló de acuerdo con lo estipulado en la norma de ensayo INV – E 748-13, hasta obtener una mezcla homogénea como se observa en la fotografía.</p>
 <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>La compactación de las probetas se realizó de acuerdo a lo contemplado en la norma de ensayo INV – E 748-13, en la imagen se observa la preparación de los siguientes equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Dispositivo para moldear probetas *Extractor de probetas *Martillo de compactación.



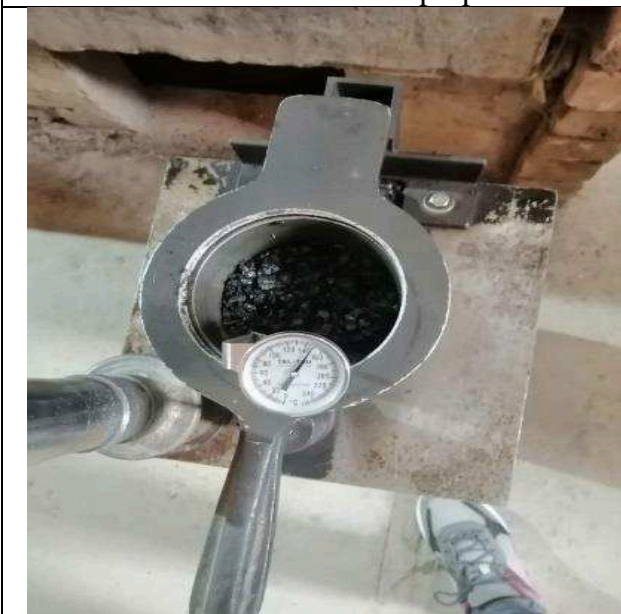
Fuente: Elaboración propia

Para las probetas como se calculó previamente y de acuerdo con la norma de ensayo INV – E 748-13 se pesaron 1200 gramos de mezcla asfáltica con GCR para cada probeta como se observa en la imagen.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente ya teniendo listo nuestros equipos y cumpliendo la norma de ensayo INV – E 748-13 para la preparación de los mismos, se agrega la mezcla asfáltica con GCR, y luego con un cuchillo sondeamos 25 veces continuas para sacar los vacíos, como se observa en la imagen.



Fuente: Elaboración propia

Antes de proceder a compactar con el martillo se verifico la temperatura de la mezcla depositada en el molde, para verificar el cumplimiento de lo especificado en la norma de ensayo INV – E 748-13, como se observa en la imagen.

	<p>Para la compactación de las probetas se utilizó un martillo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm de diámetro y un pistón deslizante de 4536 ± 9 g de peso total, con una altura de caída de 457.2 mm. Realizando 75 golpes por cada cara de la probeta de acuerdo con la norma de ensayo INV – E 748-13, como se observa en la imagen.</p>
<p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>De acuerdo con la norma de ensayo INV – E 748-13, antes de realizar los ensayos es necesario dejar en reposo por 24 horas las probetas. Como se observa en la imagen</p>
	<p>En la imagen se observa al autor con las probetas de mezcla asfáltica en caliente con gránulos de caucho reciclados (GCR 20%) por vía húmeda.</p>
<p>Fuente: Elaboración propia</p>	
<p>Fuente: Elaboración propia</p>	

Figura 13. *Probetas mezcla asfáltica en caliente con GCR 15%*



Fuente: Elaboración propia



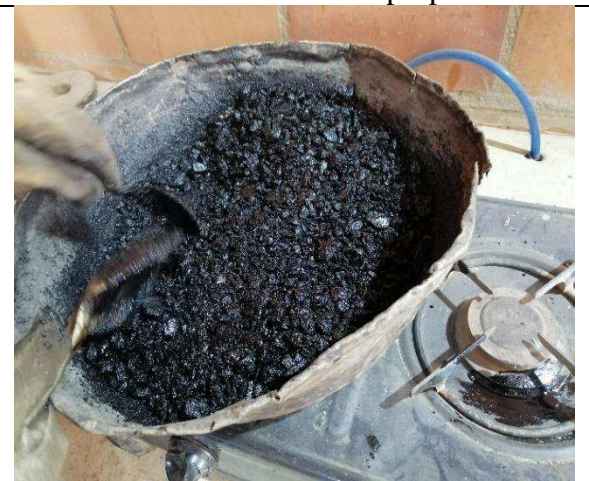
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



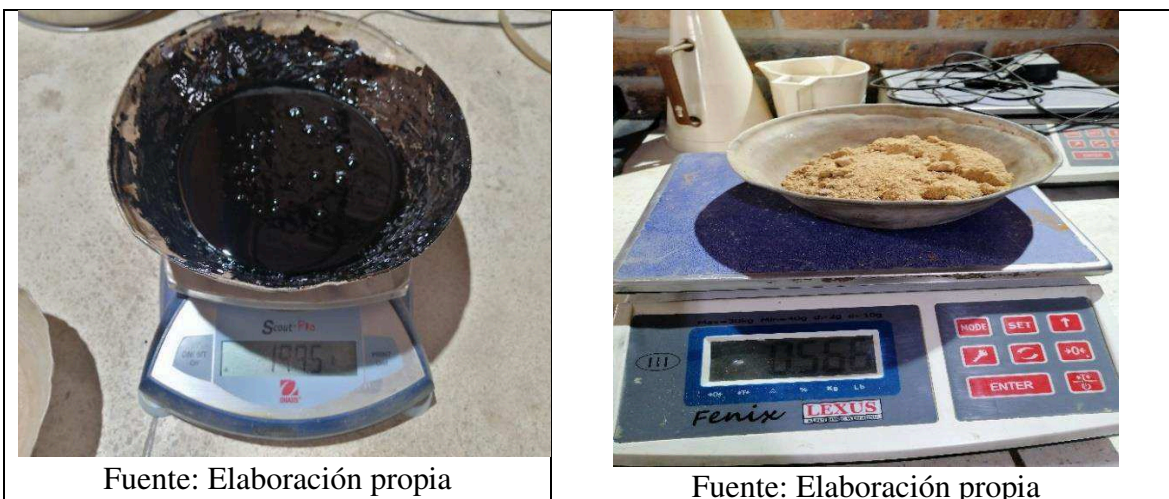
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

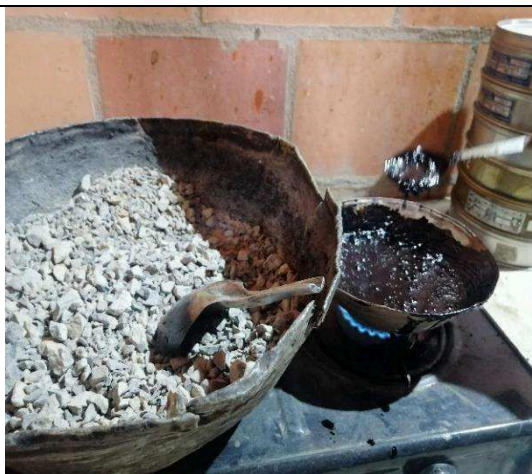


Figura 14. *Probetas mezcla asfáltica en caliente con GCR 10%*





Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



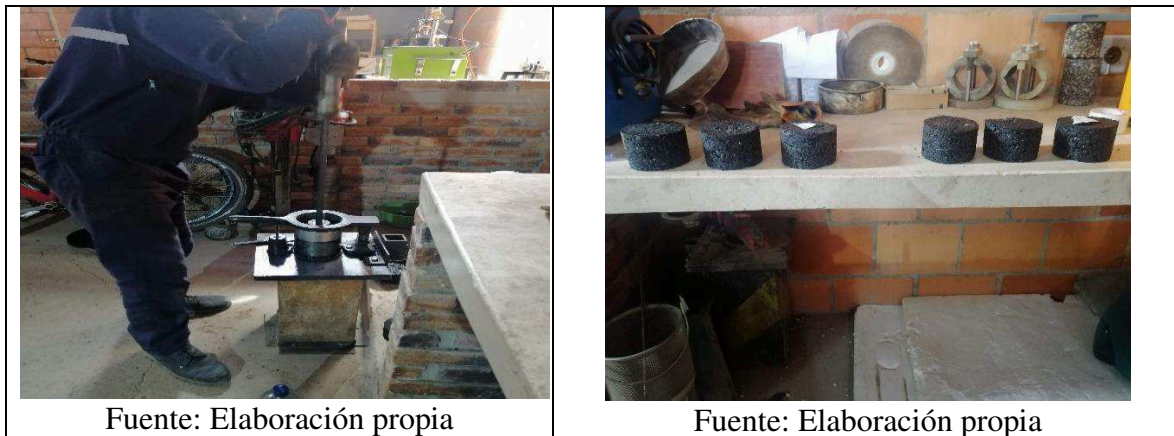
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

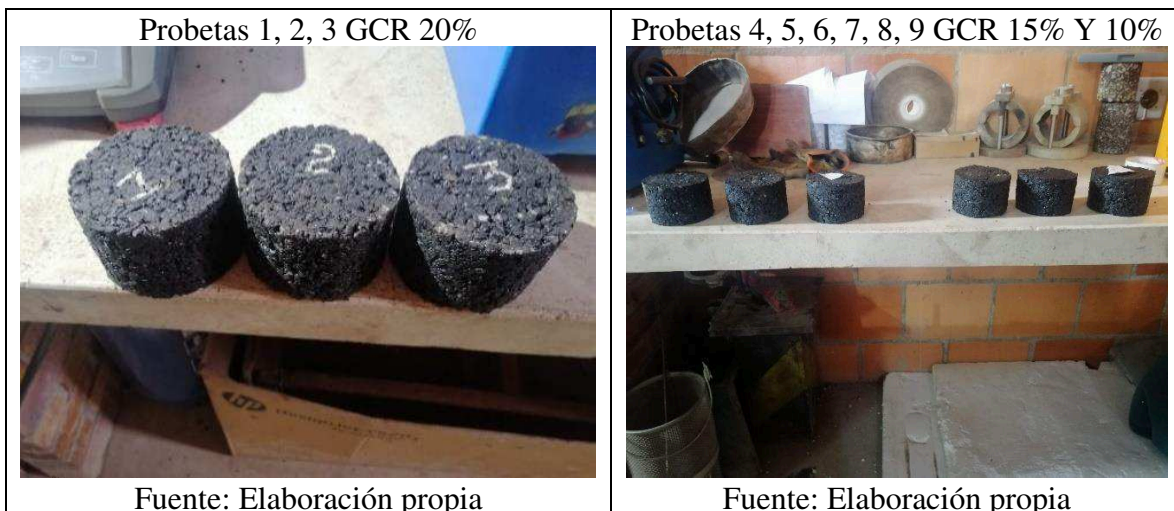


Fuente: Elaboración propia



Probetas y/o briquetas. En la figura 15, se presentan las probetas con la mezcla asfáltica en caliente con GCR, porcentajes del 20%, 15% y 10%, sobre el total del contenido de asfalto, listas para proceder a realizar los ensayos.

Figura 15. *Ensayos de probetas*



Espesor. En la figura 16, se observa parte de la toma del espesor de briquetas, el cual se realizó tomando varias medidas de la misma briqueta y sacando el promedio.

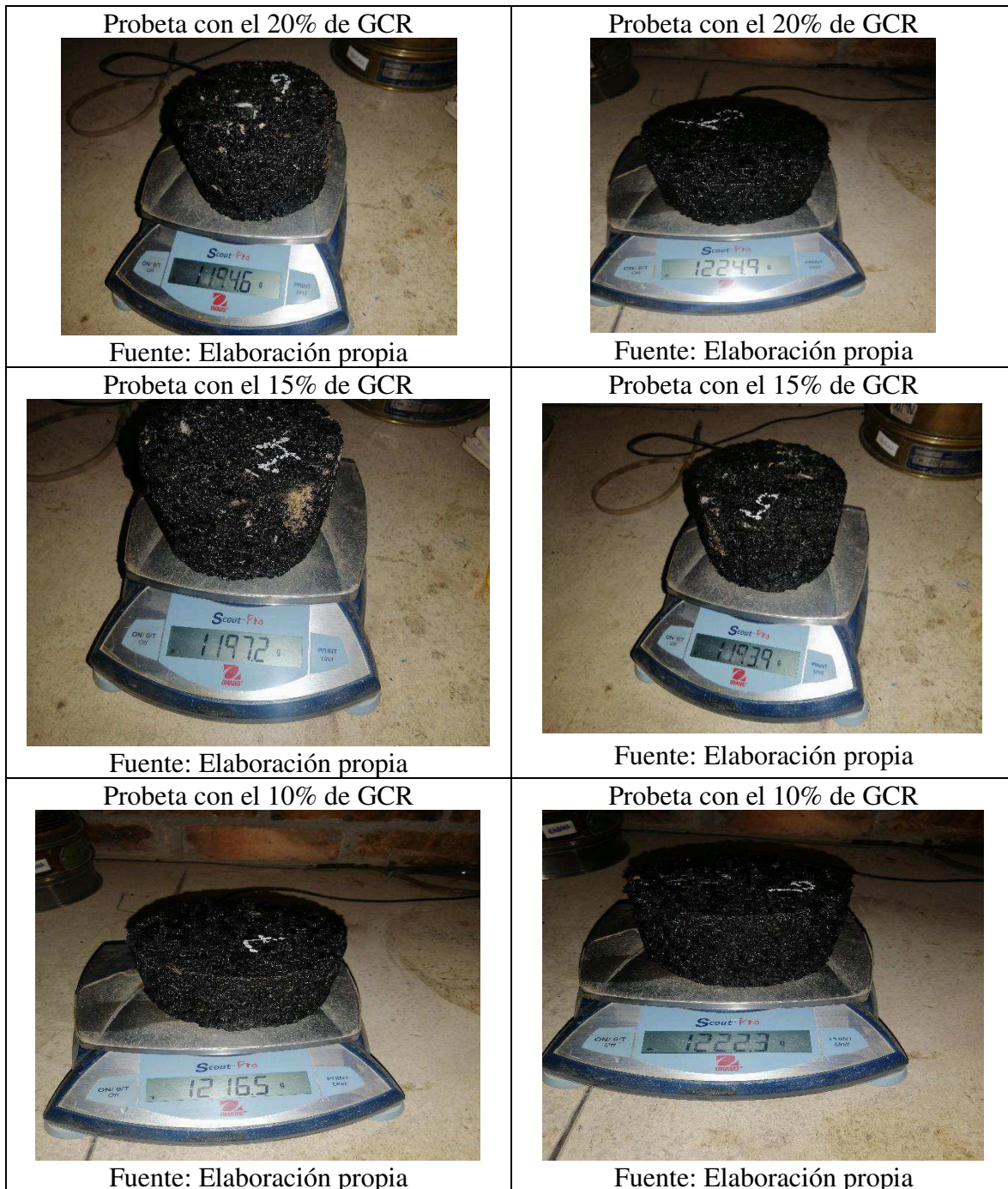
Figura 16. *Toma de espesor de briquetas*

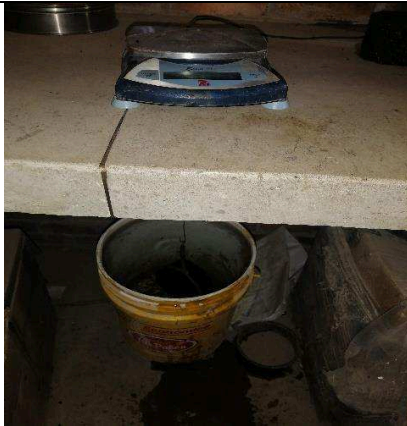


15.1.5 Ensayo de Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas.

El presente ensayo se realizó de acuerdo con la norma INV E – 733 – 13, la cual se utiliza para determinar la gravedad específica bulk y la densidad de especímenes de mezcla asfáltica compactadas, no absorbentes empleando probetas saturadas y superficialmente secas, cumpliendo con las especificaciones y procedimientos allí señalados. En la figura 17 se muestra el proceso efectuado y se especifican los resultados en las tablas 13,14 y 15 que aparecen más adelante,

Figura 17. Ensayo de Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas.





Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

15.1.6 Ensayo de estabilidad y flujo

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo INV E – 748 -13, el objeto del presente ensayo fue determinar la resistencia a la deformación plástica. El procedimiento básicamente consistió en la elaboración de briquetas cilíndricas, sometidas a curado en un baño de agua y a carga en la prensa Marshall.

El presente ensayo fue de gran importancia, ya que no solo permitió determinar la estabilidad y el flujo, sino que también posibilitó realizar un análisis de densidad y vacíos. Los resultados del presente ensayo pueden ser evidenciados detalladamente en la figura 18 y en las tablas 13,14 y 15 que aparecen más adelante.

Figura 18. *Ensayo de estabilidad y flujo*

<p>Probetas con GCR 20%</p>  <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Probetas con GCR 20%</p>  <p>Fuente: Elaboración propia</p>
<p>Probetas con GCR 20% Baño de agua durante 30 o 40 minutos 60°C</p>	<p>Probetas con GCR 20% Baño de agua durante 30 o 40 minutos 60°C</p>



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 20% - sometida a carga



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 20% - Fallada



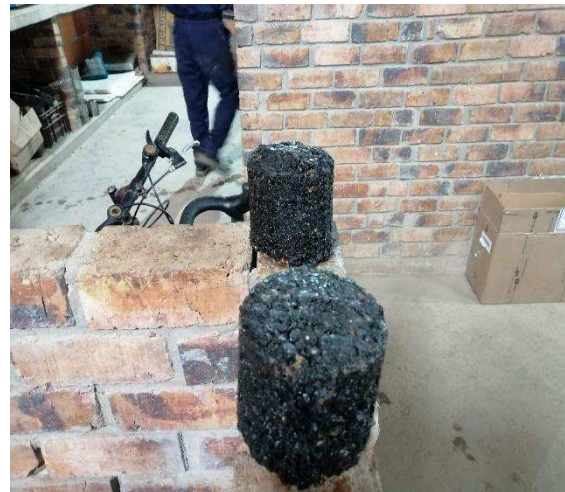
Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 20% - sometida a carga



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 20% - Fallada



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 20% - sometida a carga



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 20% - Fallada



Fuente: Elaboración propia

Probetas con GCR 15%



Fuente: Elaboración propia

Probetas con GCR 10%



Fuente: Elaboración propia

Probetas con GCR 15% y 10%
Baño de agua durante 30 o 40 minutos 60°
C



Fuente: Elaboración propia

Probetas con GCR 15% y 10%
Baño de agua durante 30 o 40 minutos 60°
C



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 15% - sometida a carga



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 15% - sometida a carga



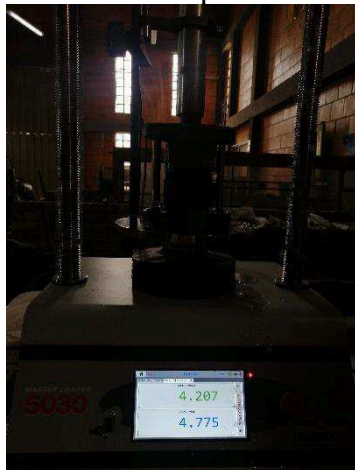
Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 10% - sometida a carga



Fuente: Elaboración propia

Resultados parciales



Fuente: Elaboración propia

Probeta con GCR 10% - sometida a carga



Fuente: Elaboración propia

Resultados parciales



Fuente: Elaboración propia

15.1.7 Ensayo de extracción cuantitativa del asfalto

El presente ensayo se realizó de acuerdo a los parámetros y procedimientos de la norma de ensayo INV E – 732 – 13, la cual describe los métodos para la determinación cuantitativa de asfalto en mezclas asfálticas en caliente, y los agregados extraídos mediante la norma de ensayo INV E- 782 -13 se pueden realizar análisis granulométricos.

Este ensayo sirvió para calcular el contenido de asfalto de una mezcla, a partir de la masa del agregado extraído. En la figura 19, se observa parte del trabajo realizado.

Figura 19. Ensayo de extracción cualitativa de asfalto



Finalmente, en las tablas 10, 11 y 12 junto con las figuras 20, 21 y 22 se evidencian los resultados obtenidos durante el diseño de la mezcla asfáltica con GCR al 20%, 15% y 10%.

Tabla 10. *Probetas con mezcla asfáltica en caliente con 20% de GCR por vía húmeda*

RESUMEN					
PROYECTO:	USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS Terciarias en el Municipio de Pesca Departamento de Boyacá				
ANALISIS:	ANÁLISIS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 20% DE GCR POR VIA HUMEDA			CONSECUTIVO N°: 1	
SECTOR:	LABORATORIO			PROCED. MEZCLA	LABORATORIO
REALIZADO POR:	HUGO ARMANDO. MONTAÑA S.	MUEST. N°	1 EN VIA	TIPO DE MEZCLA	MDC-19
FECHA DE TOMA:	03/03/2021	APIQUE N°	N.A	LLENANTE MINERAL	FINOS DE TRITURACION
FECHA DE EJECUCIÓN:	04/03/2021			PESO ESP. AGREGADOS	2,653
# DE BRIQUETAS	3			PESO ESP. ASFALTO	1,0330
CONTENIDO DE ASFALTO					
UBICACIÓN (PR/FRANJA)	LABORATORIO				
PESO INICIAL MUESTRA	1200				
PESO FINAL MUESTRA	1137,7				
PESO INICIAL FILTRO	15,05				
PESO FINAL FILTRO	16,20				
% ASFALTO	5,10				
GRADACION ESP. INVIAS 782 - 13					RESULTADOS
Tamiz	Diamet. (mm)	Peso Ret.do	% Retenido	%Total pasa	NORMA (MDC-19)
					Peso sin lavar 1137,7 gr
					Peso lavado 1009,7 gr
1"	25,40				

3/4"	19,00			100,00	100	100	D ₆₀ = _____ D ₃₀ = _____ D ₁₀ = _____	CC= _____ CU= _____
1/2"	12,70	125,30	11,01	88,99	80	95		
3/8"	9,51	88,60	7,79	81,20	70	88		
4	4,76	403,70	35,48	45,72	49	65	CLASIFICACION U.S.C _____	AASTHO _____
10	2,00	233,30	20,51	25,21	29	45		
40	0,42	143,00	12,57	12,64	14	25	OBSERVACIONES	
80	0,18	57,50	5,05	7,59	8	17		
200	0,07	30,70	2,70	4,89	4	8		
Fondo		55,60	4,89	0,00				
		1137,70						

Figura 20. Gráfica de la mezcla asfáltica con 20% de GCR

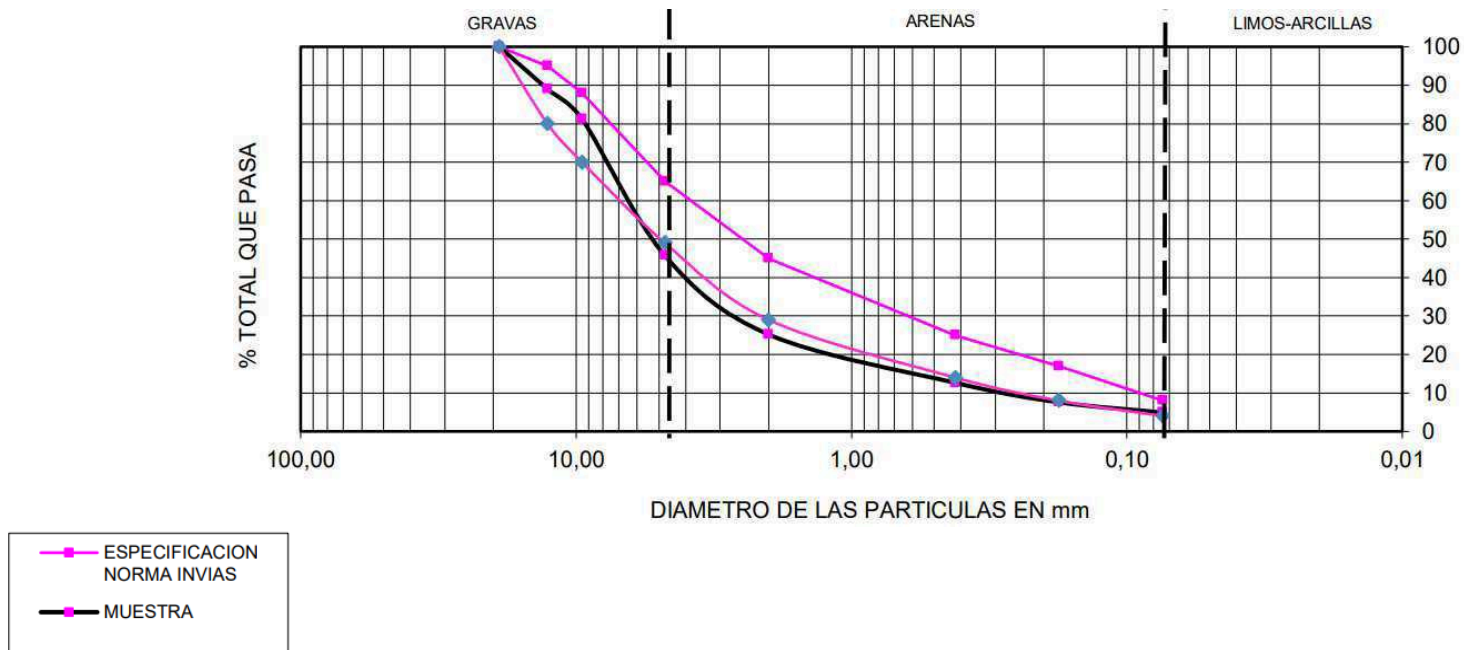


Tabla 11. *Probetas con mezcla asfáltica en caliente con 15% de GCR por vía húmeda*

RESUMEN						
PROYECTO:	USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA					
ANALISIS:	ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 15% DE GCR POR VIA HUMEDA			CONSECUTIVO N°: 2		
SECTOR:	LABORATORIO			PROCED. MEZCLA	LABORATORIO	
REALIZADO POR:	HUGO ARMANDO. MONTAÑA S.	MUEST. N°	1 EN VIA	TIPO DE MEZCLA	MDC-19	
FECHA DE TOMA:	03/03/2021	APIQUE N°	N.A	LLENANTE MINERAL	FINOS DE TRITURACION	
FECHA DE EJECUCIÓN:	04/03/2021			PESO ESP. AGREGADOS	2,653	
# DE BRIQUETAS	3			PESO ESP. ASFALTO	1,0330	
CONTENIDO DE ASFALTO						
UBICACIÓN (PR/FRANJA)	LABORATORIO					
PESO INICIAL MUESTRA	1200					
PESO FINAL MUESTRA	1137,7					
PESO INICIAL FILTRO	14,09					
PESO FINAL FILTRO	14,85					
% ASFALTO	5,19					
GRADACION ESP. INVIAS 782 - 13					RESULTADOS	
Tamiz	Diamet. (mm)	Peso Ret.do	% Retenido	%Total pasa	NORMA (MDC-19)	GRANULOMETRÍA Peso sin lavar 1137,0 gr Peso lavado 1009,7 gr D ₆₀ = _____ CC= _____ D ₃₀ = _____ CU= _____ D ₁₀ = _____
					100 100	
1"	25,40					
3/4"	19,00			100,00		
1/2"	12,70	130,00	11,01	88,99	80 95	
3/8"	9,51	75,30	7,79	81,20	70 88	

4	4,76	483,20	35,48	45,72	49	65	CLASIFICACION U.S.C _____ AASTHO _____ OBSERVACIONES
10	2,00	204,60	20,51	25,21	29	45	
40	0,42	121,20	12,57	12,64	14	25	
80	0,18	51,80	5,05	7,59	8	17	
200	0,07	24,90	2,70	4,89	4	8	
Fondo		46,00	4,89	0,00			
		1137,00					

Figura 21. Grafica de la mezcla asfáltica con 15% de GCR

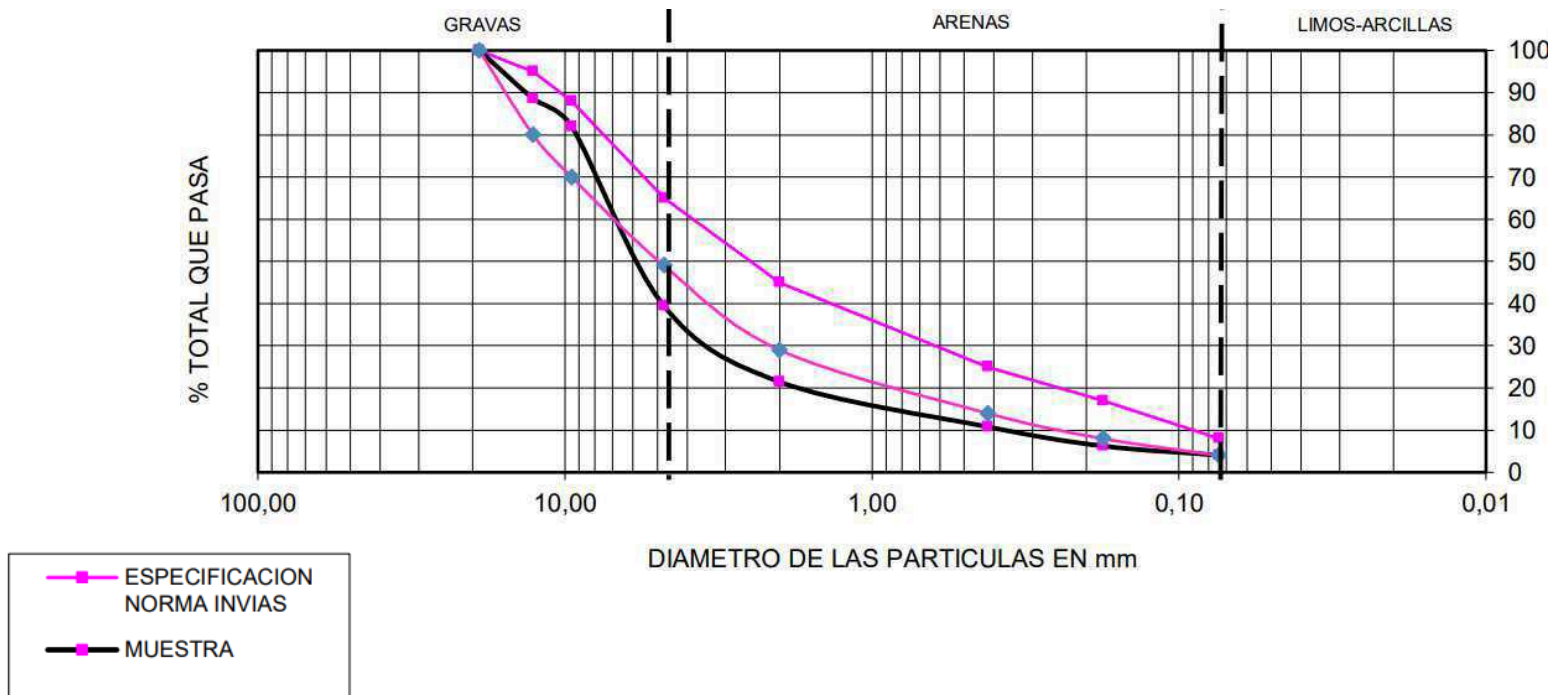


Tabla 12. Probetas con mezcla asfáltica en caliente con 10% de GCR por vía húmeda

RESUMEN						
PROYECTO:	USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA					
ANALISIS:	ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 10% DE GCR POR VIA HUMEDA			CONSECUTIVO N°: 1		
SECTOR:	LABORATORIO			PROCED. MEZCLA	LABORATORIO	
REALIZADO POR:	HUGO ARMANDO. MONTAÑA S.	MUEST. N°	1 EN VIA	TIPO DE MEZCLA	MDC-19	
FECHA DE TOMA:	03/03/2021	APIQUE N°	N.A	LLENANTE MINERAL	FINOS DE TRITURACION	
FECHA DE EJECUCIÓN:	04/03/2021			PESO ESP. AGREGADOS	2,653	
# DE BRIQUETAS	3			PESO ESP. ASFALTO	1,0330	
CONTENIDO DE ASFALTO						
UBICACIÓN (PR/FRANJA)	LABORATORIO					
PESO INICIAL MUESTRA	1200					
PESO FINAL MUESTRA	1138,1					
PESO INICIAL FILTRO	15,09					
PESO FINAL FILTRO	15,34					
% ASFALTO	5,14					
GRADACION ESP. INVIAS 782 - 13					RESULTADOS	
Tamiz	Diamet. (mm)	Peso Ret.do	% Retenido	%Total pasa	NORMA (MDC-19)	GRANULOMETRÍA Peso sin lavar 1137,7 gr Peso lavado 1009,7 gr D ₆₀ = _____ CC= _____ D ₃₀ = _____ CU= _____ D ₁₀ = _____
1"	25,40					
3/4"	19,00			100,00	100 100	
1/2"	12,70	115,30	11,01	88,99	80 95	
3/8"	9,51	110,90	7,79	81,20	70 88	
4	4,76	391,80	35,48	45,72	49 65	
10	2,00	265,70	20,51	25,21	29 45	
40	0,42	121,60	12,57	12,64	14 25	
80	0,18	53,90	5,05	7,59	8 17	
200	0,07	26,90	2,70	4,89	4 8	
Fondo		52,00	4,89	0,00		CLASIFICACION U.S.C _____ AASTHO _____ OBSERVACIONES
		1138,10				

Figura 22. Grafica de la mezcla asfáltica con 10% de GCR

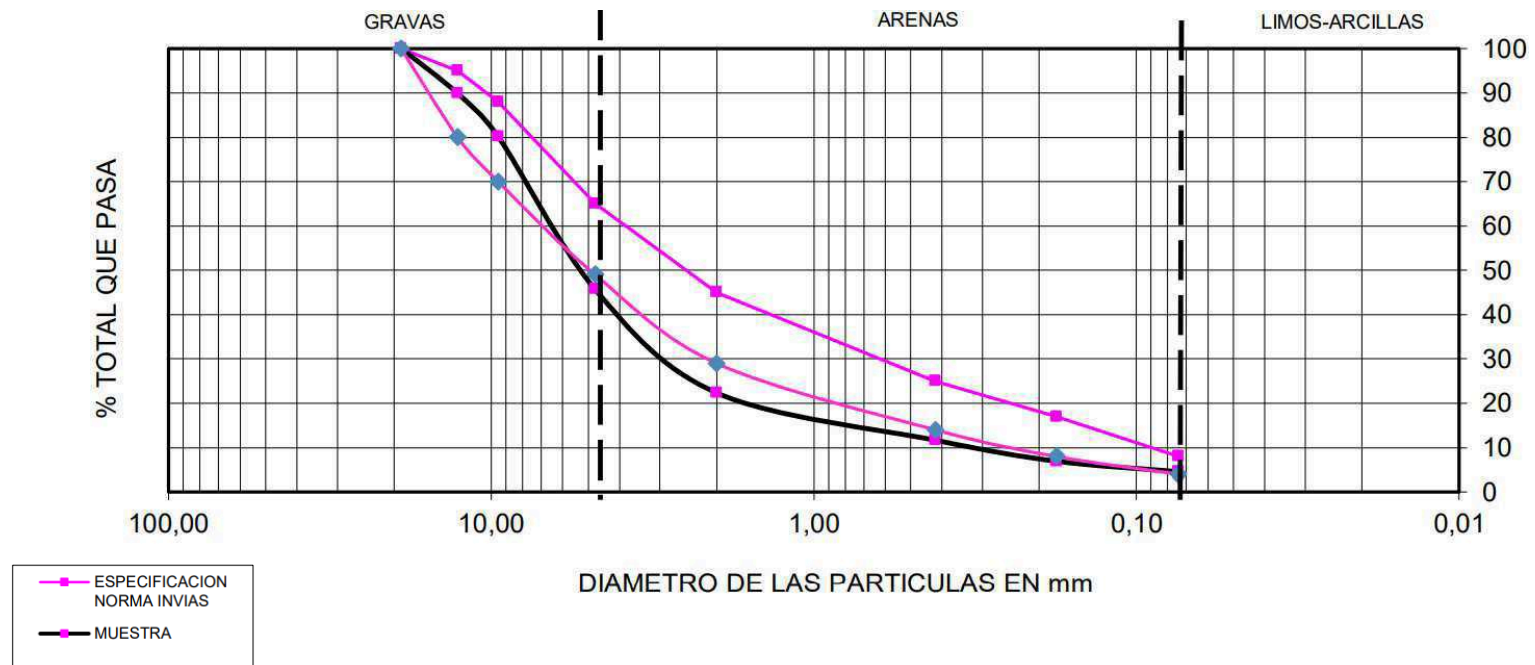


Tabla 13. Resultados de la mezcla con el 20% de GCR

RESUMEN DENSIDAD BULK-ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLA ASFALTICA																			
PROYECTO:		USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA										CONSECUTIVO N°: 1							
ANALISIS:		ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 20% DE GCR POR VIA HUMEDA										FECHA DE ENSAYO:		4/03/2021					
UBICACIÓN:			LABORATORIO																
REALIZADO POR:		HUGO A. MONTAÑA SANABRIA								PESO ESPECIFICO BULK DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO:				2,653					
TIPO DE ASFALTO:		80-100								PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO:				1,0330					
LLENANTE MINERAL:		FINOS NATURALES Y DE TRITURACIÓN								FECHA DE TOMA:		03/03/2021							
PROBETA No.	%DE ASFALTO	PESO PROBETA EN GRAMOS				GRAVEDAD ESPECIFICA			ASFALTO %		% vacíos				llenante/asfalto efectivo (P _{0,075} /Pbe)	ESTABILIDAD		FLUJO mm	
		ESPOSOR PROBETA cm	SECA EN AIRE A	S S S EN AIRE B	EN AGUA C	Bulk de la mezcla (Gmb) (A/(B-C))	Máxima teorica de la mezcla (Gmm) (Rice)	Efectiva del agregado (Gse)	Absorbido (Pba)	Efectivo (Pbe)	agregados (VAM)	Vacios en la mezcla total	lentos con asfalto (VFA)	MEDIDA En Kg q		CORREGIDA En Kg r			
1	5,10	6,89	1206,4	1230,0	669,9	2,154	2,500	2,706	0,77	4,4	22,9	13,8	39,7	1,12	1102,30	981,05	3,77		
2		6,91	1201,6	1230,4	679,9	2,183	2,500	2,706	0,77	4,4	21,9	12,7	42,1	1,12	967,05	860,67	3,48		
3		6,90	1203,9	1230,5	671,5	2,154	2,500	2,706	0,77	4,4	23,0	13,9	39,7	1,12	972,56	865,58	3,77		
Promedio						2,164	2,5	2,7	0,8	4,4	22,6	13,47	40,5	1,1	1014,0	902,4	3,67		
Parámetro					Especificación INV-2013			Resultados Promedio 1			Criterio		Fuente: Elaboración propia						
%asfalto					-----			5,10											
Gravedad específica Bulk de la mezcla (Densidad)					-----			2,164			No cumple								
Estabilidad					Mínimo 900 Kg			902,4			OK								
Flujo					2 mm a 3,5 mm			3,67			No cumple								
Vacíos en la mezcla total					4% a 6%			13,47			No cumple								
Vacíos en los agregados					Mínimo 15%			22,60			OK								
Vacíos llenos con asfalto					65% a 75%			40,50			No cumple								
Relación llenante/ligante efectivo					0,8 a 1,2			1,12			OK								
Relación estabilidad/flujo					300 a 600 Kg/mm			245,67			No Cumple								

Tabla 14. Resultados de la mezcla con el 15% de GCR

RESUMEN DENSIDAD BULK-ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLA ASFALTICA																	
PROYECTO:		USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA									CONSECUTIVO N°: 2						
ANALISIS:		ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 15% DE GCR POR VIA HUMEDA									FECHA DE ENSAYO:		4/03/2021				
UBICACIÓN:			LABORATORIO														
REALIZADO POR:		HUGO A. MONTAÑA SANABRIA									PESO ESPECIFICO BULK DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO:		2,653				
TIPO DE ASFALTO:		80-100									PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO:		1,0330				
LLENANTE MINERAL:		FINOS NATURALES Y DE TRITURACIÓN									FECHA DE TOMA:		03/03/2021				
PROBETA No.	%DE ASFALTO	PESO PROBETA EN GRAMOS				GRAVEDAD ESPECIFICA			ASFALTO %		% vacíos			llenante / asfalto efectivo (P _{0,075} /Pbe)	ESTABILIDAD		FLUJO
		ESPEJOR PROBETA cm	SECA EN AIRE A	SSS EN AIRE B	EN AGUA C	Bulk de la mezcla (Gmb) (A/(B-C))	Máxima teorica de la mezcla (Gmm) (Rice)	Efectiva del agregado (Gse)	Absorbido (Pba)	Efectivo (Pbe)	agregados (VAM)	Vacios en la mezcla total	llenos con asfalto (VFA)		MEDIDA En Kg q	CORREGIDA En Kg r	mm s
1	5,19	6,70	1201,5	1202,9	687,9	2,333	2,432	2,477	0,83	4,3	16,6	5,8	65,0	0,92	1281,03	1140,12	3,10
2		6,90	1197,2	1198,4	686,0	2,336	2,432	2,477	0,83	4,3	16,5	5,7	65,6	0,92	1306,01	1162,35	3,25
3		6,80	1199,9	1200,5	685,2	2,329	2,432	2,477	0,83	4,3	16,8	6,0	64,3	0,92	1281,02	1140,11	3,02
Promedio						2,333	2,4	2,5	0,8	4,3	16,6	5,83	65,0	0,92	1289,4	1147,5	3,12
Parámetro					Especificación INV-2013			Resultados Promedio 1		Criterio			Fuente: Elaboración propia				
%asfalto					-----			5,10									
Gravedad específica Bulk de la mezcla (Densidad)					-----			2,333		No cumple							
Estabilidad					Mínimo 900 Kg			1147,5		OK							
Flujo					2 mm a 3,5 mm			3,12		OK							
Vacíos en la mezcla total					4% a 6%			5,83		OK							
Vacíos en los agregados					Mínimo 15%			16,60		OK							
Vacíos llenos con asfalto					65% a 75%			65,0		OK							
Relación llenante/ligante efectivo					0,8 a 1,2			0,92		OK							
Relación estabilidad/flujo					300 a 600 Kg/mm			367,40		OK							

Tabla 15. Resultados mezcla con 10% de GCR

RESUMEN DENSIDAD BULK-ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLA ASFALTICA																	
PROYECTO:		USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA										CONSECUTIVO N°: 3					
ANALISIS:		ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 10% DE GCR POR VIA HUMEDA										FECHA DE ENSAYO:		4/03/2021			
UBICACIÓN:			LABORATORIO														
REALIZADO POR:		HUGO A. MONTAÑA SANABRIA							PESO ESPECIFICO BULK DE LOS AGREGADOS PARA DISEÑO:					2,653			
TIPO DE ASFALTO:		80-100							PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO:					1,0330			
LLENANTE MINERAL:		FINOS NATURALES Y DE TRITURACION							FECHA DE TOMA:			03/03/2021					
PROBETA No.	%DE ASFALTO	PESO PROBETA EN GRAMOS				GRAVEDAD ESPECIFICA			ASFALTO %		% vacios			llenante / asfalto efectivo (P _{0,075} /P _b e)	ESTABILIDAD		FLUJO mm
		ESPOSOR PROBETA cm	SECA EN AIRE A	S S S EN AIRE B	EN AGUA C	Bulk de la mezcla (Gmb) (A/(B- C))	Máxima teorica de la mezcla (Gmm) (Rice)	Efectiva del agregado (Gse)	Absorbido (Pba)	Efectivo (Pbe)	agregados (VAM)	Vacios en la mezcla total	llenos con asfalto (VFA)		MEDIDA En Kg q	CORREGIDA En Kg r	
1	5,14	6,75	1203,6	1204,7	683,7	2,310	2,432	2,477	0,8	4,3	17,4	6,7	61,3	1,1	1474,00	1311,86	3,3
2		6,70	1195,3	1197,9	681,4	2,314	2,432	2,477	0,8	4,3	17,3	6,6	61,9	1,1	1432,00	1274,48	3,4
3		6,90	1200,3	1202,2	683,8	2,315	2,432	2,477	0,8	4,3	17,2	6,5	62,1	1,1	1447,00	1287,83	3,4
Promedio						2,313	2,4	2,5	0,8	4,3	17,3	6,61	61,8	1,1	1451,0	1291,4	3,35
Parámetro					Especificación INV-2013			Resultados Promedio 1			Criterio		Fuente: Elaboración propia				
%asfalto					-----			5,10									
Gravedad específica Bulk de la mezcla (Densidad)					-----			2,313			No cumple						
Estabilidad					Mínimo 900 Kg			1291,4			OK						
Flujo					2 mm a 3,5 mm			3,35			OK						
Vacíos en la mezcla total					4% a 6%			6,61			No cumple						
Vacíos en los agregados					Mínimo 15%			17,29			OK						
Vacíos llenos con asfalto					65% a 75%			61,76			No cumple						
Relación llenante/ligante efectivo					0,8 a 1,2			1,10			OK						
Relación estabilidad/flujo					300 a 600 Kg/mm			385,11			OK						

15.1.8 Conclusiones de los ensayos

- Granulométricamente como se puede observar en las gráficas se presenta una franja gruesa, comparado con las normas invias mencionadas.
- El contenido de asfalto se registra en un rango establecido entre el 5,10 y 5,19%.
- Con la adición de los gránulos de caucho reciclado (GCR), en los tres porcentajes se presentan densidades bulk bajas, obteniendo valores muy próximos de 2,164, 2,333 y 2,313.
- Se obtuvieron estabilidades corregidas de la siguiente manera, con la adición de 20% de GCR 902.4 Kg > 900 Kg, con el 15 % GCR 1147,5 kg > 900 Kg, y con 10% de GCR 1291.4 kg > 900 Kg, de acuerdo con lo exigido en las normas Invias. Flujos así, con 20% GCR 3.6 mayor a 3,5 mm, y con 15% y 10% se obtuvo resultados estables al rango permitido dentro de la norma.
- Para obtener resultados favorables de la mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda, se debe realizar el proceso sin omitir ningún parámetro establecido dentro de las normas antes mencionadas, ya que cualquier tipo de aditivo o agregado adicional a la mezcla así su porcentaje sea mínimo desestabilizara la misma. Específicamente para este proceso de acuerdo con lo observado en la presente investigación uno de los aspectos más importantes es generar la reacción adecuada entre el cemento asfáltico y el GCR.
- Para los fines pertinentes de este documento y la presente investigación se utilizará la mezcla asfáltica en caliente con GCR 15% por vía húmeda.

15.2 Viabilidad técnica

El sector objeto de estudio posee una topografía ondulada caracterizada por la variación de pendientes, en el tramo de la vía a intervenir se cuenta con algunos cruces de quebradas y vallados, y se genera una alta escorrentía en épocas de invierno en algunos sectores.

La carretera a intervenir es terciaria, posee una longitud total de 10 Km aproximadamente, sin embargo, el trabajo exploratorio solo contempla 900 metros, la superficie de rodadura de la vía se encuentra en material de recebo tipo afirmado, con un espesor aproximado de 10 cms en mal estado, cuenta con cunetas en tierra en malas condiciones de limpieza y drenaje, no tiene obras de drenaje

La calzada existente oscila entre los 3.50 a 4.50 mts de ancho, tiene pendientes variables, pero no muy altas en un promedio de 1.78%, en algunos sectores se aprecian baches producto de falta de mantenimiento, presenta condiciones pésimas de transitabilidad y operación en épocas de verano empeorando en invierno.

Características técnicas. Las características técnicas de la vía objeto de estudio fueron las siguientes:

- Tipo de vía: vía terciaria
- Transito: TPD máximo menor a 500 vehículos/día.
- Periodo de diseño: 5 años.
- Pendiente longitudinal: 1,78 % aproximadamente

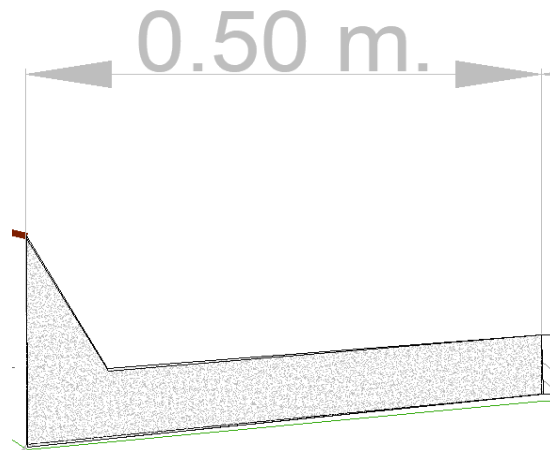
- Capacidad portante: El presente proyecto establece un CBR de Subrasante mayor al 3%.
- Ancho de vía: 3.5 a 4.50 mts en promedio aproximadamente.
- Longitud: Tramo proyecto 0,9 Km.
- Estructural vial

Para la estructuración vial se tienen en cuenta las siguientes características:

- a) Mejoramiento en recebo de la rasante de acuerdo a las cotas establecidas en el diseño geométrico. (Espesor variable)
 - b) Sub base granular 25 cm
 - c) Base granular 15 cm
 - d) Carpeta asfáltica en caliente 10 cm y/o carpeta asfáltica en caliente con gránulos de caucho reciclado GCR.
- Obras de drenaje

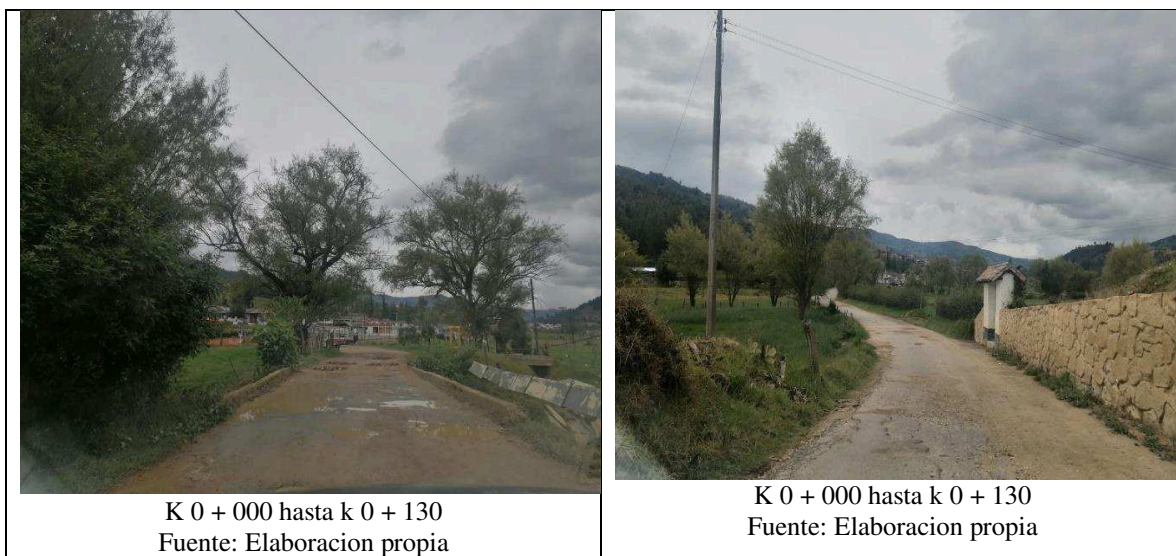
Se prevé la construcción de tres alcantarillas de 36" en el tramo intervenido, sin embargo, las condiciones deberán evaluarse puntualmente de acuerdo a la necesidad y a la afectación predial. Asimismo, se prevé la construcción de una cuneta en ambos costados de la calzada como se observa en la figura 23.

Figura 23. *Cuneta revestida en concreto de 21 MPA (3000PSI) sin refuerzo incluye sello de juntas*



Por lo anteriormente expuesto , se determinó que el tramo de carretera terciaria seleccionado en el municipio de Pesca cumplió con las especificaciones precisas para llevar a cabo el trabajo exploratorio de campo, en la figura 24 se observa el estado actual de la vía.

Figura 24. *Estado actual de la vía.*



K 0 + 000 hasta k 0 + 130
Fuente: Elaboracion propia

K 0 + 000 hasta k 0 + 130
Fuente: Elaboracion propia



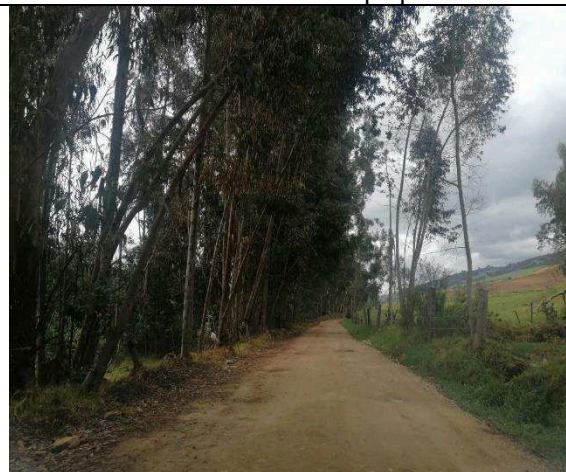
K 0 + 130 hasta k 0 + 260
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 130 hasta k 0 + 260
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 260 hasta k 0 + 390
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 260 hasta k 0 + 390
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 390 hasta k 0 + 520
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 390 hasta k 0 + 520
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 520 hasta k 0 + 650
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 520 hasta k 0 + 650
Fuente: Elaboracion propia



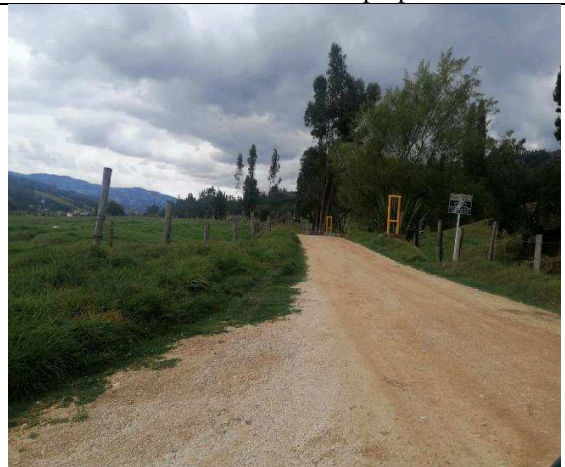
K 0 + 650 hasta k 0 + 780
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 650 hasta k 0 + 780
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 780 hasta k 0 + 900
Fuente: Elaboracion propia



K 0 + 780 hasta k 0 + 900
Fuente: Elaboracion propia

15.2.1 Levantamiento topográfico y georreferenciación

El levantamiento topográfico para el trabajo exploratorio de campo del proyecto se elaboró en el tramo de carretera terciaria denominado Peña San Juan, según la metodología disponible y normatividad vigente contenida en guías del INVIAS, contemplando cada uno de sus componentes en cuanto al alineamiento horizontal, vertical y sección transversal, en función de su categoría y localización.

Como objetivo principal se tuvo realizar el levantamiento topográfico del corredor vial existente, que sería el parámetro de referencia para proyectar cada uno de los alineamientos, de tal forma que se ajusten a condiciones de seguridad, comodidad, funcionalidad e integración con el entorno; para que el tramo vial opere con una superficie de rodadura de acuerdo a su categoría.

Adicionalmente se realizaron las siguientes actividades:

- Realizar la georeferenciación del proyecto, definiendo como sistema de referencia a utilizar Magna Sirgas.
- Geo referenciar los puntos de control topográfico en el área de trabajo por medio de traslado de coordenadas planas de gauss origen Bogotá.
- Realizar la toma de información topográfica amarrada a los vértices geodésicos para la elaboración de proyecto en el municipio Pesca ubicado en el departamento de Boyacá.
- Realizar levantamiento topográfico, planimétrico y altimétrico respetando los parámetros técnicos como abscisado, detalles, puntos de nivel, etc. con equipos como estación total.

- Plasmar en los planos tanto los detalles superficiales como las estructuras existentes que se localicen en las zonas importantes dentro del tramo en mención.
- Generar los planos y cartera correspondiente al tramo levantado.

Especificaciones del trabajo realizado. Se realizó el levantamiento planimétrico y altimétrico del tramo Peña San Juan, referenciado a la red MAGNA-SIRGAS, incluyendo los ítems que en la tabla 16 se exponen, materializando y geo referenciando dos puntos para el amarre del levantamiento planimétrico y altimétrico del tramo de vía, utilizando equipos que cumplieran con las especificaciones técnicas junto con la precisión requeridas para este tipo de levantamientos, tales como equipos GPS y estaciones totales precisión 1mm.

Tabla 16. *Códigos cartera topográfica*

Ítem	Código en la cartera	Descripción
1	BM	base materializada
2	CUNETA	cuneta
3	BV	borde de vía
4	EJE	eje de vía
5	PN	punto de nivel
6	DEL	deltas
7	POS	poste
8	ARBOL	árbol
9	CASA	casa
10	ALC	alcantarilla
11	PLANTA	planta
12	CR	cerca
13	MR	muro
14	PAR	paramento
15	HT	hombro talud
16	LT	línea tubería
17	RV	reductor de velocidad
18	PZ	pozo
19	PT	pata talud
20	ESC	escalera
21	ANDEN	anden

22	VALV	válvulas
23	CAJA	cajas
24	REG	medidores

Para la georreferenciación de los vértices o deltas Topográficos se hizo la verificación del posicionamiento y traslado de coordenadas utilizando como referencias dos bases materializadas BM-01 Y BM-02 con anterioridad en el monumento de la virgen del Carmen, para luego estacionarse sucesivamente en los vértices amojonados. En el mes de febrero del año 2021 se efectuó el levantamiento en las coordenadas del punto (BM-01 Y BM-02).

Para la materialización de los puntos, se tuvo en cuenta que quedarán en sectores que brindaran buenas condiciones para su durabilidad, así como también que presentaran buen horizonte para un buen resultado del levantamiento. La materialización consistió en la incrustación de puntos, (BM Y DEL). Ubicados en el tramo de vía levantado, estos se materializaron con mojones, de tubo PVC rellenos de concreto y una puntilla indicando el centro, de diámetro 2", y 30 cm de largo quedando a ras de la superficie del suelo.

Para realizar el amarre a la red Nacional se utilizaron los puntos materializados con anterioridad BM-01 Y BM-02 ubicados en el monumento de la virgen del Carmen del municipio de Pesca de los cuales la secretaria de planeación y obras públicas compartió las coordenadas para el desarrollo del presente proyecto. Los cuales se encuentran a menos de 30 mts de la zona donde se realizaron los levantamientos topográficos. A partir de estos puntos de apoyo se orientó la estación total para realizar el levantamiento planimétrico y altimétrico radiando un alto porcentaje de detalles correspondientes al tramo de carretera en mención, para luego ajustar adecuadamente la poligonal. Las coordenadas y datos de

referencia de la estación permanente tuna y las bases de apoyo se señalan en las tablas 17 y 18.

Tabla 17. *Coordenadas de los puntos materializados*

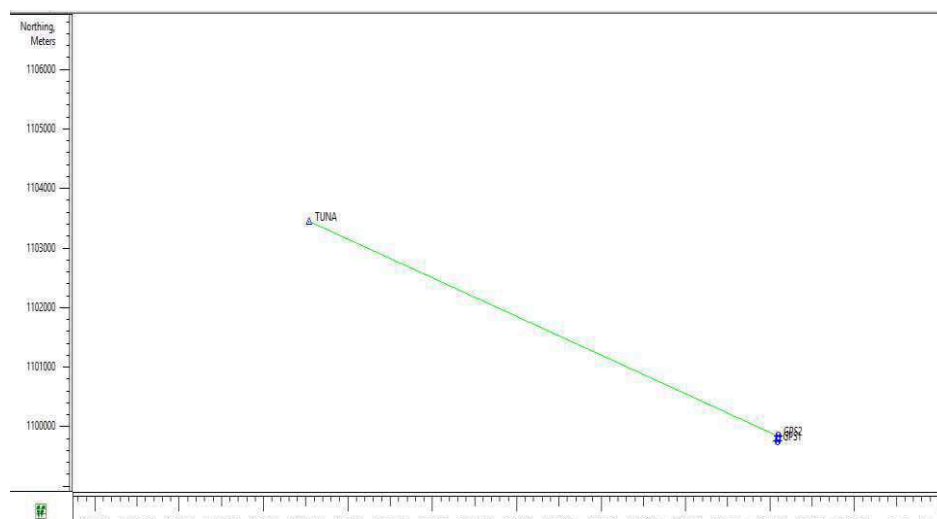
Estación	Coordenadas norte	Coordenadas este	Elevación
TUNA	1103456.828	1079075.053	2831.839
BASEVIRMONU	1107433,516	1114175,495	2585,716
BASEGPS2	1107476,041	1114262,896	2589,048

Tabla 18. *Coordenadas geográficas base permanente tuna*

Estación	Latitud	Longitud	Elevación
TUNA	5°31'52,78704"N	73°21'49,97508"W	2831.839









Esquema de ajuste. En la figura 25 se presenta el esquema de ajuste del levantamiento topográfico.

Figura 25. *Esquema de ajuste del levantamiento topográfico*



Descripción de puntos materializados. Los puntos materializados se muestran en la figura 26.

Figura 26. Puntos materializados

		DESCRIPCIÓN DE PUNTO GEODÉSICO				FECHA
		GRUPO INTERNO DE TRABAJO CONTROL TERRESTRE Y CLASIFICACIÓN DE CAMPO				1/02/2021
Nomenclatura Estandarizada		Nomenclatura Placa		BASEMON/IRGEN		
Departamento: BOYACA		Municipio: PESCA		Vereda: Chincua	Sitio: Glorieta - Monumento Virgen del carmen	
Coordenadas Navegadas MAGNA SIRGAS			Croquis General		Acceso General	
Latitud (φ)	Longitud (λ)	Altura Elipsoidal (h)				
5°34'0.54790"N	73° 2'49.48303"O	2585,716				
Monumentación						
Fecha	Tipo	Monumentado por:				
2017-11-25	MOJON	HUGO A. MONTAÑA SANABRIA				
Estado del punto	Ancho(m)	Largo(m)			Altura(m)	
ANCLADO - SUELO	0.15	0.50	0.10			
Diagrama de obstáculos		Imagen de la Placa				
						
Referencias medidas de los objetos al punto		Predio				
No.	Objeto	Azimut Magnético (°)	Distancia (m)			
1	Mojon		6			
2						
3						
4						
5						
Observaciones:				Descripción Detallada		
EL PUNTO FUE MATERIALIZADO CON UN GPS DOBLE FRECUENCIA HI-TARGET MODELO H32. Describió: _____						
Nombre						

Cartera topográfica. Para verificar la cartera topográfica del levantamiento de clic en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1aWDSuaOQ-LaTk5xV3AVzsuiKeR0djNA_/view

Cálculos y procesamiento de la Información. Se describe a continuación el proceso que se llevó a cabo para el cálculo del proyecto teniendo en cuenta la metodología y procedimientos señalados por el INVIAS:

- a) Revisión de la información de campo: se realizó el amarre con los dos puntos de apoyo, que se tomaron para realizar los levantamientos con la estación.
- b) Procesamiento de la información: se utilizó los siguientes softwares, topcon tools, y autocad 2019 versión estudiantil; y los equipos se trabajaron en método de posicionamiento, y radiación de puntos para la obtención de coordenadas geocéntricas en época de rastreo adecuada.

Conclusiones del levantamiento topográfico. El presente estudio se realiza con base a los lineamientos legales y normativos para el buen uso del levantamiento topográfico, en el cual está representado todas las condiciones actuales del corredor vial.

- Con la realización del levantamiento topográfico se tiene en cuenta los detalles de gran relevancia en el terreno como lo son ancho de vía, borde de vía, eje de terreno natural existente, puntos de nivel, casas, etc.
- En la digitalización de la información, se obtiene como resultado el plano en planta (ver anexo 2) donde se determina la localización general y detallada de la zona a intervenir, perfiles longitudinales que muestran las pendientes existentes de la vía, curvas de nivel, secciones transversales entre otras.
- El proceso de captura de puntos y carteras de cálculos finales se realizan en metodología INVIAS.
- En el anexo 3 se muestra el plano de secciones transversales, los planos se entregan con la escala indicada en el manual de diseño geométrico del INVIAS para la buena interpretación del mismo.
- La figura 27 se muestra el registro fotográfico obtenido durante el desarrollo del trabajo.

Figura 27. *Levantamiento topográfico*



15.2.2 Diseño geométrico

El presente informe se centra en la formulación del diseño geométrico para realizar el uso de residuos de caucho en pavimento de asfalto para el mejoramiento de carreteras terciarias en el municipio de pesca departamento de Boyacá, en el tramo de vía Peña San Juan, basados en los criterios y parámetros que aplican a carreteras según el Manual de Diseño Geométrico del Instituto Nacional de Vías. Con este diseño se pretende mejorar el trazado horizontal y vertical de la vía existente, con condiciones adecuadas de seguridad y comodidad, optimando la operación del tránsito, y de esta manera contribuyendo con el desarrollo socioeconómico de la región.

El diseño geométrico se realizó teniendo en cuenta el trazado existente y las especificaciones técnicas a través de diseños en planta y perfil, en cuanto a las especificaciones técnicas se tomaron recomendaciones basadas por el Instituto Nacional de Vías INVÍAS, adoptándose una velocidad de diseño de 30 km/h. Para la realización del

presente diseño se tuvo en cuenta la topografía expuesta en los anexos 1 y 2 donde están representadas todas las condiciones actuales de los corredores viales.

Los criterios y consideraciones tenidas en cuenta para el diseño horizontal de la vía están basados en la normatividad vigente definida por el Instituto Nacional de Vías a través del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras y de acuerdo a las condiciones actuales del corredor. Sin embargo, conviene señalar que la vía no puede tener rectificaciones significativas ya que no se prevé la adquisición de predios, es así que el diseño empalma los tramos en tangente con curvas conformadas en algunos casos con arcos circulares.

Especificaciones del trabajo realizado. En este apartado se presentan los criterios y las consideraciones tenidas en cuenta para el diseño horizontal de la vía basado en la normatividad vigente definida por el Instituto Nacional de Vías a través del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (INVIAS, 2008) y de acuerdo a las condiciones actuales del corredor, quiere decir esto que el diseño debe coordinarse con el trazado de la vía existente teniendo en cuenta el empalme de los elementos del alineamiento longitudinal.

Específicamente se tiene la limitación que la vía no puede tener rectificaciones significativas ya que no se prevé la adquisición de predios, es así que el diseño empalma los tramos en tangente con curvas conformadas en algunos casos con arcos circulares. Para el presente diseño se proyectan unos alineamientos horizontales para la calzada de tal forma que se pueda lograr la coordinación deseada con lo existente. De acuerdo con lo anterior, se analizan los criterios que se enumeran a continuación:

Clasificación de la vía. Según su funcionalidad el corredor vial, se clasifica como terciaria, ya que comunica cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Velocidad. Para definir la velocidad de diseño se toman los criterios de los valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (VTR) del manual de diseño geométrico, en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno, indicando que para la vía seleccionada corresponde a 30 km/h.

Ancho de calzada. El ancho de la calzada se define en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR). El manual de diseño geométrico, recomienda para una vía terciaria un ancho de calzada de 6.0 metros, sin embargo no fue posible cumplir con dicha condición, ya que implicaría cambios drásticos en trazado existente con grandes cantidades de movimiento de tierras, excavaciones, obras de contención, adquisición de predios, entre otros. Por este motivo se adoptó un ancho de calzada de 4.0 metros y cunetas de 0.50 metros por cada costado.

Pendiente transversal o Bombeo. Para el estudio actual la superficie de rodadura se proyectó un bombeo respecto al eje de 2%.

Radio mínimo y peralte. El radio mínimo está dado en función de la categoría de la vía, el peralte máximo y de la velocidad específica de los tramos viales, por esta razón para el proyecto se partió de una velocidad específica de 20 Km/h, siendo el radio de 15 metros el menor empleado. Referente al peralte, el manual de diseño geométrico recomienda para carreteras terciarias que el peralte máximo más adecuado para este caso es de seis por ciento (6%).

Diseño perfil longitudinal. Una vez se tiene el diseño del eje horizontal de la vía se representa su configuración en el perfil vertical, el cual se observa que presenta pendientes medias, se proyectó en función de la configuración del perfil longitudinal de la superficie

de rodadura existente requiriéndose moderados volúmenes de movimiento de tierras. El alineamiento vertical está formado por una serie de tramos rectos enlazados por arcos parabólicos, a los que dichas rectas son tangentes.

Pendiente máxima. Está dada en función de la categoría de la vía y la velocidad específica; de acuerdo a lo anterior, se determina la pendiente máxima del 12 y 14% tomando como referencia la *relación entre la pendiente máxima y la velocidad específica de la tangente vertical (VTV)* del manual de diseño geométrico.

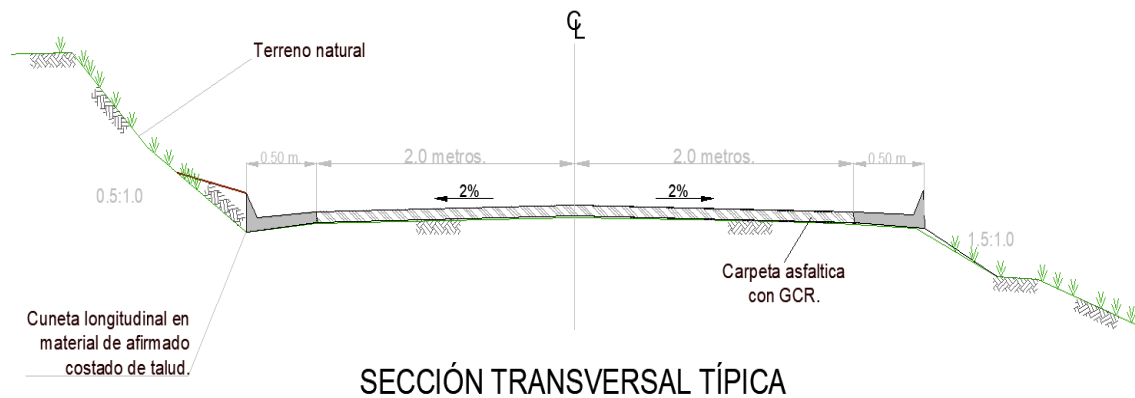
Pendiente mínima. En los tramos diseñados sobre terreno plano se asume el criterio planteado por el manual de diseño geométrico relacionado con la pendiente mínima longitudinal de la rasante que debe garantizar especialmente el escurrimiento fácil de las aguas lluvias en la superficie de rodadura y en las cunetas. En efecto la pendiente mínima empelada en el proyecto es de 0.3%.

Curvas verticales. Las curvas verticales enlazan dos tangentes o alineamientos verticales, su función es efectuar un cambio gradual de la pendiente de entrada a la pendiente de salida. Para el establecimiento y justificación de las curvas verticales se hace necesario evaluar el tipo de curvas (convexas y cóncavas) y las distancias de visibilidad aplicables a cada una de ellas según su grado de dificultad. De acuerdo a lo anterior, se utilizó factor k del manual de diseño geométrico que determina la variación de la longitud y nos permite llevar la rasante de diseño cercana al terreno existente. Valor de k para curvas cóncavas = 6; valor de k para curvas convexas=2-

Sección transversal. En los planos de planta perfil, se presentan los reportes que contienen la información del diseño vertical, que son una herramienta indispensable en la

etapa del replanteo topográfico y construcción. (Ver anexo 4) Los planos de secciones transversales, incluyen información de pendientes transversales, tipo de estructura de pavimento, en la figura 28 se presenta la sección transversal típica.

Figura 28. *Sección transversal típica*



Por último, en la tabla 19 se resumen los valores que rigen el presente estudio

Tabla 19. *Resumen parámetros de diseño del proyecto*

Parámetro de diseño	Valor asumido
Clasificación según su categoría	Terciaria
Clasificación según tipo de terreno	Ondulado
Velocidad de diseño promedio.	30 km/h
Pendiente transversal o bombeo	2%
Pendiente longitudinal máxima	12 – 14 %
Pendiente longitudinal mínima	0.3%
Valor de Kmín. curvas verticales convexas	2
Valor de Kmín. curvas verticales cóncavas	6

Conclusiones del diseño geométrico. El diseño geométrico se realizó con base en las especificaciones contempladas en el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS del año 2008, siguiendo los lineamientos, se estableció realizar el proyecto conservando al máximo posible el corredor de la vía existente realizando las mínimas mejoras desde el punto de vista de alineamientos horizontales y verticales.

- El objetivo de plantear un proyecto sostenible económicamente en el tramo seleccionado no es posible de cumplir, ya que esto implicaría cambios drásticos en el trazado existente con grandes cantidades de movimiento de tierras, compra de predios, excavaciones en roca, construcción de viaductos y obras de contención.
- El diseño geométrico se proyectó en función de la vía existente; considerando que no se tiene previsto la adquisición de franjas de terreno adicionales para proponer rectificaciones o ampliaciones que permitan unas mejores condiciones de operación.
- La realización del diseño geométrico está en función de las condiciones topográficas de la franja vial existente con un terreno predominante ondulado, por tal razón los parámetros que lo rigen son velocidad de diseño de 30 km/h.
- El presente estudio se realizó con base al levantamiento topográfico, en el cual está representado todas las condiciones actuales del corredor vial.
- Este documento comprende el diseño geométrico de la vía objeto solamente, no contiene estudios complementarios.
- Con relación al diseño vertical se proyectó en función de la configuración del perfil longitudinal de la superficie de rodadura existente.

- El diseño geométrico vial se realizó utilizando como herramienta el software Civil 3D.
- El diseño geométrico detallado se encuentra plasmado en los planos de planta-perfil, secciones transversales diseño geométrico desde k0 +000 hasta k0 + 350, secciones transversales diseño geométrico desde k0 +360 hasta k0 + 710, secciones transversales diseño geométrico desde k0 +710 hasta k0 + 900. (Ver anexos 4, 5,6 y 7).
- Para observar la cartera topográfica, y los reportes finales del diseño geométrico como cartera de replanteo, chaflanes, reporte de alineamiento, reporte curva vertical, reporte de volumen de corte y terraplén, reporte eje vertical, reporte PI horizontal, reporte PIV alineamiento horizontal por favor de clic en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1aWDsuaOQ-LaTk5xV3AVzsuiKeR0djNA_/view

15.3 Viabilidad económica

Para evaluar la viabilidad económica que tiene incluir gránulos de caucho reciclado en la mezcla asfáltica propuesta en este documento, es necesario realizar el análisis de costos de producción de una mezcla convencional basada en los precios de la región específicamente del departamento de Boyacá. Y generar un presupuesto de costos de la mezcla asfáltica con GCR, teniendo en cuenta que ya se conocen los materiales y las cantidades necesarias para elaborar cada mezcla.

15.3.1 Análisis de precios unitarios de la región para mezclas asfálticas convencionales

En el departamento de Boyacá se pudo evidenciar que normalmente para el mejoramiento y construcción de vías en pavimento flexible con mezclas convencionales se trabaja con los APU descritos por la gobernación de Boyacá en la figura 29.

Figura 29. APU de la Gobernación de Boyacá para mezclas asfálticas convencionales

ANÁLISIS UNITARIOS		Hoja No. 994		
CAPÍTULO 3.06 PAVIMENTACION FLEXIBLE		SUBCAPÍTULO 3.06.01 PAVIMENTO FLEXIBLE		
GOBERNACION DE BOYACA		3.06.03 CONSTRUCCION DE CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE, INCLUYE BARRIDO, SUMINISTRO Y COMPACTACION (INCLUYE ACARREO LIBRE DE 5 KM) NORMA INVIAS (**)		
Departamento de Boyaca		UNIDAD M3		
PROPONENTE		FECHA 30/01/2017		
Equipos				
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Vr.Parcial
CILINDRO NEUMÁTICO Entre 6 y 15 Ton potencia min 70 hp.	hr	0.1000	127,428.00	12,743.00
Herramienta y Equipo Menor(% M.O)	%	5.0300	35,577.00	1,790.00
IRRIGADOR	hr	0.0170	90,261.00	1,534.00
TERMINADORA DE ASFALTO POTENCIA 174 H.P	hr	0.1000	224,940.00	22,494.00
VIBROCOMPACTADOR CA-15 O SIMILAR	hr	0.1000	83,419.00	8,342.00
				46,903.00
Materiales				
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Vr.Parcial
MEZCLA ASFALTICA MDC-2 EN PLANTA	M3	1.2600	380,800.00	479,808.00
SEÑALIZACION	glb	1.0000	2,410.78	2,411.00
				482,219.00
Mano de Obra				
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Vr.Parcial
AUXILIAR DE OBRA 1 (A)	ir	0.3500	60,761.94	21,267.00
OFICIAL OBRA 2 (A)	ir	0.0563	104,326.36	5,874.00
PALETEROS	ir	0.2000	42,179.07	8,436.00
				35,577.00
Transporte				
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Vr.Parcial
TRANSPORTE DE MATERIAL ASFALTICO	M3	5.0000	2,260.38	11,302.00
				11,302.00
Redondeo :				0
Valor Unitario Total				576,001.00

Revisó: Ing. John Carrero Villamil Secretario De Infraestructura
Proyectó Ing Albeiro Higuera Guarin Director Técnico

Nota. Tomado de Resolución 019 de 2017, por Gobernación de Boyacá, (2017).

Por otro lado, en la figura 30 se visualiza el análisis de precios unitarios elaborado por INVIAS, para el departamento de Boyacá en la elaboración de mezcla densa en caliente tipo MDC-19 con mezcla convencional.

Figura 30. APU de INVIAS para mezcla en caliente tipo MDC-19.

APU INVIAS PARA EL DEPARTAMENTO DE BOYACA						
ITEM	DESCRIPCIÓN	GRUPO DE AJUSTE	UNIDAD	CANTIDAD		
450.2	Mezcla Densa en Caliente tipo MDC-19		m3			
I. EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
Cargador : Potencia en el volante 125 hp, Clasificación de RPM del motor 2300.		\$ 210.000,00	30,000	\$ 7.000,00		
Compactador neumático de Potencia 70 HP, peso de 13 ton		\$ 130.000,00	10,000	\$ 13.000,00		
Compactador de Rodillo POTENCIA: 99HP, PESO: 8 ton		\$ 110.000,00	10,000	\$ 11.000,00		
Planta de asfalto en caliente		\$ 570.422,37	10,000	\$ 57.042,24		
Planta trituradora		\$ 643.810,83	30,000	\$ 21.460,36		
Petroexcavadora E-200 sobre orugas		\$ 190.000,00	30,000	\$ 6.333,33		
Terminadora de asfalto (Finisher), potencia en el volante 174 HP, R=20M3/H, velocidad de desplazamiento		\$ 283.303,78	10,000	\$ 28.330,38		
Volqueta 6 m3		\$ 65.000,00	10,000	\$ 6.500,00		
HERRAMIENTA MENOR (%)			10%	829,84		
SUBTOTAL \$				\$ 151.496,15		
II. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
Agregado Petreo para Triturar (Crudo)	m3	1,400	#####	\$ 223.190,63		
Agua	lt	25,000	\$ 69,00	\$ 1.725,00		
SUBTOTAL \$				\$ 224.915,63		
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	(1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
Transporte de Material Crudo de Rio	m3km	1,40	1,00	1,40	\$ 1.250,00	\$ 1.750,00
Transporte de Mezcla Densa en Caliente MDC-19	m3km	1,25	1,00	1,25	\$ 1.500,00	\$ 1.875,00
SUBTOTAL \$						\$ 3.625,00
IV. MANO DE OBRA						
TRABAJADOR	JORNAL	PRESTACIONES (%)	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
Obrero (8)	\$ 220.831,16	185	\$ 408.537,64	80,00	\$ 5.106,72	
Oficial	\$ 55.207,79	185	\$ 102.134,41	80,00	\$ 1.276,68	
Rastrilleros (2)	\$ 82.811,68	185	\$ 153.201,62	80,00	\$ 1.915,02	
SUBTOTAL \$					8.298,42	
TOTAL COSTO DIRECTO \$					388.335,20	
V. COSTOS INDIRECTOS						
Descripción	Porcentaje	Valor Total				
ADMINISTRACION	20%	77.667,04				
IMPREVISTOS	5%	19.416,76				
UTILIDAD	5%	19.416,76				
SUBTOTAL \$		116.500,56				
Precio Unitario Total Aproximado al Peso \$		504.836				

Nota. Tomado de APU mezcla densa en caliente tipo MDC-19, por INVIAS (2019)

15.3.2 Costos de producción, instalación, y compactación de mezcla asfáltica en caliente con GCR.

A continuación, se presentan los costos calculados para la producción, instalación, y compactación de 1 m³ de mezcla asfáltica con GCR, teniendo en cuenta los precios de mano de obra, equipos, materiales, rendimiento, y transportes estipulados en los APU del INVIAS y del IDU, y los precios unitarios concertados por la gobernación de Boyacá mediante cotizaciones.

Equipos. En la tabla 20 se observan los equipos mínimos necesarios para la fabricación, instalación, y compactación de la mezcla asfáltica en caliente con GCR.

Tabla 20. *Equipos necesarios para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.*

#	Descripción	Tarifa /hora	Rendimiento	Valor unitario
1.00	Equipos			
1.01	Planta de asfalto en caliente	\$ 570.422,00	10	\$ 57.042,20
1.02	Planta trituradora	\$ 643.810,83	30	\$ 21.460,36
1.03	Cargador: Potencia en el volante 125 hp, Clasificación de RPM del motor 2300. (Incluye operador y combustible)	\$ 210.000,00	30	\$ 7.000,00
1.04	Terminadora de asfalto (Finisher), potencia en el volante 174 HP, R=20M ³ /H, velocidad de desplazamiento 114 m/min (Incluye operador y combustible)	\$ 283.303,78	10	\$ 28.330,38
1.05	Compactador neumático de Potencia 70 HP, peso de 13 ton (Incluye operador y combustible)	\$ 130.000,00	10	\$ 13.000,00

1.06	Compactador de Rodillo, potencia 99HP, peso: 8 ton. (Incluye operador y combustible)	\$ 110.000,00	10	\$ 11.000,00
1.07	Volqueta 6 m3 (Incluye operador y combustible)	\$ 65.000,00	10	\$ 6.500,00
1.08	Herramienta menor (10% mano de obra)		10%	\$ 1.003,77
Valor total unitario			\$ 145.336,70	

Materiales. En la tabla 21 se registran los materiales necesarios para la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente con GCR.

Tabla 21. *Materiales necesarios para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.*

#	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor parcial
2.00	Materiales				
2.01	Asfalto solido	107,525	Kg	\$ 1.452,00	\$ 156.126,30
2.02	GCR	18,975	Kg	\$ 1.100,00	\$ 20.872,50
2.03	Arena	345	Kg	\$ 23,40	\$ 8.073,00
2.04	Agregado Grueso	1081	Kg	\$ 49,18	\$ 53.163,58
2.05	Agregado Fino	747,5	Kg	\$ 49,18	\$ 36.762,05
2.06	Energía	10	kwh	\$ 108,18	\$ 1.081,80
2.07	Combustible	1	Gal	\$ 9.456,00	\$ 9.456,00
Valor total unitario				\$ 285.535,23	

Mano de obra. En la tabla 22 se indica la mano de obra mínima necesaria para la fabricación, instalación, y compactación de la mezcla asfáltica en caliente con GCR

Tabla 22. *Mano de obra mínima para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.*

#	descripción	Salario/ mes	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
3.00	Mano de obra				
3.02	Obrero (8)	\$ 12.256.129,25	\$ 408.537,64	80	\$ 5.106,72
3.03	Oficial	\$ 3.064.032,31	\$ 102.134,41	80	\$ 1.276,68

3.04	Rastrilleros (2)	\$ 4.596.048,47	\$ 153.201,62	80	\$ 1.915,02
Valor total unitario			\$ 8.298,42		

Transporte. En la tabla 23 se menciona el valor necesario para el transporte de la mezcla asfáltica en caliente con GCR, con una relación de costo de metro cubico por kilómetro recorrido.

Tabla 23. *Valor del transporte para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.*

#	Descripción	Cantidad	Distancia	Tarifa	Valor unitario
4.00	Transporte				
4.01	Transporte de Mezcla Densa en Caliente, Unidad m3-km	1,25	\$ 1,00	\$ 1.500,00	\$ 1.875,00
Valor total unitario			\$ 1875,00		

Resumen de costos directos e indirectos, y valor total. En la tabla 24 se expone el resumen de costos directos e indirectos, y valor total de la mezcla asfáltica en caliente con GCR. El cálculo de A.I.U se encuentra realizado conforme a lo estipulado en la lista de precios de la gobernación de Boyacá.

Tabla 24. *Resumen de costos directos e indirectos y valor total para la mezcla asfáltica en caliente con GCR.*

Total, costo directo	\$ 440.871,43
Administración 20%	\$ 88.174,29
Imprevistos 5%	\$ 22.043,57
Utilidad 5%	\$ 22.043,57
Total costos indirectos A.I.U 30%	\$ 132.261,43
Valor total m3	\$ 573.132,86

Costos del caucho reciclado de llantas procesadas. Para el costo de los GCR se realizó el estudio económico basado en cotizaciones que se describen en la tabla 25.

Tabla 25. *Resumen de cotizaciones GCR*

Cotización	Cantidad	Unidad	Valor unitario
Cotización 01	1	kg	\$ 1.100,00
Cotización 02	1	kg	\$ 1.200,00
Cotización 03	1	kg	\$ 1.000,00
Precio promedio a utilizar x kg			\$ 1.100,00

15.3.3 *Análisis final de costos*

En la tabla 26, se presenta el resumen del valor total para cada uno de los A.P.U de acuerdo a sus fuentes de elaboración y tipos de mezclas.

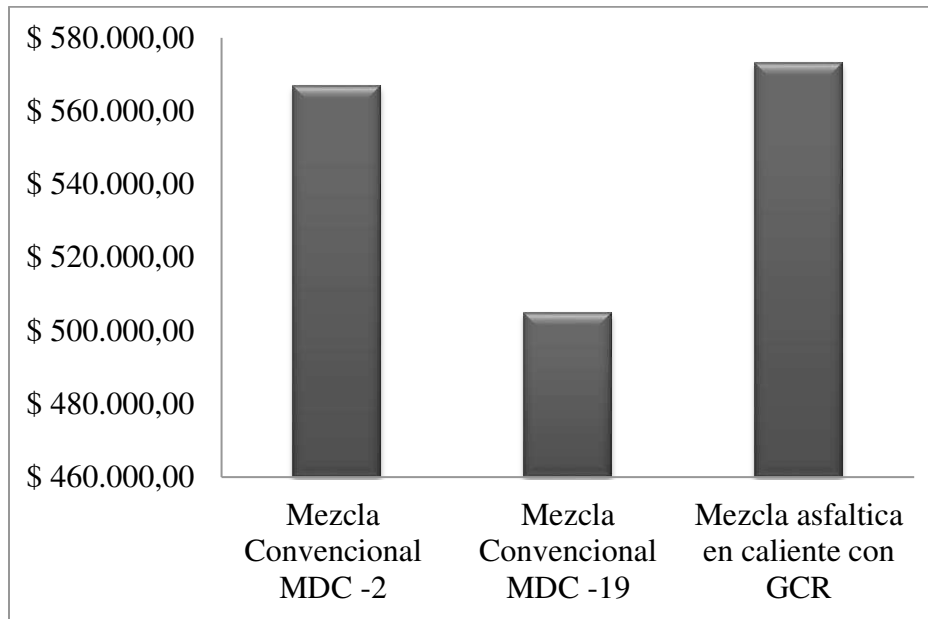
Tabla 26. *Análisis final de costos de las mezclas asfálticas*

Ítem	Tipo de mezcla	Fuente APU	Valor total
1	Mezcla asfáltica convencional MDC -2	Lista de precios gobernación de Boyacá	\$ 566.959,38
2	Mezcla asfáltica convencional MDC - 19	APU INVIAS para Boyacá	\$ 504.836,00
3	Mezcla asfáltica en caliente con GCR	Elaboración propia	\$ 573.132,86

En la figura 31, se realiza una relación de costos totales y se concluye que la mezcla asfáltica en caliente con GCR, presenta un incremento del 1.08% en comparación con lo propuesto en el APU de la gobernación de Boyacá, y un incremento del 11,92% en comparación con el APU del INVIAS para Boyacá, sin embargo, presenta un valor que

puede competir dentro del mercado, ya que, por sus características técnicas, para algunos proyectos puede ser viable, además que si se presenta una contraprestación ambiental o el solicitante aporta los GCR se disminuirán notablemente sus costos de producción.

Figura 31. *Relación de costos totales de las mezclas asfálticas*



Para finalizar la viabilidad económica del presente estudio se presenta la comparación de la mezcla asfáltica con GCR con las mezclas convencionales MDC-2 y MDC-19, en el presupuesto general elaborado para el tramo de carretera terciaria Peña San Juan del municipio de Pesca departamento de Boyacá.

Nota: Para verificar el presupuesto general del tramo de carretera en mención con mezcla asfáltica con GCR, MDC-2 y MDC-19 por favor de clic en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1FTEyjF_rj_QJvt08dLE-dWLBYwbxCdO8/view?usp=sharing

Conclusiones

- En la revisión del estado del arte, se encontró que Colombia no adelanta suficientes estudios relacionados con la implementación de GCR en mezclas asfálticas. Sin embargo, la información disponible de avances en investigaciones internacionales demuestra que el uso del GCR en mezclas asfálticas mejora considerablemente los comportamientos mecánicos de los pavimentos, ya que han dado solución a los problemas de agrietamiento, ahuellamiento y resistencia a la fatiga.
- Técnicamente es posible obtener resultados favorables de la mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda, siempre que se realice el proceso sin omitir ningún parámetro establecido dentro de las normas, ya que cualquier tipo de aditivo o agregado adicional a la mezcla desestabilizara la misma. Uno de los aspectos más importantes es generar la reacción adecuada entre el cemento asfáltico y el GCR.
- Económicamente la mezcla asfáltica en caliente con GCR por vía húmeda, presenta un incremento del 1.08% en comparación con el APU de la gobernación de Boyacá, y un incremento del 11,92% en comparación con el APU del INVIAS para Boyacá. Sin embargo, el uso de GCR puede generar una viabilidad económica que se verá reflejada a largo plazo en los bajos costos de mantenimiento y en el aumento de la vida útil del pavimento, al ser factible mecánicamente y al ofrecer un valor que puede competir dentro del mercado.
- El grano de caucho reciclado obtenido de llantas usadas puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas como un modificador del ligante por vía húmeda, los ligantes y mezclas con asfalto

caucho se postulan como una excelente alternativa ambiental en la disposición final de desechos de llantas.

- Las propiedades mecánicas que mejoran con el uso de la mezcla asfáltica con GCR, es que son mezclas más resistentes a los fenómenos de fatiga y ahuellamiento, además de aumentar la resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas, aumentar la resistencia al envejecimiento y oxidación del ligante, y teniendo en cuenta que la mezcla asfáltica con GCR se caracteriza por ser más flexible a bajas y altas temperaturas esta es más plástica, es decir que es menos susceptible a los cambios de temperatura.

Recomendaciones

- Teniendo en cuenta que la carretera terciaria objeto de estudio del presente trabajo, posee características topográficas y geométricas que inciden en las problemáticas que se le presentan a la comunidad, se hace necesario realizar una intervención inmediata para que los habitantes cuenten con una vía de buen acceso que les permita desplazarse hacia el área urbana del municipio de Pesca, con ahorros significativos en transporte y en tiempos de viaje, y para que a su vez puedan comercializar los productos agrícolas y ganaderos de la región, acceder a servicios de salud y educación, entre otros.
- Es recomendable continuar con los procesos de investigación y apropiación de los avances internacionales en cuanto al uso de GCR en mezclas asfálticas, siendo este un tema que en Colombia ha sido poco estudiado y que se puede analizar desde varios ámbitos para ponerse en práctica en las vías nacionales.
- Un estudio más exhaustivo acerca de la implementación del GCR en las mezclas asfálticas, posiblemente tendría como resultado: unas vías más durables, la reducción de costos y bloqueos por mantenimiento, la reducción de fallas y la mitigación del impacto medio ambiental.

Referencias bibliográficas

- Google Earth. (29 de Mayo de 2021). *Google Earth Maps*. Obtenido de <https://satellite-map.gosur.com/?ll=5.496996521368587,-73.08014985&z=10.03843202747071&t=satellite>
- Resolución 1326 de 2017, "Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de las llantas usadas y se dictan otras disposiciones" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 06 de Julio de 2017).
- Resolución No. 019, Por medio de la cual se modifica, se ajusta y se adiciona un anexo a la Resolución No. 113 e 22 de agosto de 2016, mediante la cual se adoptó la lista de precios unitarios fijos de Obra pública y de consultaría en el Departamento de Boyacá (Gobernación de Boyacá 06 de febrero de 2017).
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (s.f). *Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Santa Fe de Bogotá* .
Obtenido de Resumen Ejecutivo:
<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>
- Alcaldía Municipal de Pesca-Boyacá. (16 de Septiembre de 2019). *Esquema de ordenamiento territorial*. Obtenido de <http://www.pesca-boyaca.gov.co/contrataciones/mpcma0012019?q=EOT>
- Archila Acelas, A. V., & Aparicio Jurado, M. F. (2018). *Impactos ambientales derivados del proceso de pavimentación de vías de transporte en Colombia*. Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Castelán Sayago , E. (2008). *Manual de carreteras*. Obtenido de <https://docplayer.es/21391483-Realizada-por-eduardo-castelan-sayago.html>
- Castro, G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*. Buenos Aires: FIUBA.
- Diaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. Universidad Santo Tomás.
- Dueñas Rodriguez, A. M., & Calume Figueroa, S. A. (2017). *Recopilación y análisis sobre el uso del grano de caucho modificado (GCM) para la utilización por vía seca en el diseño de carpetas asfálticas en Bogotá*. Universidad Santo Tomás.
- Escobar, J. (30 de mayo de 2017). *Solo el 25 por ciento de vías terciarias del país están en buen estado*. Obtenido de El tiempo: <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/vias-terciarias-de-colombia-en-mal-estado-93430>
- Giordani, C., & Leone, D. (s.f). *Pavimentos*. Santafe: Universidad Tecnológica Nacional.
- Henriquez Ulloa, J. (14 de junio de 2014). *Pavimentos [presentación de diapositivas]*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/roooooottt/pavimentos-clases-2014-1>
- IDU. (2019). *ET 220-18. Grano de caucho recilado para mezclas asfálticas en caliente*. Alcaldía Mayor de Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.
- IDU. (2019). *ET 600.18 Generalidades para riesgos y mezclas asfálticas*. Alcaldía Mayor de Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.

- IDU. (2019). *ET 620.18 Mezcla asfáltica en caliente, densa semidensa y gruesa*. Alcaldía Mayor de Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.
- IDU. (2019). *ET 625-18. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con caucho por vía húmeda*. Alcaldía Mayor de Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.
- INVIAS. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 224-13. Determinación del valor del 10% de los finos*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 227-13. Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 232-13. Determinación del coeficiente de pulimento acelerado (CPA) de los agregados gruesos*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 237-13. Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregados gruesos*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 238-13. Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato micro-deval*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 239-13. Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 240-13. Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 702-13. Ductilidad de los materiales asfálticos*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 706-13. Penetración de los materiales bituminosos*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 709-13. Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta cleveland*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 712-13. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 713-13. Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 716-13. Determinación de la viscosidad del asfalto empleando viscosímetros capilares de vacío*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 717-13. Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional*. Instituto Nacional de Vías .

INVIAS. (2012). *INV E 720-13. Efectos del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada y rotatoria*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 721-13. Efectos del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. (2012). *INV E 732-13. Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos*. Instituto Nacional de Vías.

- INVIAS. (2012). *INV E 733-13. Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 748-13. Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato marshall*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 757-13. Efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 774-13. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método riedel-weber)*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E 782-13. Análisis granulométrico de los agregados extraídos en mezclas asfálticas*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2012). *INV E. 218-13 Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la máquina los ángeles*. Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (2019). *Análisis de precios unitarios*. Obtenido de Mezcla densa en caliente tipo MDC-19: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/analisis-precios-unitarios/9791-apus-boyaca-2019-2>
- Lubo Gómez, O., & Martínez Giraldo, R. (2019). *Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019*. Santa Marta: Universidad Cooperativa de Colombia.

- Ministerio de Transporte . (2018). *Plan nacional de vías para la integración regional PNVIR*. Bogotá: Diario Oficial.
- Ocampo, M., Caicedo, B., & González, D. (3 de enero de 2015). *Mezclas asfálticas mejoradas con caucho molido proveniente de llantas usadas [presentación de dispositivas]*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/hugoaliacor/mezclas-asfálticas-mejoradas-con-caucho-molido-proveniente-de-llantas>
- Ostos Mendivelso, Y., Ruiz Daza, Y., & Bernal, G. (2017). *Viabilidad financiera del proyecto de inversión para el reciclaje de llantas usadas en la ciudad de Bogotá*. Universidad Católica de Colombia.
- Patiño, V., & Rodríguez Ramos, M. (2017). Llantas usadas:materia prima para pavimentos y múltiples ecoaplicaciones. *Revista Ontare*, 73-114.
- Ramírez Villamizar, A., Ladino Rubio, I. L., & Rosas Ramírez, J. P. (2014). *Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología GAP GRADED para la ciudad de Bogotá*. Universidad Católica de Colombia.
- Reyes Curcio , A., Pellegrini Blanco , N., & Reyes Gil, R. (2015). El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela. *Revista de Investigación*, 39(86), 157-170.
- Valenzuela, M. (2003). *El asfalto, en la conservación de pavimentos*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Villegas Camargo , J. D., & Wilches Gómez, L. M. (2019). *Utilización de mezcla asfáltica natural (MAN), procedente de la Mina San Pedro, ubicada en el Municipio de*

Armero Guayabal, departamento del Tolima, Colombia, con adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para reparcho localizado. Reparcho ecológico. Bogotá:
Universidad Santo Tomás.

Anexos

Anexo 1. Plano de localización geográfica exacta del proyecto

Anexo 2. Plano planta perfil del levantamiento topográfico

Anexo 3. Plano de secciones transversales levantamiento topográfico

Anexo 4. Plano planta perfil diseño geométrico

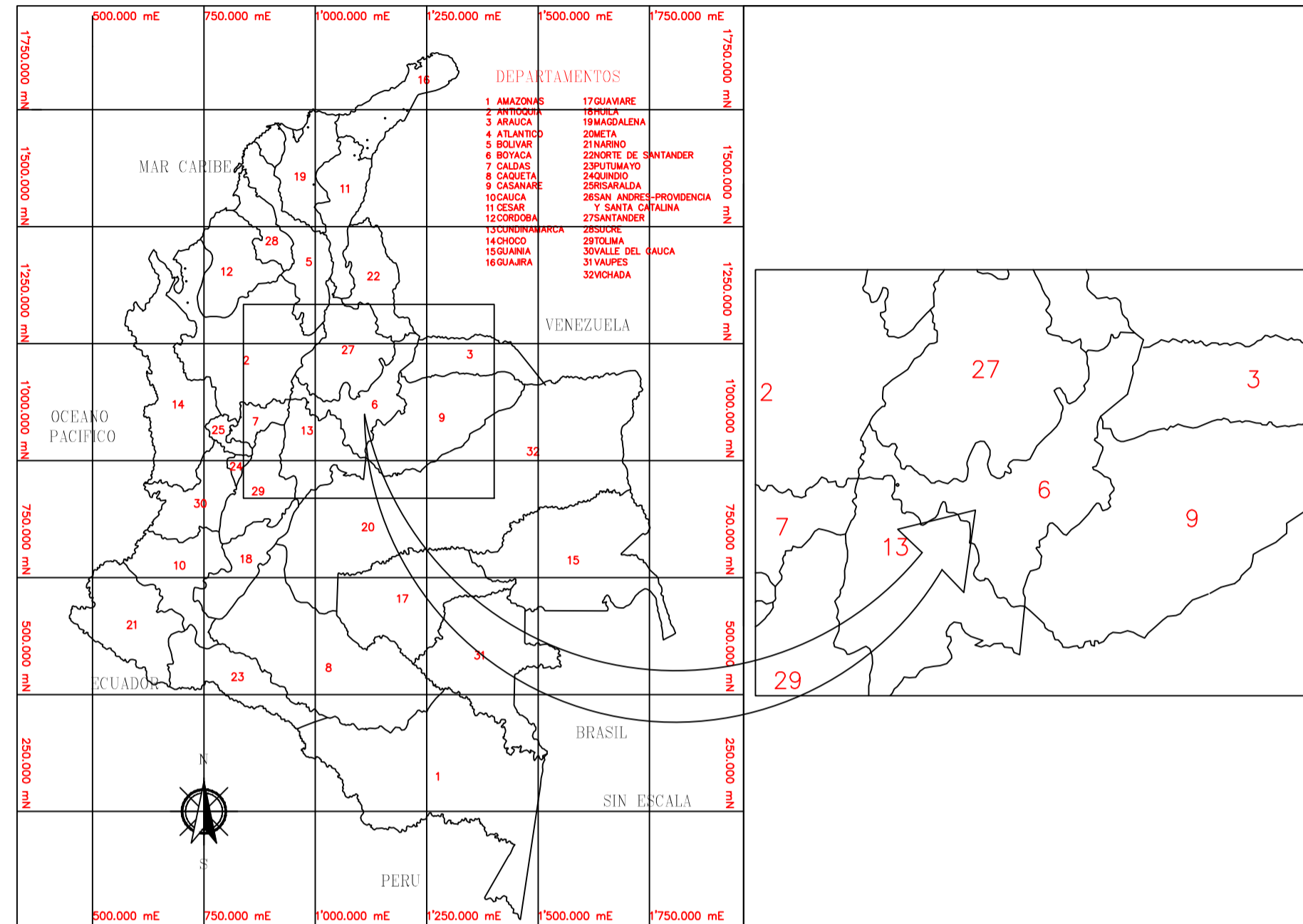
Anexo 5. Plano secciones transversales diseño geométrico desde k0 +000 hasta k0 + 350

Anexo 6. Plano secciones transversales diseño geométrico desde k0 +360 hasta k0 + 710

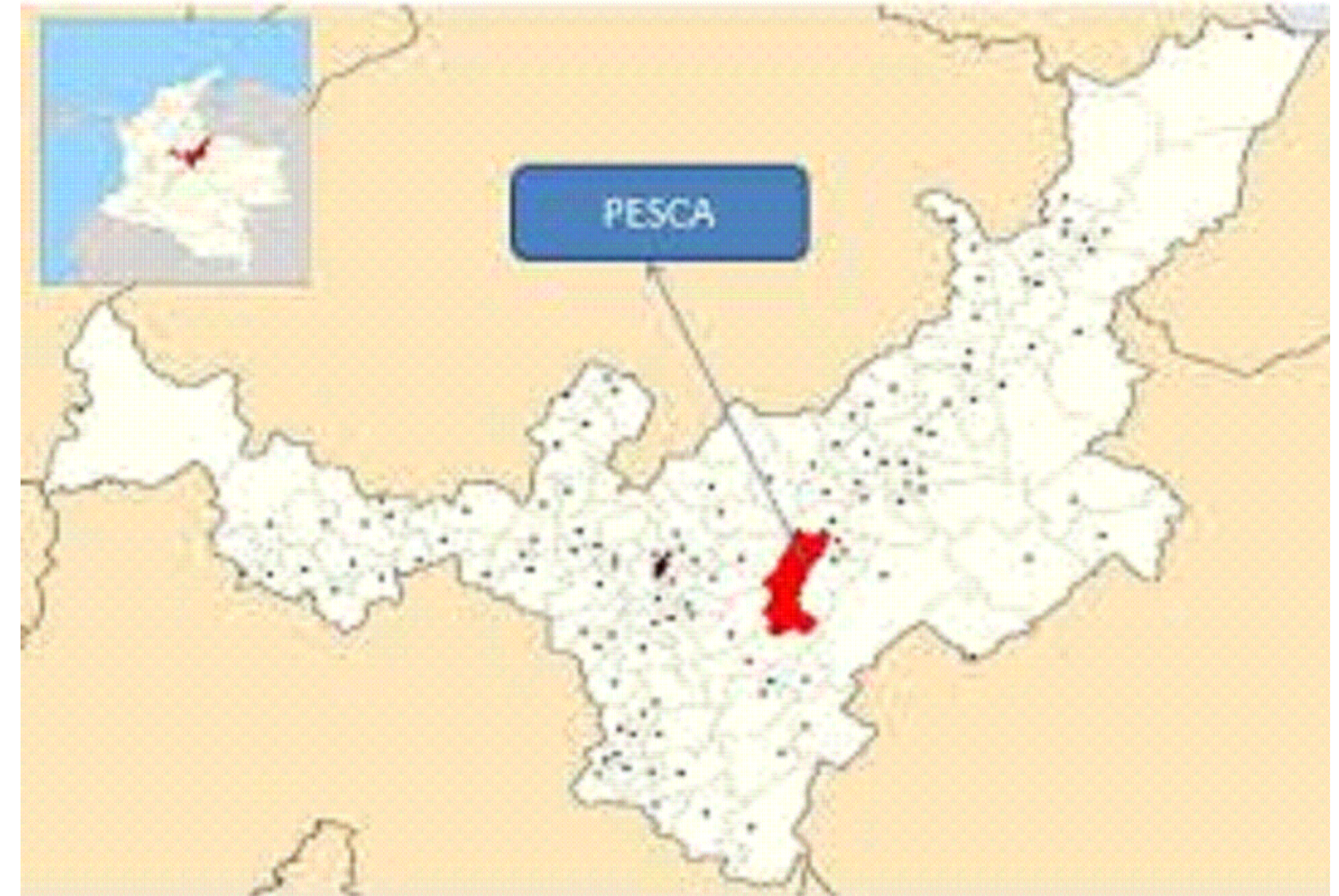
Anexo 7. Plano secciones transversales diseño geométrico desde k0 +710 hasta k0 + 900

PLANO DE LOCALIZACIÓN EXACTA DEL PROYECTO USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA - TRAMO DE VÍA PEÑA SAN JUAN

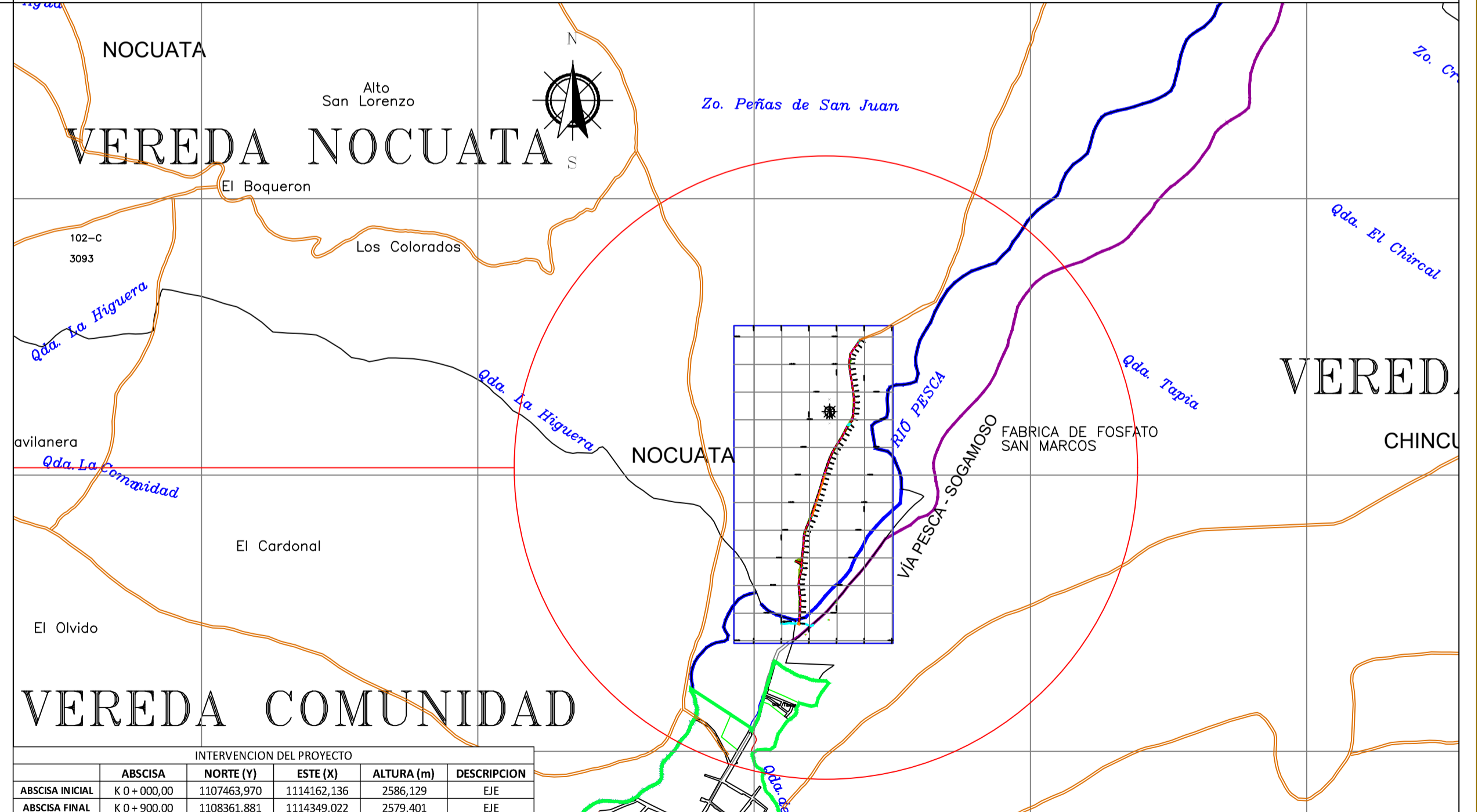
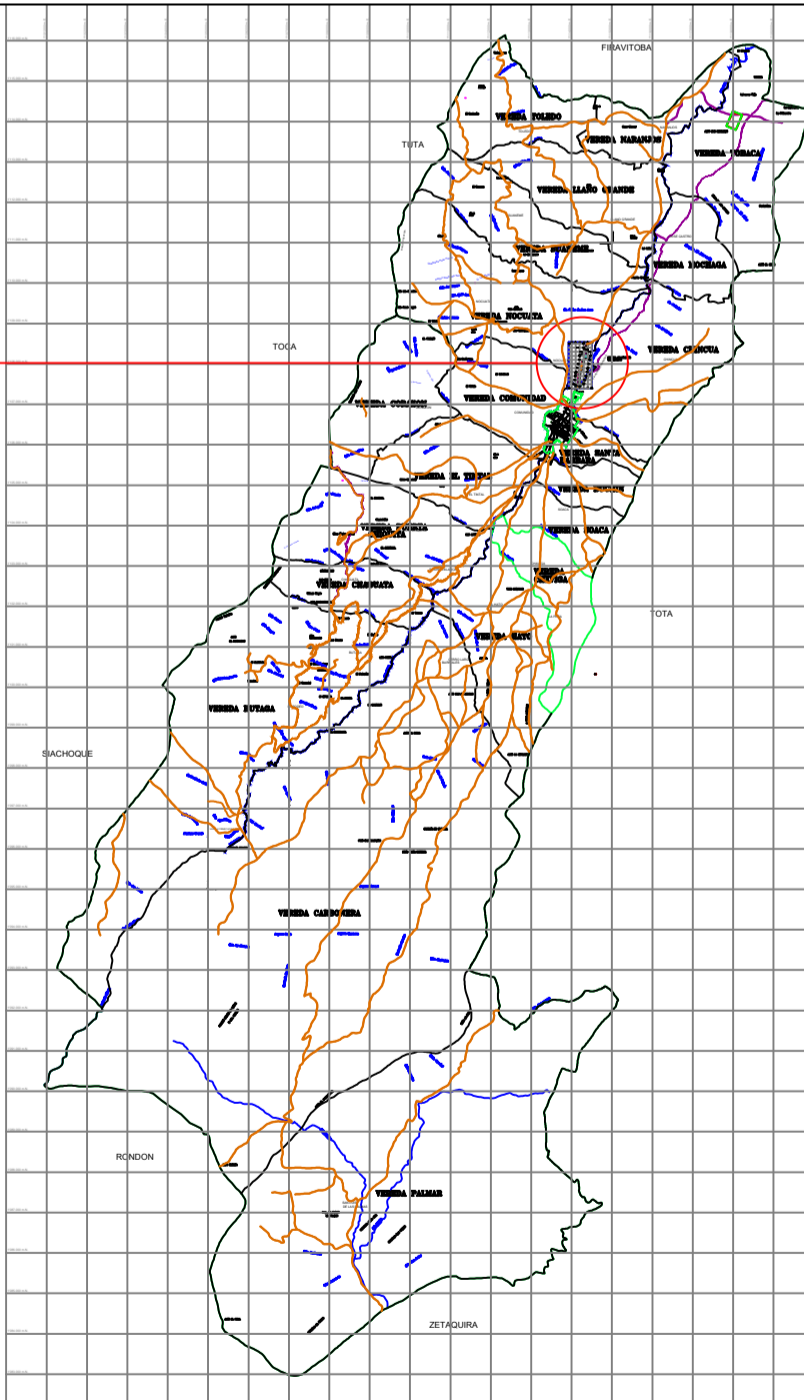
LOCALIZACIÓN NACIONAL



LOCALIZACIÓN DEPARTAMENTAL



LOCALIZACIÓN MUNICIPAL DEL PROYECTO TRAMO DE VÍA PEÑA SAN JUAN VEREDA SUANEME



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**
"FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA"
"PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL"

MUNICIPIO:
MUNICIPIO DE PESCA
DEPARTAMENTO DE BOYACA

REFERENCIA:
PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER
EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIBUJO LEVANTO:
Vo.Bo.
TOP: HUGO ARMANDO MONTANA SANABRIA
MP: 01-16249

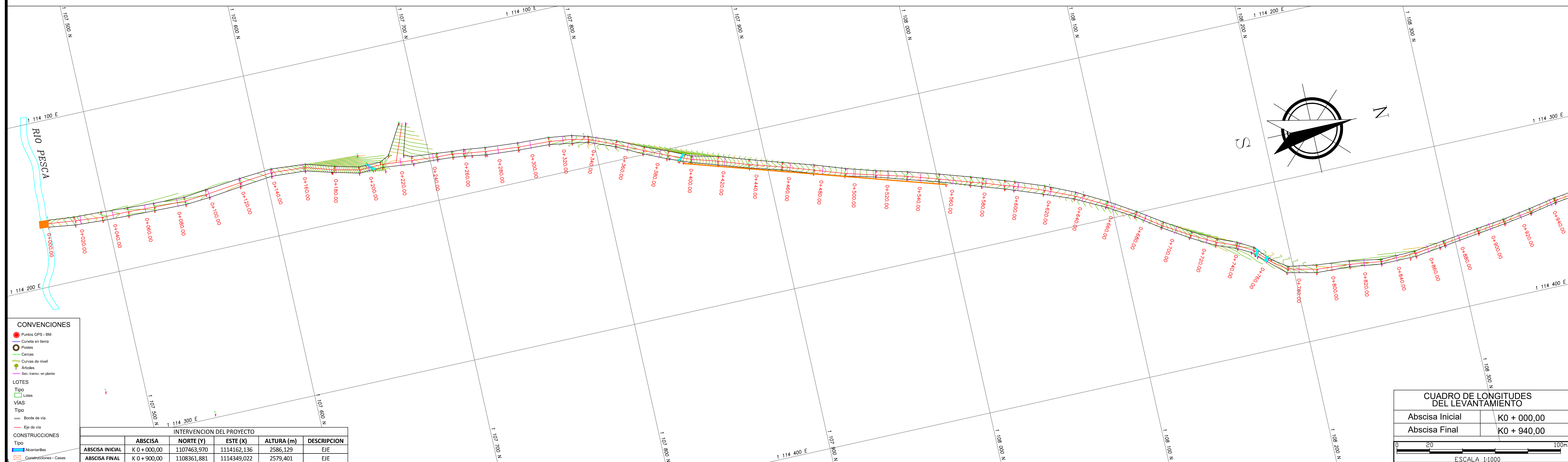
REVISIONES:

ESCALAS:
1 : LAS INDICADAS
ARCHIVO AUTOCAD:
FECHA:
FEBRERO DE 2021

PLANO No.
1 DE 1
CONSECUTIVO:

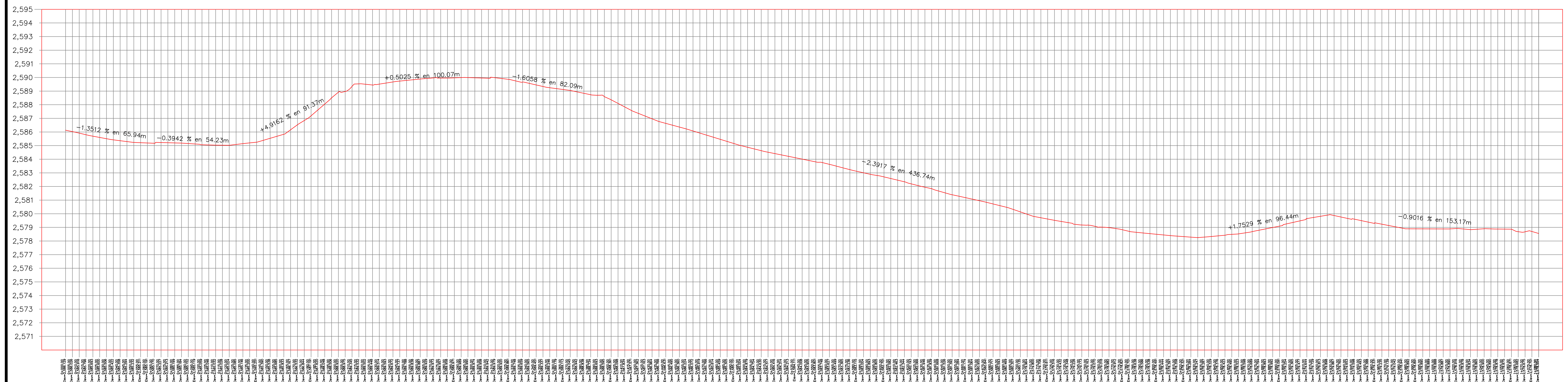
CONTIENE:
LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA

TOPOGRAFÍA GENERAL Y GEORREFERENCIACION DEL PROYECTO USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS Terciarias EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA - TRAMO DE VÍA PEÑA SAN JUAN



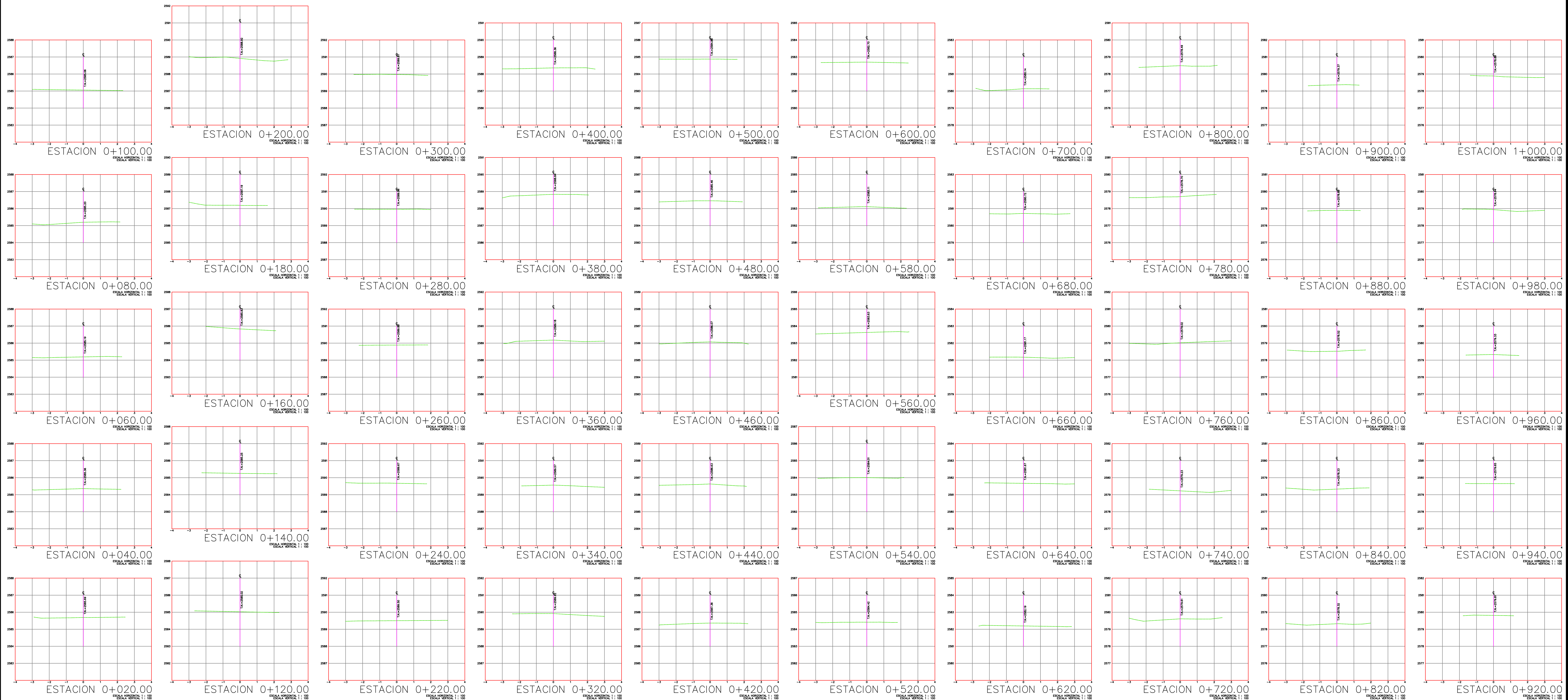
CUADRO DE LONGITUDES DEL LEVANTAMIENTO	
Abscisa Inicial	K0 + 000,00
Abscisa Final	K0 + 940,00

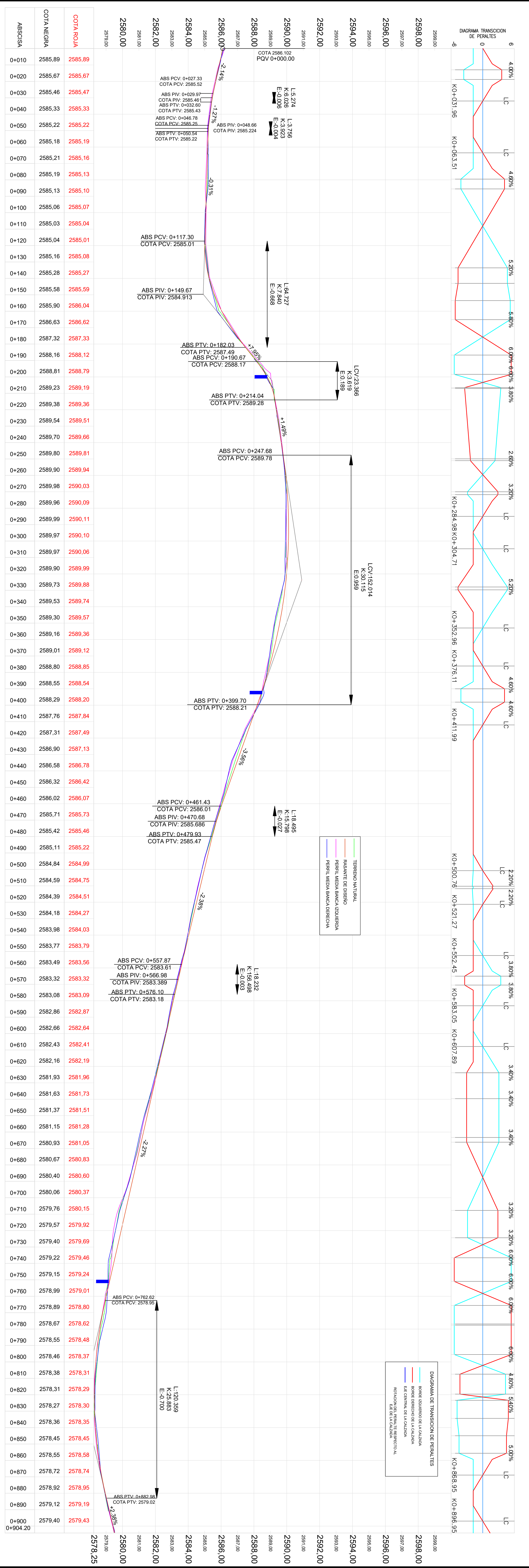
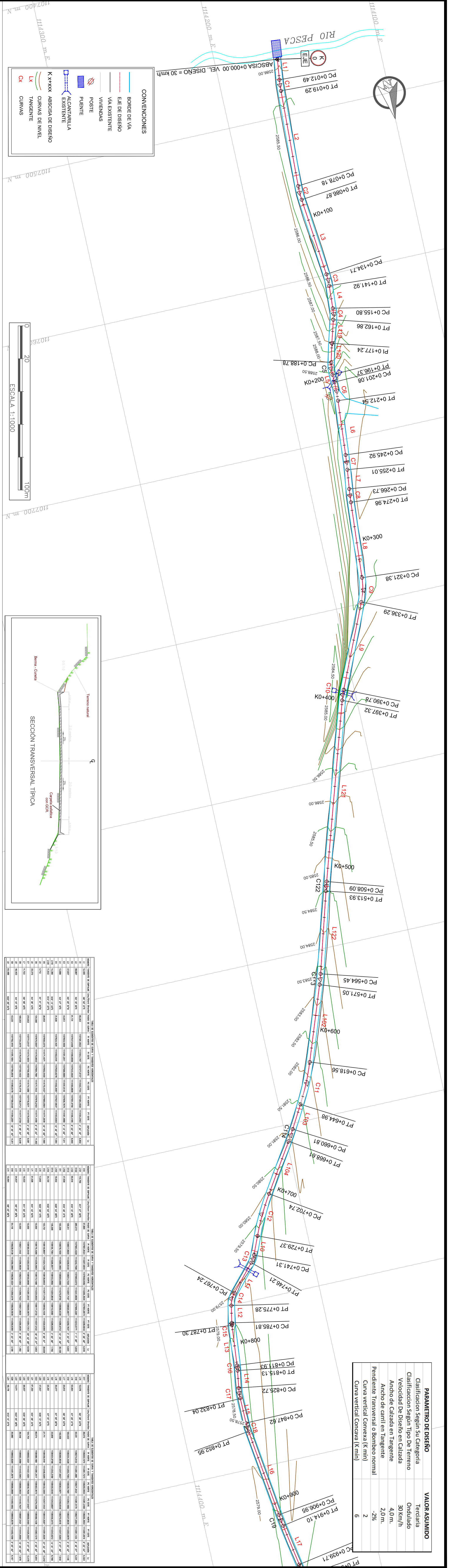
ESCALA 1:1000



 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA <small>"FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA" "PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL"</small>	MUNICIPIO: MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA	REFERENCIA: PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL	PROYECTO: USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS Terciarias EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA	AUTORES: HUGO ARMANDO MONTAÑA SANABRIA <small>ESTUDIANTE INGENIERIA CIVIL - TERCER</small> HUGO ARMANDO MONTAÑA SANABRIA <small>ESTUDIANTE INGENIERIA CIVIL - TERCER</small>	CONTIENE: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y GEORREFERENCIACION DEL TRAMO DE VIA EXISTENTE PLANTA PERFIL	OBSERVACIONES: I II III IV V VI VII VIII	ESCALA: H 1:1000 V 1:100 REFERENCIA: ARCHIVO AUTOCAD: FECHA: FEBRERO 2021	PLANO No. 1 CONSECUTIVO: 2
--	--	---	---	--	---	--	--	---

TOPOGRAFÍA GENERAL Y GEORREFERENCIACION DEL PROYECTO USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA - TRAMO DE VÍA PEÑA SAN JUAN





UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA*
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

MUNICIPIO DE PESCA
DEPARTAMENTO DE BOYACA

PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

USO DE RESIDUOS DE CALCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA

HUGO ARMANDO MONTAÑA SAAVEDRA

HUGO ARMANDO MONTAÑA SAAVEDRA

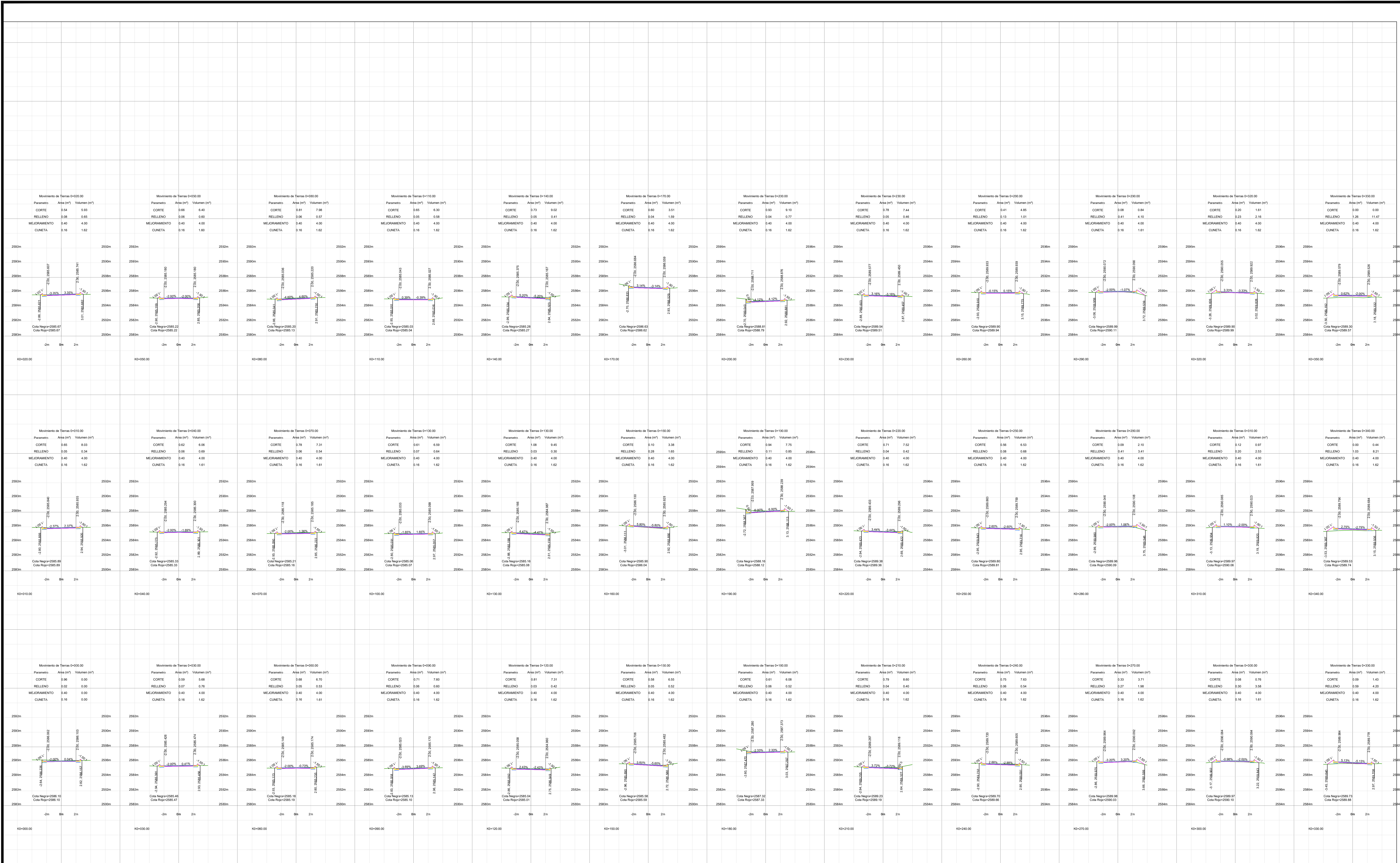
DISEÑO GEOMETRICO PLANTA PERFIL


ESCALA: H 1:1000

REFERENCIA: ARCHIVO AUTOCAD: FEBRERO 2021


PLANO No. 1

CONSECUTIVO 04



 <p>UNIVERSIDAD MILITAR "FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA" "PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL"</p>	<p>MUNICIPIO:</p> <p>MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA</p>	<p>REFERENCIA:</p> <p>PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL</p>	<p>PROYECTO:</p> <p>USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA</p>	<p>ELABORADO:</p> <p>HUGO ARMANDO MONTAÑA SANABRIA ESTUDIANTE INGENIERIA CIVIL - 74626</p>	<p>REVISADO:</p> <p>_____</p>	<p>CONTIENE:</p> <p>DISEÑO GEOMÉTRICO SECCIONES TRANSVERSALES</p>	<p>OBSERVACIONES</p> <p>I _____</p> <p>II _____</p> <p>III _____</p> <p>IV _____</p> <p>V _____</p> <p>VI _____</p> <p>VII _____</p> <p>VIII _____</p>	<p>ESCALA: 1:200</p> <p>REFERENCIA:</p> <p>ARCHIVO AUTOCAD:</p> <p>FECHA: FEBRERO 2021</p>	<p>PLANO No.</p> <p style="font-size: 2em;">2</p> <p>CONSECUTIVO:</p> <p style="font-size: 2em;">04</p>
--	---	---	---	--	-------------------------------	---	--	--	---



 <p>UNIVERSIDAD MILITAR "FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA" "PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL"</p>	<p>MUNICIPIO:</p> <p>MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA</p>	<p>REFERENCIA:</p> <p>PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL</p>	<p>PROYECTO:</p> <p>USO DE RESIDUOS DE CAUCHO EN PAVIMENTO DE ASFALTO PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRERAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE PESCA DEPARTAMENTO DE BOYACA</p>	<p>ELABORADO:</p> <p>HUGO ARMANDO MONTAÑA SANABRIA ESTUDIANTE INGENIERIA CIVIL - 74626</p>	<p>REVISADO:</p> <p>_____</p>	<p>CONTIENE:</p> <p>DISEÑO GEOMÉTRICO SECCIONES TRANSVERSALES</p>	<p>OBSERVACIONES</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>ESCALA: 1:200</p> <p>REFERENCIA:</p> <p>ARCHIVO AUTOCAD:</p> <p>FECHA: FEBRERO 2021</p>	<p>PLANO No.</p> <p style="font-size: 2em;">3</p> <p>CONSECUTIVO:</p> <p style="font-size: 2em;">04</p>
--	---	---	---	--	-------------------------------	---	---	--	---

