

**ESTUDIO DE MATERIAL NATURAL ASFALTITA PARA USO EN  
MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA VÍAS SECUNDARIAS Y Terciarias DEL  
MUNICIPIO DE PESCA-BOYACÁ.**

*LAGOS P. J. ALFREDO<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería civil, Ingeniera Civil,  
[jhonatan.lagos@usantoto.edu.co](mailto:jhonatan.lagos@usantoto.edu.co)*

**Resumen**

La investigación, en esencia, demostró la factibilidad técnica de aprovechar las asfaltitas de la cantera Santa Teresa, municipio de Pesca, Boyacá, Colombia. Los ensayos acogidos a las normas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), en cuanto a análisis granulométrico y del ligante bituminoso, se hicieron con la finalidad de diseñar mezclas densas en frío y caliente (MDC-2), según las metodologías Marshall y Ramcodes, permitió maximizar la bondad del diseño y reducir tiempo y recursos, superando la práctica del método convencional. La investigación presenta la aplicabilidad en la construcción de pavimentos de vías secundarias y terciarias, con bajos volúmenes de tránsito.

**Palabras clave:** Asfaltitas; Conglomerados Asfálticos; Mezclas Asfálticas; Módulo Dinámico.

## **Abstract**

The research essentially demonstrated the technical feasibility of utilizing asphalt from the Santa Teresa quarry in the municipality of Pesca, Boyacá, Colombia. Tests conducted in accordance with the National Road Institute (INVIAS) standards for particle size analysis and bituminous binder were used to design hot and cold dense mixes (HCM-2) using the Marshall and Ramcodes methodologies. This allowed for maximizing design efficiency and reducing time and resources, surpassing conventional methods. The research demonstrates its applicability to pavement construction for secondary and tertiary roads with low traffic volumes.

**Palabras clave:** Asphaltites; Asphalt Conglomerates; Asphalt Mixtures; Dynamic Modulus.

## **Introducción**

El municipio de Pesca, ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia, cuenta con tres canteras que producen asfaltitas naturales, las cuales han sido utilizadas de manera tradicional en la pavimentación de vías locales de bajo tránsito, principalmente en carreteras secundarias y terciarias. A pesar de la disponibilidad de este recurso natural, su explotación se ha llevado a cabo mediante métodos artesanales que limitan el control de calidad en las mezclas producidas. Esto ha dado lugar a deficiencias importantes en la granulometría y en el contenido de ligante bituminoso, lo cual afecta negativamente el desempeño estructural de los pavimentos, generando deterioros prematuros como fisuras, deformaciones, fatiga y desprendimientos (Sánchez leal et al.,2002).

Con el propósito de incrementar la durabilidad y el desempeño de las vías rurales en la región, este trabajo desarrolla una evaluación técnica sobre la aplicación de asfaltitas provenientes de la cantera Santa Teresa en la elaboración de mezclas densas en caliente tipo MDC-2. El análisis se realizó empleando las metodologías de diseño Marshall y Ramcodes, las cuales facilitan la determinación óptima tanto de la dosificación del ligante como de la gradación de los agregados. Todo ello se llevó a cabo en concordancia con los lineamientos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia, establecidos para carreteras de bajo volumen de tránsito según la Norma INV E-457-22.

Las asfaltitas naturales de la cantera Santa Teresa en el municipio de Pesca demuestra su potencial para el diseño de mezclas asfálticas densas tipo MDC-2 bajo metodologías estandarizadas como Marshall y Ramcodes. Esta experiencia puede ser replicada en municipios cercanos en la provincia del sugamuxi que compartan características geológicas similares y enfrenten problemáticas en la durabilidad de sus vías rurales. La disponibilidad de asfaltitas en la región y la posibilidad de optimizar su uso mediante métodos técnicos validados ofrecen una oportunidad concreta para escalar el proyecto, mejorando la calidad de la infraestructura vial en otras zonas rurales del departamento y promoviendo el aprovechamiento eficiente de recursos locales.

No obstante, para lograr la expansión del proyecto a municipios vecinos de la provincia, es fundamental implementar estrategias de comunicación efectivas que permitan divulgar los resultados obtenidos, sensibilizar a actores locales y regionales sobre los beneficios del uso optimizado de este recurso, y fomentar alianzas interinstitucionales. La difusión del conocimiento a través de publicaciones técnicas, presentaciones en eventos académicos, talleres comunitarios y canales institucionales puede facilitar la transferencia

tecnológica, fortalecer la aceptación del proyecto y generar el respaldo necesario para su replicabilidad en otras regiones con condiciones similares.

Ha sido ampliamente validado y aplicado en diversos países como Japón, India, México, Estados Unidos y varias naciones de Europa, donde ha demostrado ser eficaz en el diseño de mezclas asfálticas modificadas, mejorando notablemente su resistencia y durabilidad. Estudios como el de Rahman et al. (2016), realizado en Malasia, destacan que, pese a ser un método tradicional, continúa siendo una herramienta confiable para evaluar la estabilidad y el flujo de mezclas asfálticas, especialmente en condiciones climáticas tropicales. Asimismo, investigaciones llevadas a cabo en Turquía (Topal et al., 2012) comparan el método Marshall con técnicas más recientes y concluyen que sigue siendo una alternativa técnicamente sólida, especialmente adecuada para vías con tránsito medio y bajo. Estos antecedentes internacionales refuerzan la validez técnica del método y respaldan su aplicación en contextos similares al del municipio de Pesca, lo que abre la posibilidad de replicar exitosamente el proyecto en otras regiones con características comparables.

El propósito central de esta investigación consiste en analizar la viabilidad del uso de asfaltita, proveniente de la cantera Santa Teresa en el municipio de Pesca, Boyacá (Colombia), como insumo alternativo en la producción de mezclas asfálticas. La evaluación se llevó a cabo considerando aspectos técnicos, económicos y de sostenibilidad local. Los ensayos de laboratorio evidenciaron que, mediante ajustes adecuados en el diseño de la mezcla, es posible cumplir con los parámetros técnicos establecidos en la normativa vigente. De esta manera, se promueve el aprovechamiento de un recurso regional poco explotado y se contribuye al desarrollo de soluciones viales más eficientes y

costo-efectivas en áreas rurales.



**Figura 1.** Vista de la cantera de asfaltita Santa Teresa, ubicada en Pesca, Boyacá (Colombia).

Elaboración propia.

### **Metodología**

En el estudio de mezclas asfálticas se emplearon dos metodologías: Marshall y Ramcodes. El método Marshall, ampliamente utilizado en EE. UU. Desde 1940, evalúa la resistencia al flujo plástico de mezclas asfálticas en caliente, y ha sido adoptado en Colombia por el INVIAS mediante las normas (INV-E-735, 736, 745, 748 y 799). Por su parte, el método Ramcodes, desarrollado por Sánchez-Leal (2008), acelera el proceso tradicional usando un enfoque gráfico conocido como polígono de vacíos, que permite determinar el contenido óptimo de asfalto.

Se llevó a cabo la caracterización de la asfaltita proveniente de la cantera Santa Teresa, en Pesca (Boyacá), junto con la aplicación de metodologías de diseño, cuyos resultados se presentan en las Tablas 1 y 2. Las propiedades del material se ajustaron a los criterios técnicos establecidos para vías de tránsito bajo (NT1). Posteriormente, se

elaboraron mezclas MDC-2 con tres gradaciones granulométricas: franja superior, central e inferior. A través del método Ramcodes se logró optimizar el diseño de la mezcla, obteniendo una disminución notable en el consumo de tiempo y recursos en comparación con la metodología Marshall.

La metodología aplicada permitió confirmar que las mezclas asfálticas cumplen con parámetros esenciales de desempeño, entre ellos estabilidad, flujo, contenido de vacíos y porcentaje de ligante asfáltico, tal como se presenta en la Tabla 3. Estos hallazgos respaldan la pertinencia del diseño experimental mostrado en la Tabla 4, el cual asegura la producción de mezclas en caliente adecuadas para la pavimentación de vías secundarias y terciarias, conforme a los lineamientos de la Norma INV E-457-22 del INVIAS. Cabe destacar que dicha normativa, junto con otras como la INV E-748, ha sido actualizada recientemente (2022) y actualmente existen borradores de modificación proyectados para 2025. Este proceso refleja una modernización normativa orientada a ajustar los criterios de diseño y control de calidad a las nuevas demandas constructivas en infraestructura vial.

**La caracterización de los agregados** constituye una etapa fundamental en la evaluación de materiales empleados en la construcción. Este proceso resulta particularmente relevante en la producción de concretos hidráulicos y mezclas asfálticas, en donde tanto los agregados gruesos como los finos desempeñan un papel determinante en el comportamiento mecánico y la durabilidad de las estructuras.

Tabla 1. Caracterización de los agregados

MATERIAL	NORMA	ENSAYO	RESULTADO	VALOR DE LA NORMA		DESCRIPCIÓN
GRAVA	INVE-227-07	Porcentaje de caras fracturadas (2 caras)	100%	60 % mín.		La muestra a ensayar presenta una textura rugosa, de color gris y amarillo, de olor orgánico, estas partículas presentan su forma angulosa ya que sus bordes son agudos lo cual no presenta pulimiento, es totalmente.
	INVE-230-07	Índice de aplanamiento	27.80%	≤35		
	INVE-230-07	Índice de alargamiento	26.27%	≤35		
	INVE-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado grueso (Gsa)	2.65	% Absorción	1.69%	
	INVE-223-07	Gravedad específica y absorción del agregado grueso (Gsb)	2.53	% Absorción	1.69%	
	INVE-223-07	Gravedad específica y absorción del agregado grueso (Gsb-sss)	2.58	% Absorción	1.69%	
	INVE-218-07	Resistencia al desgaste de los agregados Maquina de los Ángeles	21.43%	30%		
	INVE-125-07	Limite liquido	16.43	≤40		
	INVE-126-07	Limite plástico	13.51			
	INVE-125-07	Índice plástico	2.92	4 a 9		
	INVE-220-07	Sanidad de los agregados frente a la acción	8%	≤12		

Fuente: Caracterización de los agregados INVIAS.

**Tabla 2. Metodología Marshall acelerado por Ramcodes**

MATERIAL	NORMA	ENSAYO	RESULTADO	VALOR DE LA NORMA		DESCRIPCIÓN
ASFALTITA	INVE-133-07	Equivalente de arena de suelos y agregados finos	66 %	50% Min		La muestra a ensayar presenta una textura suave, de color negro, de olor orgánico, presenta partículas finas, su condición de humedad es importante al tacto. El porcentaje de equivalente de arena indica que la arena se encuentra limpia, porque la cantidad relativamente de arcilla o contaminantes es baja. Los requisitos del agregado cumplen con NT1, NT2, NT3, para bases granulares.
	INVE-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino	2.44 (Gsb)	% Absorción	3.65%	
	INVE-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino	2.53 (Gsb-sss)	% Absorción	3.65%	
	INVE-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino	2.69 (Gsa)	% Absorción	3.65%	
	INVE-707-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino - LIXIVIADO	1.09 (Gb)	N. A		
	INVE-732-07	Extracción cualitativa de asfalto	4.1 (%)	N. A		
	INVE-125-07	Limite liquido	17.18	≤40		
	INVE-126-07	Limite plástico	N. P	4 a 9		
	INVE-706-07	Penetración	224.78	200 - 250		
	INVE-723-07	Destilación	N. P	N. A		
	INVE-709-07	Punto de ignición y llama mediante la copa abierta de Cleveland °C	93	≥200°C		

**Fuente:** Metodología Marshall

Los promedios de estabilidad y flujo determinados se encuentran dentro de los límites especificados por la Norma INV *INV E-457-22*, lo cual confirma la conformidad técnica de las mezclas, según lo registrado en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Verificación promedio estabilidad

ITEM	DESCRIPCION	
1	Determinar la gravedad específica efectiva (Gse), la gravedad específica bulk de la combinación de agregados (Gsb) y la gravedad específica aparente (Gsa) de la combinación de agregados seleccionada.	<b>SI NO CUMPLE 4 y 5, IR A PASO 1.</b>
2	Obtener matemáticamente el polígono de vacíos y a partir de este el contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta las especificaciones y las gravedades específicas de la combinación de agregados.	
3	Mezclar la combinación de agregados con el contenido óptimo de asfalto y compactar tres especificaciones bajo la energía de compactación seleccionada. Medir los especímenes para determinar los vacíos, y ensayarlos para determinar la estabilidad y el flujo.	
4	Verificar si el promedio del contenido de asfalto y la densidad bulk entra en el polígono de vacíos.	
5	Verificar si el promedio de estabilidad y flujo de los especímenes cumpla con las especificaciones.	

Resultados y verificación para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente utilizando las asphaltitas.

**Tabla 4.** Mezclas diseñadas

## MEZCLAS DISEÑADAS CON ASFALTITA

<b>FRANJA SUPERIOR</b>	<b>FRANJA CENTRAL</b>	<b>FRANJA INFERIOR</b>
<b>RS</b>	<b>RC</b>	<b>RI</b>
<b>%A=57-%B=43</b>	<b>%A=61-%B=39</b>	<b>%A=64-%B=36</b>
<b>MS</b>	<b>MC</b>	<b>MI</b>
<b>GRADACION 3</b>	<b>GRADACION 2</b>	<b>GRADACION 1</b>

**Fuente.** Diseño experimental para el diseño de mezclas asfálticas

Donde:

M: Marshall

C: Franja central

B: Asfaltita

R: Ramcodes

S: Franja superior

I: Franja inferior

A: Grava

El diseño experimental se estructuró con base en la franja granulométrica correspondiente a la mezcla densa en caliente tipo 2 establecida por el INVIAS. Para ello, se definieron tres curvas representativas: gradación superior (MS), gradación central (MC) y gradación inferior (MI), conforme a lo estipulado en la norma INV E-457-22.

## Resultados

Los resultados del diseño de mezclas asfálticas aplicando las metodologías Marshall y Ramcodes se consignan en la Tabla 5, organizados de acuerdo con la franja granulométrica definida en la especificación MDC-2. Estos valores se presentan para las gradaciones inferior, central y superior en cada procedimiento de diseño.

**Tabla 5.** Resultados óptimos obtenidos para Marshall y Ramcode.

PARAMETRO	MI	RI	MC	RC	MS	RS	ESPECIFICACION INVIAS -NT1
% ASFALTO	6.00	6.09	6.63	6.91	6.90	7.20	
Gmb (gr/cm3)	2.196	1.192	2.215	2.211	2.210	2.210	
ESTABILIDAD (kg)	421	446	603	638	604	625	500
FLUJO (mm)	3.70	3.82	3.74	3.92	3.62	3.70	2-4
% Vv	4.00	3.866	4.00	3.898	4.00	3.88	3-5
% VAM	15.78	15.784	15.40	15.819	15.35	15.81	>15
% VAF	75.00	75.507	74.10	75.36	73.70	75.402	65-80

**Fuente:** mí, mc y ms : Metodología Marshall con la gradación Inferior, Central y Superior, ri, rc y rs: Metodología Ramcodes con la gradación Inferior, central y Superior.

El análisis comparativo evidencia que la mayoría de las mezclas cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en el artículo *INV E-457-22* de INVIAS para pavimentos de tránsito bajo (NT1). No obstante, se identificó que las mezclas con gradación inferior (MI y RI) presentan valores de estabilidad inferiores al mínimo normativo de 500 kg, lo que limita su idoneidad estructural.

### **Análisis estadístico**

Los El procesamiento estadístico de los datos indica que los resultados obtenidos a través de ambas metodologías presentan un comportamiento equivalente, lo que demuestra consistencia entre los métodos. La distribución de los valores se ajusta a un patrón normal con baja dispersión, lo cual respalda la confiabilidad y reproducibilidad de los ensayos experimentales.

### **Análisis técnico**

La metodología Ramcodes, fundamentada en los principios del método Marshall, demostró ser eficaz en el diseño de mezclas asfálticas. Los resultados de propiedades volumétricas y mecánicas obtenidos con Ramcodes fueron comparables con los del método Marshall, lo que valida su aplicabilidad. A diferencia de Marshall, que requiere un procedimiento más prolongado, Ramcodes ofrece ventajas en términos de eficiencia, ya que incorpora el polígono de vacíos como herramienta de análisis. Este enfoque reduce los tiempos y costos asociados al proceso sin comprometer la calidad del diseño.

### **Análisis económico**

El empleo de asfaltitas provenientes del municipio de Pesca constituye una alternativa económicamente favorable frente a mezclas convencionales. Este material cumple simultáneamente funciones de agregado granular y ligante, lo que reduce significativamente los costos asociados al suministro de materias primas y al transporte. En consecuencia, el uso de asfaltitas incrementa la viabilidad técnica y económica en proyectos de pavimentación de vías de bajo tránsito.

Caracterización del asfalto, proceso mediante el cual se determinan las propiedades

físicas, químicas del asfalto.

**Tabla 6.** La caracterización del asfalto

MATERIAL	NORMA	ENSAYO	RESULTADO	VALOR DE LA NORMA	DESCRIPCIÓN
ASFALTO	INVE - 706 - 07	Penetración (1/10) mm	78.67	70 -80	Sustancia negra, pegajosa, sólida a semisólida a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad.
	INVE - 723 - 07	Destilación (%)	81	-	
	INVE - 707 - 07		Balk	1.131	
	INV-E- 714/719- 07	Viscosidad SAYBOLT			
		FUROL (SSF)	61.0	60-120 SSF	
	INVE - 712 - 07	Punto de ablandamiento -anillo y bola	59.1 (°C)	30 - 200 °C	

**Fuente:** caracterización del asfalto INVIAS

## Conclusiones

El uso de asfaltitas del municipio de Pesca, Boyacá, en mezclas asfálticas tipo MDC-2 para vías secundarias y terciarias es técnica y económicamente viable. Las metodologías Marshall y Ramcodes permitieron diseñar mezclas que cumplen con las especificaciones del INVÍAS, destacando una combinación óptima de 60% agregados y 40% asfaltita, con un contenido de asfalto del 6.5%.

Las dos metodologías ofrecen respuestas equivalentes en el diseño de mezclas con asfaltita, validando su aplicación técnica.

En general, las mezclas asfálticas obtenidas mediante las metodologías Marshall y Ramcodes, aplicadas en sus distintas franjas granulométricas, cumplen con los parámetros establecidos por el INVÍAS en la norma INV E-457-22. Sin embargo, se evidenció que las mezclas correspondientes a la gradación inferior (MI y RI) presentan valores de estabilidad por debajo de los 500 kg exigidos para vías de tránsito bajo (NT1), lo que limita su aceptación normativa.

El uso de medios digitales y redes sociales académicas amplía el alcance de la investigación, facilitando el acceso de diferentes públicos, desde especialistas hasta tomadores de decisiones y comunidades locales.

## Referencias

- Aguirre, B. S., & Guisa, R. V. (2012). *Evaluación de mezclas MDC-2 con materiales alternativos*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M., & Carpenter, S. H. (2020). Asphalt pavement design: Evolution and advances. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 146(1), 04019010.
- Delgado Alamilla, H., et al. (2006). *Influencia de la granulometría en mezclas asfálticas*. México.
- Enrique, R. A., & López, G. O. (2011). *Control de calidad de la mezcla asfáltica en caliente tipo MDC-1 producida por la planta TRAE LTDA*. Consultores, Pasto, Colombia.
- Fernández, S. R., Lima, J. S., & da Silva, R. V. (2019). Use of alternative binders in asphalt mixtures for rural road pavements. *Construction and Building Materials*, 215, 551–560.
- Garnica, A. P., et al. (2004). *Diseño volumétrico con método Marshall*. México.
- Gómez, Y., & Rodríguez, R. (2011). *Aplicación de Ramcodes en especificaciones colombianas*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- González, C. A., & Sánchez-Leal, F. J. (2021). Comparative analysis of Marshall and Ramcodes methodologies for asphalt mixtures in low-traffic rural roads. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(5), 634–645.

<https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1585734>

- Higuera, S. C. H. (2005). *Determinación de módulos dinámicos de mezclas asfálticas*. Tunja, Colombia.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Vías. (2022). *Artículo 418-13: Mezcla asfáltica en caliente (concreto asfáltico y mezcla de alto módulo)*. INVIAS.
- Instituto Nacional de Vías. (2022). *INV INV E-457-22: Ensayo de materiales para carreteras*. INVIAS.
- Mayorga, P. A., & Obregón, P. R. (1990). *Uso de asfálticas en pavimentos* (Tesis de grado). Universidad Industrial de Santander.
- Rahman, W., Hasan, M. R., & Tarefder, R. A. (2021). Effect of local aggregates and natural asphalt on hot mix asphalt performance for low-volume roads. *Transportation Research Record*, 2675(3), 317–328.
- Rondón, H., Fernández, W., & Castro, W. (2010). *Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD)*. Bogotá, Colombia.
- Sánchez-Leal, F. J. (1998). Metodología racional para el diseño de mezclas asfálticas. En *4tas Jornadas Internacionales del Asfalto*, Cartagena, Colombia.
- Sánchez-Leal, F. J. (2008). *Manual de aplicación RAMCODES*. Solestudios C.A.
- Sánchez-Leal, F. J., et al. (2002). *RAMCODES: Metodología racional para el análisis de*

*densificación y resistencia de geomateriales compactados*. Publicación Técnica 200.

Sanfandila, Querétaro, México.

- Silva, L. A., Souza, F. R., & Barbosa, G. R. (2022). Innovative design methodologies for asphalt mixes: A case study on rural road pavements using natural asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 23(3), 547–563.