

CARACTERIZACIÓN DE LAS ASFALTITAS DE PESCA BOYACÁ - CANTERA SANTA TERESA

Recepción:
Enero 25 de 2012

Aceptado:
Abril 4 de 2012

Carlos Hernando Higuera Sandoval
M.Sc. en Ingeniería de Vías Terrestres
Investigador grupo GRINFRAVIAL
Escuela de Transporte y Vías
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Tunja, Colombia
carlos.higuera@uptc.edu.co

Eliana Carmenza Salamanca Rodríguez
Ingeniera en Transporte y Vías
Investigador grupo GRINFRAVIAL, Escuela de Transporte y Vías
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Tunja, Colombia
ing.elianasalamanca@gmail.com

Cristian Felipe Santos Chaparro
Ingeniero en Transportes y Vías
Investigador grupo GRINFRAVIAL, Escuela de Transporte y Vías
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Tunja, Colombia
ing.cfsantos90@gmail.com

Resumen

El presente artículo de investigación tiene como propósito mostrar la caracterización y diseño de mezclas bituminosas tipo MDC-2-INVIAS 2007 con agregados pétreos y conglomerados de asfáltitas de la mina de Santa Teresa de Pesca - Boyacá, siguiendo las metodologías de diseño MARSHALL MODIFICADO y RAMCODES, la determinación de sus características físicas, y la implementación de la fórmula de trabajo encontrada para la pavimentación de vías con bajo volumen de tránsito, a partir del diseño de mezclas bituminosas que maximicen la calidad y reduzcan los costos de implementación.

Palabras Claves:

Mezclas bituminosas, Marshall, Ramcodes, Módulo dinámico, asfáltita.

Abstract

This article is intended to show the characterization and design of bituminous mixtures MDC-2-type INVIAS 2007 with stone aggregates and asphaltites mine Santa Teresa the Boyacá - Pesca, following the methodologies MODIFIED MARSHALL AND RAMCODES with subsequent determination of its dynamic modulus, and thus implement the formula found working to pave

roads with low traffic volume NT1, from the design of bituminous mixtures that maximize quality and reduce implementation costs.

Key Words:

Asphaltite, Bituminous mix, Marshall, Dynamic modulus, Ramcodes.

Introducción

El presente artículo de investigación muestra el diseño de mezclas bituminosas para las estructuras de pavimento siendo una de las principales necesidades en el sistema carretero, por tal razón el uso de nuevos materiales como lo es la asfáltita, se ha convertido en el medio eficaz para la implementación de una fórmula de trabajo de mezclas bituminosas tipo MDC-2-que cumpla las exigencias requeridas por el Instituto Nacional de Vías-INVIAS 2007- para la pavimentación de vías con bajo volumen de tránsito NT1, sustentado en el uso agregados pétreos y conglomerado de asfáltita de la cantera Santa Teresa de Pesca - Boyacá, mostrando la determinación de la mejor mezcla según las metodologías MARSHALL MODIFICADO y RAMCODES, y además el cálculo del módulo dinámico siendo necesario para establecer su conveniencia a partir del uso de materiales convencionales y no convencionales. Las asfáltitas extraídas de la cantera Santa Teresa del municipio de Pesca en Boyacá, fueron

sometidas a pruebas de laboratorio y desempeño; de los resultados obtenidos en laboratorio y con base en las especificaciones y metodologías MARSHALL y RAMCODES, se concluyó que las mezclas elaboradas con sus respectivas franjas cumplen con las especificaciones, a excepción de las estabilidad de la mezcla inferior - MI, ya que se encuentra por debajo de la especificación de 500 kg de estabilidad para un nivel de tránsito bajo (NT1), la mejor mezcla es la aportada por la franja central obteniendo respuestas óptimas para su diseño y economía.

Desarrollo

Caracterización física de los materiales.

El material de grava utilizado para el diseño de las mezclas asfálticas fue suministrado por la empresa COLCONCRETOS (Ver Figura 1) y la asfáltita (Ver Figura 2) fue suministrada por la cantera Santa Teresa ubicada en el municipio de Pesca (Boyacá) y el asfalto fue suministrado por el consorcio SOLARTE&SOLARTE.



Figura 2. Cantera Santa Teresa - Pesca Boyacá, conglomerado de asfáltita.

Caracterización de los agregados de Colconcreto. En las Tablas 1 y 2, se detallan los resultados de los ensayos realizados al material granular usado las mezclas, los cuales fueron: agregado grueso (grava) y agregado fino (conglomerado asfáltita), estos ensayos se hicieron teniendo en cuenta las normas de ensayo para materiales de carreteras del INVIAS 2007.



Figura 1. Agregado grueso (Grava) utilizado en el diseño de las mezclas

MATERIAL	NORMA	ENSAYO	RESULTADO	VALOR DE LA NORMA		DESCRIPCIÓN
GRAVA	INV E-227-07	Porcentaje de caras fracturadas (2 caras)	100%	60 % min.		La muestra a ensayar presenta una textura rugosa, de color gris y amarillo, de olor orgánico, estas partículas presentan su forma Angulara ya que sus bordes son agudos lo cual presentando pulimento, es totalmente fracturada.
	INV E-230-07	Índice de aplanamiento	27.80%	≤35		
	INV E-230-07	Índice de alargamiento	26.27%	≤35		
	INV E-222-07	Gravidad específica y absorción del agregado grueso (Gsa)	2.65	% ABSORCIÓN	1.69%	
	INV E-223-07	Gravidad específica y absorción del agregado grueso (Gsb)	2.53	% ABSORCIÓN	1.69%	
	INV E-223-07	Gravidad específica y absorción del agregado grueso (Gbsa)	2.58	% ABSORCIÓN	1.69%	
	INV E-218-07	Resistencia al desgaste de los agregados Magama de los Angeles	21.43%	30%		
	INV E-125-07	Límite líquido	16.43%	≤40%		
	INV E-126-07	Límite plástico	13.51%			
	INV E-125-07	Índice plástico	2.92%	4% a 9%		
INV E - 220 - 07	Sanidad de los agregados frente a la acción	8%	≤12			

Tabla 1. Caracterización de la Grava (COLCONCRETOS)



MATERIAL	NORMA	ENSAYO	RESULTADO	VALOR DE LA NORMA	DESCRIPCIÓN
ASFÁLTITA	INV E-133-07	Equivale de arena de nucleos 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 hecho. El porcentaje de equivalente de arena indica que la arena se encuentra limpia, porque la cantidad no relativamente de arcilla o contaminantes es baja. Los requisitos del agregado cumplen con NT1, NT2, NT3, para bases granulares.
	INV E-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino (Gsb)	2.44	% ABSORCIÓN 3.65%	
	INV E-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino (Gbs-ss)	2.53	% ABSORCIÓN 3.65%	
	INV E-222-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino (Gsa)	2.69	% ABSORCIÓN 3.65%	
	INV E-707-07	Gravedad específica y absorción del agregado fino (G0) - LIXIVIADO	1.09	N.A	
	INV E-732-07	EXTRACCIÓN CUALITATIVA DE ASFALTO (%)	4.10%	N.A	
	INV E-125-07	Límite líquido	17.18%	≤40	
	INV E-126-07	Límite plástico	N.P	4 a 9	
	INV E-706-07	Penetración (1/10) mm	224.78	200 - 250	
	INV E-723-07	Destilación	N.P	N.A	
INV E-709-07	Punto de ignición y llama mediante la copa abierta de Cleveland °C	93	≥200°C		

Tabla 2. Caracterización del conglomerado - Asfáltita (Cantera Santa Teresa)

Análisis granulométrico

Teniendo en cuenta la especificación establecida para un mezcla MDC-2 y a la gradación del agregado grueso (grava), se determinó que el coeficiente de uniformidad ($C_u = 1.5$), el cual no se encuentra en el rango admisible de aceptación ($C_u > 4$), y a su vez, el coeficiente de concavidad ($C_c = 1.77$) aceptable como criterio para las gravas ($1 - 3$), por esta razón, el material es considerado mal gradado pues no cumple con los dos criterios establecidos para la uniformidad de tamaños. (Delgado, 2006)

Para el agregado fino (Asfáltita) se obtuvo el coeficiente de uniformidad $C_u = 3.1$ y el de concavidad, $C_c = 0.02$, no siendo admisibles en los criterios exigidos para el agregado fino ($C_u > 6$ y $C_c = 1 a 3$), por lo tanto, se considera como material mal gradado ya que no cumplen con lo establecido anteriormente.

La Figura 3 muestra la franja granulométrica de la mezcla tipo INVIAS MDC-2 y las gradaciones superior, central e inferior utilizadas para el diseño de las mezclas asfálticas.

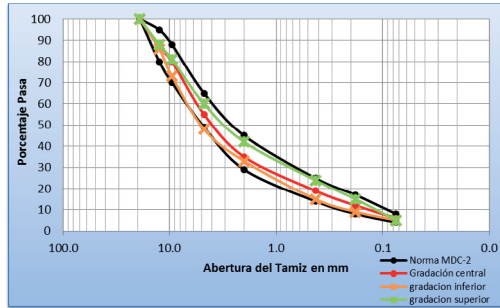


Figura 3. Franjas Granulométricas de las tres mezclas, Central, Inferior y Superior

Análisis del asfalto

El asfalto empleado en el proyecto proviene de la planta SOLARTE & SOLARTE. En la Tabla 3 se referencian los resultados obtenidos del asfalto teniendo en cuenta los ensayos exigidos para un material bituminoso por las especificaciones de construcción de carreteras del INVIAS 2007.

MATERIAL	NORMA	ENSAYO	RESULTADO	VALOR DE LA NORMA	DESCRIPCIÓN
ASFALTO	INV E-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
	INV E-723-07	Destilación (%)	81	-	
	INV E-707-07	Gbulk	1.131	N.A	
	INV E-714/719-07	Viscosidad SAYBOLT FURCOL (SSF)	61	60-120 SSF	
	INV E-712-07	Punto de ablandamiento-amilo y bola (°C)	59.1	30- 200 °C	

Tabla 3. Caracterización del asfalto

Análisis químico de la asfáltita

En las tablas 4 y 5 se muestra el análisis químico realizado a la asfáltita de la cantera Santa Teresa del Municipio de Pesca-Boyacá.

MUESTRA SANTA TERESA			
ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Contenido de cenizas	ASTM D3174	Porcentaje	92.53
Contenido de humedad	ASTM D3173	Porcentaje	0.42
Contenido de materia volátil	ASTM D3175	Porcentaje	7.05

Tabla 4. Análisis químico de la asfáltita granulada

MUESTRA LIQUIDA ASFÁLTICA			
ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Contenido de cenizas	ASTM D3174	Porcentaje	0.52
Contenido de humedad	ASTM D3173	Porcentaje	2.22
Contenido de materia volátil	ASTM D3175	Porcentaje	97.26

Tabla 5. Análisis químico de la asfáltita líquida

Comparación de metodologías en la caracterización y diseño de una mezcla densa en caliente con asfáltitas

Al utilizar como base la metodología RAMCODES que relaciona parámetros y fórmulas extraídas del diseño MARSHALL, los resultados de cada metodología fueron semejantes con relación a las propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla.

Cuando relacionamos la metodología RAMCODES y el método de diseño MARSHALL para el diseño de mezclas asfálticas en caliente MDC-2 establece por medio de gráficas, donde relaciona (%Vv y %Pb), determina la cantidad necesaria y suficiente de asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, (Sánchez, 2004) bajo una compactación adecuada, sin permitir controlar todos los parámetros importantes de la mezcla.

RAMCODES utiliza el análisis de densificación y resistencia de los materiales compactados y se fundamenta en análisis estadístico para poder desarrollar, analizar, experimentar y diseñar, de la misma manera que para realizar control de calidad donde se ejerce supervisión sobre los niveles de error que explican las variables más influyentes (Gmb y %Pb) en el comportamiento de la mezcla asfáltica.

En los resultados y análisis obtenidos con RAMCODES (polígono de vacíos) y teniendo en cuenta que MARSHALL presenta un área muy pequeña en la cual la fórmula de trabajo hallada presenta mínimas fluctuaciones, cumpliendo con lo establecido en las especificaciones,

se puede ver que el diseño RAMCODES por medio del análisis de densidades y teniendo en cuenta los parámetros base (Gse, Gsb y Gb) presentó un rango mucho más extenso donde las posibilidades de cumplir las especificaciones aumentan. (Aguirre y Guisa, 2012)

Es por eso que el diseño de las mezclas con asfáltita por medio de la metodología MARSHALL y RAMCODES tienen similares respuestas, basados en los resultados obtenidos mediante cada uno de sus procedimientos y estadísticamente, en donde se evidencia una dispersión muy baja. (Sánchez, 2008). El polígono de vacíos de un material se determina mediante los siguientes parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica según especificaciones:

- Estimación del contenido de vacíos de aire (%Va) en la mezcla
- Estimación del contenido de vacíos en el agregado mineral (%VAM)
- Estimación del contenido de vacíos llenos de asfalto (%VFA)
- Relación polvo / asfalto efectivo.
- Estimación del contenido efectivo de asfalto de la mezcla.

Teniendo en cuenta lo anterior y los criterios establecidos en el proyecto se determinan las curvas que simbolizan los vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral y vacíos llenos con asfalto en el espacio de contenido de asfalto vs la densidad bulk y de esta forma obtener el polígono de vacíos para la mezcla óptima. Las expresiones matemáticas para las curvas de vacíos de la mezcla son las siguientes:

Para siguiente ejemplo se tomaron los datos correspondientes al diseño MARSHALL para la franja central (MC) para este caso los datos son las siguientes: (Aguirre y Guisa, 2012)

- %Va: 4.0%
- %VFA: 74.1%
- %VAM: 15.40%
- Gb = 1.120
- Gsb = 2.445
- Gse = 2.496

En las tablas del 6 al 9 se indican los cálculos para determinar el polígono de vacíos de la metodología Ramcodes y la Figura 4 muestra el polígono de vacíos.

$$G_{mm} = \frac{100}{\left[\frac{\%P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b} \right]} \quad (1)$$

%Pb	Gmm
5	2.177
5.5	2.206
6	2.22
6.5	2.215
7	2.214

Tabla 6. Resultados del Gmm para los porcentajes de asfalto correspondientes

$$G_{mb} = \left(1 - \frac{V_a}{100} \right) * (G_{mm}) \quad (2)$$

ESTIMACIÓN DE LAS LINEAS DE VACÍOS DE AIRE			
%Pb	VA% = 3	VA% = 5	VA% = 0
5	2.281	2.234	2.352
5.5	2.268	2.221	2.338
6	2.255	2.208	2.325
6.5	2.242	2.196	2.311
7	2.229	2.183	2.298

Tabla 7. Valores de Gmb para vacíos de aire de 0%, 3% y 5%, para diferentes contenidos de asfalto (MC)

$$G_{mb} = \left(\frac{100 - VAM}{100 - P_b} \right) * (G_{sb}) \quad (3)$$

ESTIMACIÓN DE LÍNEAS DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL		
%Pb	VAM% = 15	VAM% = 17
5	2.188	2.136
5.5	2.199	2.147
6	2.211	2.159
6.5	2.223	2.17
7	2.235	2.182

Tabla 8. Valores de Gmb para vacíos en el agregado mineral de 15% y 17%, para diferentes contenidos de asfalto - (MC)

$$G_{mb} = \left(\frac{VFA}{\frac{P_b}{G_b} + \frac{(1-P_b)}{G_{se}} - (1-VFA) * \frac{(1-P_b)}{G_{sb}}} \right) \quad (4)$$

ESTIMACIÓN DE LÍNEAS DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO		
% Pb	VAF% = 65	VAF% = 80
5	2.247	2.302
5.5	2.223	2.283
6	2.199	2.264
6.5	2.175	2.246
7	2.153	2.228

Tabla 9. Valores de Gmb para vacíos llenados con asfalto de 65% y 80%, para diferentes contenidos de asfalto - (MC)

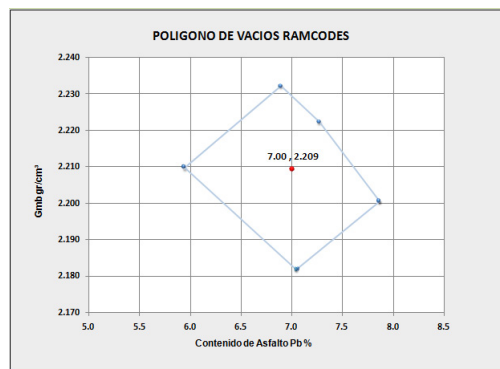


Figura 4. Representación del polígono de vacíos RAMCODES

La construcción del polígono de vacíos permite el control óptimo de los ensayos, ya que proporciona la adecuada fórmula de trabajo que satisfagan los criterios establecidos en las respectivas especificaciones. El rango óptimo de asfalto se determina según la variación del mismo en las mezclas y no se realizan comprobaciones con un valor fijo, el cual, generalmente, cambia de acuerdo con las variaciones que presenta la granulometría en la dosificación de cada material. (Sánchez, 2004)

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos de las mezclas diseñadas mediante las dos metodologías estudiadas se presentan en la Tabla 10, clasificados por tipo de mezcla según la ubicación en la franja granulométrica especificada MDC-2.

PARAMETRO	MI	RI	MC	RC	MS	RS
% ASFALTO	6	6.09	6.63	6.91	6.9	7.2
Gmb (gr/cm³)	2.196	2.198	2.215	2.211	2.215	2.21
ESTABILIDAD (Kg)	421	446	603	638	604	625
FLUJO (mm)	3.7	3.82	3.74	3.92	3.62	3.7
%Vv	4	3.866	4	3.898	4	3.88
%VAM	15.78	15.784	15.4	15.819	15.35	15.81
%VAF	75	75.507	74.1	75.36	73.7	75.402

Tabla 10. Resultados óptimos obtenidos para Marshall y Ramcodes

Según los resultados obtenidos en laboratorio y con base las especificaciones y metodologías MARSHALL y RAMCODES, se concluyó que las mezclas elaboradas con sus respectivas franjas cumplen con las especificaciones, a excepción de la estabilidad de MI ya que se encuentra por debajo de la especificación que es 500 kg

CARACTERÍSTICA	MDC-2 FRANJA CENTRAL		
	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS	% ACEPTACIÓN
NT-1			
Compacción (golpes/cara)	50	50	OK
Estabilidad mínima (Kg)	500	603	OK
Flujo (mm)	2-4	3.74	OK
Vacios con aire (%Vv)	3-5	4	OK
Vacios en los agregados minerales (%VAM)	≥ 15	15.4	OK
Vacios llenos de asfalto (VFA)	65-80	74.1	OK

Tabla 11. Comparación de los resultados con las especificaciones INV-C-450-07. (Franja central).

(Ver Tabla 11) para un nivel de tránsito bajo (NT1), aunque se debe tener en cuenta que la mayoría de parámetros cumplen e incluso para un nivel de tránsito medio (NT2). Además, las propiedades volumétricas de las mezclas responden a las exigidas por el INVÍAS (INV-C-450-07).

Comparación técnica y económica de las metodologías evaluadas

Análisis técnico: Teniendo como base la metodología RAMCODES que relaciona parámetros y fórmulas extraídas del diseño MARSHALL, se espera que los resultados obtenidos sean aproximados y/o iguales, esto fue demostrado con los resultados logrados en el laboratorio, donde los resultados de cada metodología fueron semejantes con relación a las propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla.

RAMCODES se fundamenta en análisis estadístico para llevar a cabo y analizar experimentos para el diseño, y para realizar un control de calidad donde se tiene control sobre los niveles de error que explican las variables más influyentes (Gmb y %Pb) en el comportamiento de la mezcla asfáltica.

En los resultados y análisis obtenidos con RAMCODES (polígono de vacíos) y teniendo en cuenta que MARSHALL presenta un área muy pequeña en la cual la fórmula de trabajo hallada presenta mínimas fluctuaciones cumpliendo con lo establecido en las especificaciones, se puede ver que el diseño RAMCODES por medio del análisis de densidades y teniendo en cuenta los parámetros base (Gse, Gsb y Gb) presenta un rango mucho más extenso donde las posibilidades de cumplir las especificaciones aumentan. (Aguirre y Guisa, 2012).

En cuanto al proceso constructivo de cada diseño, MARSHALL es más extenso a diferencia de RAMCODES, con tan solo tres (3) briquetas, en comparación a las 15 briquetas desarrolladas para MARSHALL, esto garantiza una mejor calidad en los resultados. Además la metodología RAMCODES con su polígono de vacíos ahorra tiempo, dinero y recursos necesarios para el óptimo desarrollo del proyecto.

Comparación económica. La inversión en

recursos económicos en el desarrollo de cada una de las metodologías tienen una diferencia bastante amplia, ya que en los diseños MARSHALL con asfáltita, debido a tiempo en ejecución y número de briquetas del ensayo oscilan en un precio de \$ 302.559, en comparación con la metodología RAMCODES el cual se obtiene el diseño con tan solo \$ 60.511, las tres (3) briquetas necesarias, de donde se establece, que hacer una briketa RAMCODES, equivale a hacer tres (3) de ellas por Marshall; esto hace que la eficiencia tanto en costo como en productividad se vea reflejada consecuentemente en dicha metodología.

Análisis de los módulos dinámicos de la mezcla. El módulo dinámico de la mezcla asfáltica fue calculado por medio de las correlaciones de la AASHTO-93, Bonnaure y Otros, Heukelom y Klomp y la Shell-Bands-2.0 y su valor representativo es de 20737 Kg/cm². (Chavarro, 2002).

Conclusiones

Según las metodologías empleadas MARSHALL y RAMCODES, se puede concluir que las mezclas bituminosas diseñadas con asfáltita, para el límite central de las especificaciones, van a presentar un mejor desempeño a lo largo de su vida útil debido a que tiene una relación más cercana a las especificaciones de construcción de carreteras del INVIAS 2007 exigidas para un nivel de tránsito 1.

Con respecto al flujo para el porcentaje óptimo de bitumen encontrado en la franja central diseñada con asfáltita, fue de 3.74 mm y 3.92 mm respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango exigido por la especificación (2 mm – 4 mm), esto nos indica, que en el momento en que la vía presente elevados niveles de tránsito, tráfico pesado y/o lento, y altas temperaturas de servicio el pavimento presentará un posible ahuellamiento.

En cuanto a la fórmula de trabajo se tiene que los porcentajes para la franja central la mezcla tiene las siguientes proporciones: grava el 61% y conglomerado de asfáltita el 39%, el porcentaje óptimo de asfalto de 6.5%, la gravedad bulk -Gmb de 2.215 gr/cm³, la estabilidad de 603 Kg, el flujo de 3.74 mm.

Con el uso del método de AASHTO-98 se determinó el módulo dinámico correspondiente a la mezcla asfáltica, se calculó el coeficiente estructural de la misma ($a_1 = 0.36/\text{pulg}$), la cual está sujeta a la estabilidad MARSHALL de la mezcla óptima, siendo este resultado obtenido favorable en lo que se refiere a la resistencia de las cargas solicitantes. El módulo dinámico de la mezcla (asfalto-asfáltita) se encuentra alrededor de 20737 Kg/cm².

RAMCODES es una metodología de gran utilidad para el diseño, producción y control de calidad, además del ahorro en tiempo y dinero gracias al proceso constructivo que se tiene de mezclas asfálticas ya que garantiza el cumplimiento de los parámetros volumétricos exigidos en las especificaciones de construcción, a través del "polígono de vacíos".

Con relación a la utilización de la asfáltita de la cantera Santa Teresa, Pesca-Boyacá como agregado fino y a la vez como bitumen en la elaboración de mezclas asfálticas, se observa que es aceptable su uso, basado en el cumplimiento de especificaciones INVIAS, además de su respuesta económica óptima ante las mezclas asfálticas convencionales.

Referencias Bibliográficas

AGUIRRE, B., Siervo, A., GÜISA, V., Rubén D. (2012) Tesis. Evaluación del comportamiento de mezclas bituminosas MDC-2 con agregados pétreos, escoria granulada, alquitrán y cemento portland. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Transporte y Vías. Tunja. 76 – 90.

CHAVARRO B., Eugenio. (2002) Determinación de módulos dinámicos. Conferencias Universidad del Cauca. 5-10.

DELGADO A., Horacio, (2006) Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. Metodología RAMCODES en las mezclas asfálticas. Publicación Técnica 299 ed. Sanfandila, Querétaro, México. 5-16.

GONZÁLEZ H., David, (2004) Tecnología en caliente de asfaltos naturales, para pavimentación

en vías de primer orden. 1-2.

MAYORGA P., Alfonso y OBREGON P., Raúl. (1990). Utilización de asfáltitas en pavimentos. Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander-UIS, Bucaramanga. 15-23

PÉREZ B., Gonzalo. (2008) Materiales para ingeniería. Apuntes de clase. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Escuela de Transporte y Vías, 10-16.

REMATOSO LL., Claudia P. y VILLABONA R., Hugo E. (1979). Estudio para el mejoramiento de capas de pavimentos con asfalto natural de Pesca, Boyacá. Bucaramanga, Trabajo de grado Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Civil. 5-20.

SÁNCHEZ L., Freddy J, (2002) RAMCODES: Metodología racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Descripción de la metodología y campo de aplicación. Publicación Técnica 200 ed. Sanfandila, Querétaro, México. 3-8.

SÁNCHEZ L., Freddy J. (2008). Manual de aplicación RAMCODES. Venezuela: Solestudios C.A. 3-4.

SÁNCHEZ L., Freddy. J. (2004). Metodología racional para el diseño de mezclas asfálticas. Cartagena: Cuartas Jornadas Internacionales del Asfalto. 13-16.

