

Versión	01
Fecha	18/05/2021



INFORME DE LABORATORIO

DISEÑO MARSHALL

NORMA INVIAS 2013

MEZCLA TIPO MDC-19 NT3

**MEZFACOL &
ROKAVÍA**



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Versión:	Descripción del cambio:	
01	Emisión inicial	
Elaboró: Carlos Alberto Reyes Suarez	Revisó: Ing. MSc. Yeffer Reyes	Aprobó: Ing. MSc. Yeffer Reyes
Cargo: Asistente de Ingeniería	Cargo: Director Técnico	Cargo: Director Técnico
Fecha: 23/05/2021	Fecha: 24/05/2021	Fecha: 24/05/2021
Firma: 	Firma: 	Firma: 



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Contenido

1. OBJETIVO	¡Error! Marcador no definido.
2. ALCANCE	¡Error! Marcador no definido.
3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	¡Error! Marcador no definido.
4. MATERIALES UTILIZADOS.....	5
4.1. Materiales granulares.....	5
5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	5
5.1. Materiales granulares.....	5
5.2. Características de la mezcla de agregados.....	10
5.3. Cemento asfáltico	12
5.4. Determinación de las temperaturas de mezcla de compactación	12
6. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	14
6.1. Preparación de muestras y ensayos	14
6.2. Densidad de las briquetas.....	15
6.3. Ensayo de estabilidad y flujo	16
6.4. Análisis volumétrico de la mezcla asfáltica compactada en caliente.	18
6.5. Gravedad específica máxima teórica (GMM) de mezclas asfálticas para pavimentos.	18
6.6. Relación llenante ligante efectivo	20
6.7. Espesor de la película de asfalto.....	20
6.8. Resistencia conservada a la tracción indirecta.....	21
7. CURVAS DE DISEÑO.....	21
8. FÓRMULA DE TRABAJO	25
9. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	27
10. ANEXOS.....	28



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Gradaciones Individuales.....	5
Tabla 2: Gradaciones Especificación y fórmula de trabajo	6
Tabla 3: Parámetros y rangos de aceptación Bailey	8
Tabla 4: Porcentajes que pasan tamices de control	8
Tabla 5: Cálculo de parámetros Bailey	9
Tabla 6: Propiedades fisicomecánicas de agregados.....	10
Tabla 7: Características del asfalto.....	12
Tabla 8: Determinación de temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio y parámetros A y VTS del asfalto 60-70	12
Tabla 9: Requisitos de diseño de la mezcla MDC-19	14
Tabla 10: Densidad de las briquetas	15
Tabla 11: Estabilidad y Flujo.	17
Tabla 12: Resultado del ensayo Rice	18
Tabla 13: Espesor de la película de asfalto de la mezcla MDC-19	21
Tabla 14: Resultados Marshall	22
Tabla 15: Rango cumplimiento especificación.....	25
Tabla 16: Gradación de diseño	26
Tabla 17: Fórmula de trabajo	27

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Gráfico 1: Curva granulométrica y franja interna.....	6
Gráfico 2: Curva Reológica.....	13
Gráfico 3: Curva gravedad específica Máxima teórica (Gmm)	19
Gráfico 4: Gráficos Marshall	22



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



1. MATERIALES UTILIZADOS

1.1. Materiales granulares

Los materiales utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica son los siguientes:

M1. Grava color gris (Moniquirá)

M2. Finos color gris (Moniquirá)

M3. Finos color amarillo (El Triángulo)

M4. Arena lavada (El Moral)

Los materiales pétreos son combinados con el objetivo de cumplir los requerimientos granulométricos de la mezcla MDC-19, de acuerdo con el artículo 450-13 de INVIAS.

Material bituminoso: Cemento asfáltico de penetración 60-70 suministrado por el proveedor ECOPETROL Barrancabermeja.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.1. Materiales granulares

Se presentan los resultados de ensayo de granulometría por tamizado de los 4 materiales en forma individual.

Con los resultados granulométricos de cada material se realizó la dosificación correspondiente, con el fin de obtener una gradación combinada que cumpla con la especificación para mezcla asfáltica INVIAS tipo MDC-19 (ver tabla 1 y 2, grafico N°1), obteniendo como resultado la siguiente dosificación:

Tabla 1: Gradaciones Individuales

Material		Grava color gris (Moniquirá)	Finos color gris (Moniquirá)	finos color amarillo (El Triángulo)	Arena lavada (El Moral)	Combinación
%		45%	25%	17%	13%	MEZCLA
Tamiz No.						
3/4"	19	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.5	85.0	100.0	100.0	100.0	93.3
3/8"	9.5	54.0	100.0	100.0	100.0	79.3



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021

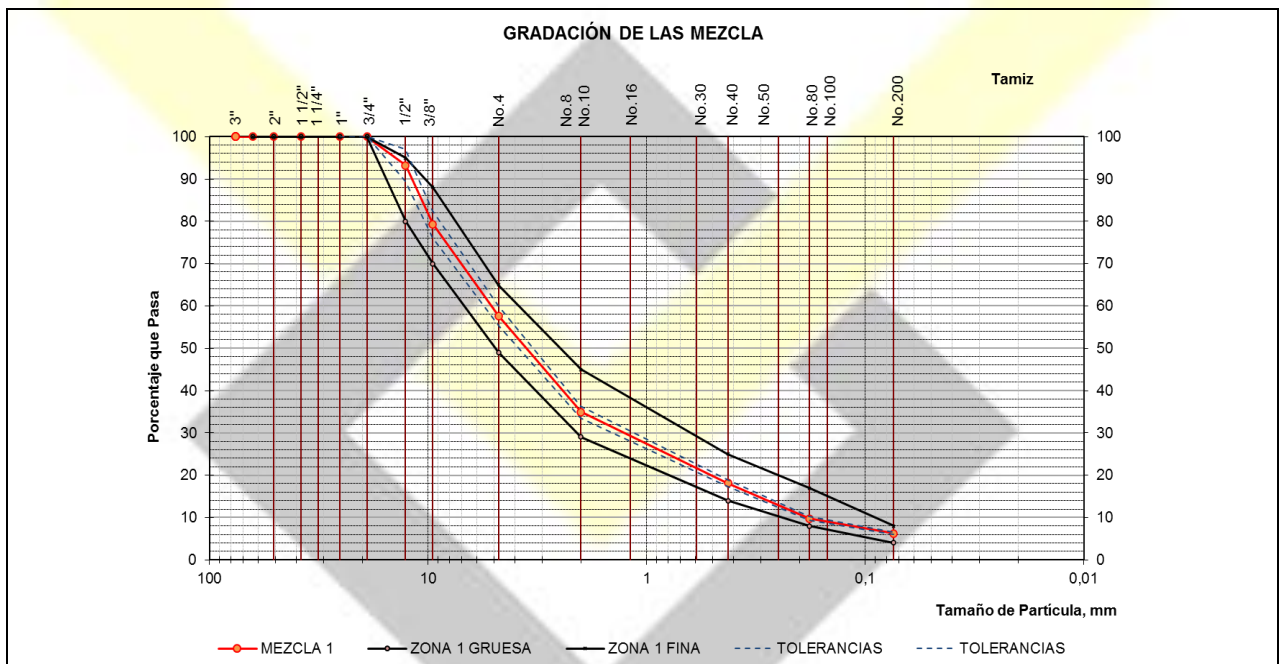


No. 4	4.75	13.0	94.0	92.0	99.0	57.9
No. 10	2.00	4.0	44.0	62.0	97.0	36.0
No. 40	0.425	2.0	12.0	42.0	58.0	18.6
No. 80	0.180	2.0	8.0	29.0	11.0	9.3
No. 200	0.075	1.3	5.8	17.8	6.5	5.9

Tabla 2: Gradaciones Especificación y fórmula de trabajo

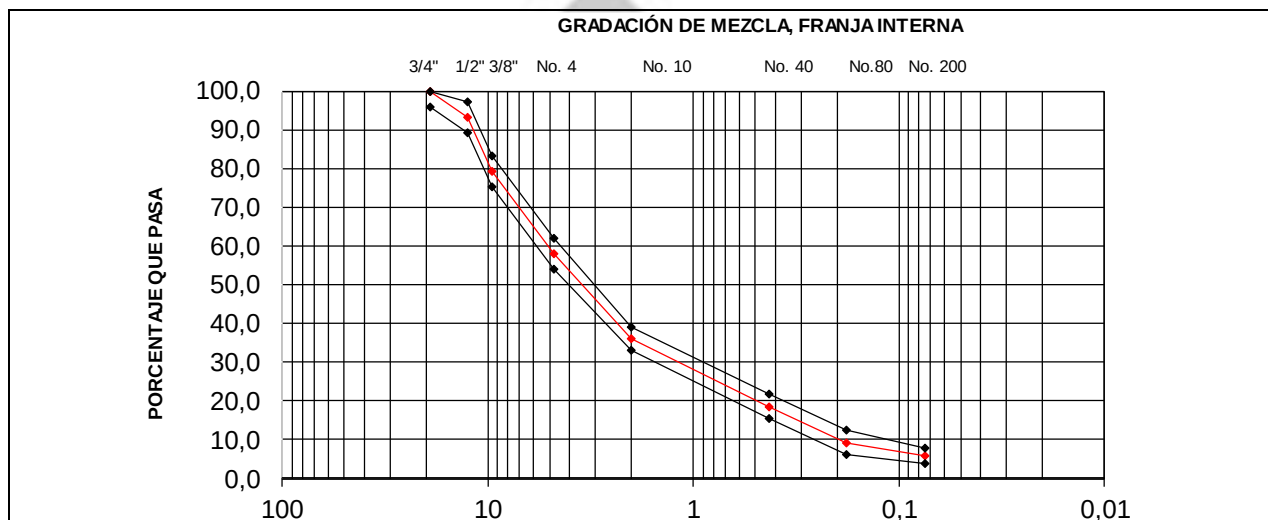
TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / US. Standard)							
		19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.180	0.075
		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		Porcentajes que pasa (%)							
DENSA	MDC-19	100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
COMBINACIÓN		100.0	93.3	79.3	57.9	36	18.6	9.3	5.9
FRANJA INTERNA		96-100	89.3-97.3	75.3-83.3	53.9-61.9	33-39	15.6-21.6	6.3-12.3	3.9-7.9

Gráfico 1: Curva granulométrica y franja interna



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



El análisis de empaquetamiento de los agregados se realizó de acuerdo con el método Bailey, con base en el documento “Bailey Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design – Transportation Research Board- Circular EC-404 de octubre de 2002”.

NMPS: Tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla de diseño, corresponde al tamiz superior al tamiz más cercano que retiene el 10% de los agregados, para el caso de la MDC-19 el NMPS corresponde al tamiz de 1/2" de abertura 12.5 mm

PCS: Tamiz primario de control, igual a NMPS x K, el valor de K tiene un valor promedio de 0.22, pero puede variar entre 0.18 para partículas redondeadas a 0.28 de partículas fracturadas, para el caso el PCS corresponde un tamaño de abertura 2.79 mm.

HS: Tamiz medio, igual a NMPS x 0.50, para el NMPS de 12.5 mm el tamiz HS es de tamaño de abertura de 6.35 mm.

SCS: Tamiz secundario de control, SCS es de abertura 0.61 mm.

TCS: Tamiz terciario de control el TCS es de abertura 0.135 mm

CA Ratio: evalúa el empaquetamiento de los agregados gruesos en la mezcla, se calcula mediante la expresión:

$$CA_{Ratio} = \frac{\%Pasa\ HS - \%Pasa\ PCS}{100 - \%Pasa\ HS}$$



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



FA_c: Porción gruesa en el agregado fino, representa la porción gruesa del agregado fino que llena los vacíos dejados por el agregado grueso, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$FA_c = \frac{\% \text{ Pasa SCS}}{\% \text{ Pasa PCS}}$$

FA_f: Porción fina en el agregado fino, representa la porción gruesa del agregado fino que es llena por la fracción fina del mismo, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$FA_f = \frac{\% \text{ Pasa TCS}}{\% \text{ Pasa SCS}}$$

De acuerdo con NMPS se determinan los rangos de aceptación para cada uno de estos parámetros se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros y rangos de aceptación Bailey

Tamices de control Bailey						
	NMPS (mm)					
	37.5	25	19	12.7	9.5	4.75
HS	18.75	12.5	9.5	6.35	4.75	2.38
PCS	8.25	5.5	4.18	2.79	2.09	1.045
SCS	1.815	1.21	0.92	0.61	0.46	0.22
TCS	0.4	0.26	0.20	0.135	0.10	0.05

Tabla 4: Porcentajes que pasan tamices de control

Tamices de control		TAMIZ	% QUE PASA
NMPS	Tamaño máximo nominal	12.7	93%
TM	Tamiz medio	6.35	64%
PCS	Tamiz de control primario	2.79	42%
SCS	Tamiz de control secundario	0.61	22%



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



TCS	Tamiz de control terciario	0.135	8%
------------	----------------------------	-------	----

Tabla 5: Cálculo de parámetros Bailey

ANÁLISIS DE LA MEZCLA DE DISEÑO				RANGO DE CONTROL		CUMPLE
CA ratio	Relación de agregado grueso	$\frac{\% \text{ Pasa TM} - \% \text{ Pasa TCP}}{100 - \% \text{ Pasa TM}} = 0,6111$		0,50	0,65	SI
Fac	Relación de agregado fino	$\frac{\% \text{ Pasa TCS}}{\% \text{ Pasa TCP}} = 0,5238$		0,35	0,5	SI
Faf	Relación gruesa de agregado fino	$\frac{\% \text{ Pasa TCT}}{\% \text{ Pasa TCS}} = 0,3636$		0,35	0,5	SI
TM= Tamiz medio TCP= Tamiz de control primario TCT= Tamiz de control terciario TCS= Tamiz de control secundario						

De acuerdo con la circular EC-044, el parámetro Faf tiene un efecto en las propiedades volumétricas de la mezcla, y está relacionado con las cantidades porcentuales que pasan en el tamiz de control terciario (TCT) y el tamiz de control secundario (TCS). El parámetro CA Ratio está asociado a la segregación potencial: valores cercanos a 1,0 representan mezclas menos propensas a este fenómeno siendo preferible que se encuentren en el intervalo recomendado ya que presentan una cantidad de agregados de tamaño intermedio o receptores apropiados lo cual permite obtener mezclas menos propensas al ahuellamiento. No obstante, los parámetros antes mencionados se encuentran por fuera de los intervalos recomendados, se comprueba más adelante en el diseño volumétrico de la mezcla el cumplimiento adecuado de los Va y VAM de acuerdo con los requerimientos del Artículo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013 para una mezcla de rodadura.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



2.2. Características de la mezcla de agregados

Tabla 6: Propiedades fisicomecánicas de agregados

ENSAYO	NORMA INV	RESULTADO	VALOR ESPECIFICADO
Gravedades específicas			
Agregado grueso			
Gravedad específica bulk Gsb	E-223	2.76	Reportar
Gravedad especifica saturada Gss		2.74	Reportar
Gravedad especifica aparente Gsa		2.72	Reportar
Absorción		0.5	Reportar
Agregados finos de trituración			
Gravedad específica bulk Gsb	E-222	2.69	Reportar
Gravedad especifica saturada Gss		2.65	Reportar
Gravedad especifica aparente Gsa		2.63	Reportar
Absorción (%)		0.9	Reportar
Agregados finos de trituración el triangulo			
Gravedad específica bulk Gsb		2.57	Reportar
Gravedad especifica saturada Gss		2.45	Reportar
Gravedad especifica aparente Gsa		2.38	Reportar
Absorción (%)		3.1	Reportar
Agregados Arena			
Gravedad específica bulk Gsb		2.62	Reportar
Gravedad especifica saturada Gss		2.54	Reportar
Gravedad especifica aparente Gsa		2.50	Reportar
Absorción (%)		1.9	Reportar
Ensayos a la fracción gruesa			
Caras fracturadas	INV E 227-13	100 Ensayo partículas	85%

- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com



Versión	01
Fecha	18/05/2021



		fracturadas (Anexo A)	
Desgaste en la máquina de los ángeles	INV E 218-13	22.8 Ensayo desgaste en la máquina de los ángeles (Anexo A)	25%
Desgaste Micro Deval	INV E 238-13	18 Ensayo desgaste microdeval (Anexo A)	20%
10% de finos	INV E 224-13	82 Ensayo resistencia método 10% finos (Anexo A)	75
Solidez en sulfato de magnesio	INV E 240-13	0.48 Ensayo solidez de los agregados (Anexo A)	18%
Equivalente de arena	INV E 133-13	78 ensayo equivalente de arena (Anexo A)	50%
Valor de azul de metileno		No aplica	NA
Límite líquido e índice de plasticidad	INV E 125-13	NL, NP Ensayo índice de plasticidad (Anexo A)	NP
Angularidad del agregado fino	INV E 239-13	45.44 Ensayo angularidad de la fracción fina (Anexo A)	45%
Proporción de arena natural en % en peso total de los agregados	NA	13%	15%



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



2.3. Cemento asfáltico

En la tabla a continuación se resumen los resultados de los ensayos del registro entregado por ECOPETROL.

Tabla 7: Características del asfalto.

ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
VISCOSIDAD A 80 °C	15-04-2021 19:33	19050	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 135 °C	15-04-2021 19:33	331.3	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 150 °C	15-04-2021 19:33	165	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 60 °C	15-04-2021 19:09	189000	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 100 °C	15-04-2021 19:09	2808	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
DUCTILIDAD (25°C, 5cm/min)	15-04-2021 19:33	140	cm	100 Mínimo	ASTM D 113 DUCTILIDAD ASFALTOS
GRAVEDAD API/DENSIDAD A 15 °C					
GRAVEDAD API	15-04-2021 16:54	6.4	Grados API	REPORTAR	ASTM D 4052-16a DENSIDAD DIGITAL
DENSIDAD A 15 °C	15-04-2021 16:54	1025.5	kg/m ³	REPORTAR	ASTM D 4052-16a DENSIDAD DIGITAL
PENETRACION A 25 °C, 100g, 5s	15-04-2021 19:09	66	mm/10	60 Mínimo - 70 Máximo	ASTM D 5 INDICE DE PENETRACION CALCULADO
INDICE DE PENETRACION	15-04-2021 19:09	-1.4	N/A	REPORTAR	ASTM D 5 INDICE DE PENETRACION CALCULADO
PERDIDA DE MASA	15-04-2021 19:30	0.315	g/100g	1.0 Máximo	ASTM U 2872 PERDIDA DE MASA
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	15-04-2021 19:09	46.7	°C	45 Mínimo - 55 Máximo	ASTM D 36 PUNTO ABLANDAMIENTO
PUNTO DE INFLAMACION	15-04-2021 16:54	282	°C	232 Mínimo	ASTM D 92-16b PUNTO INFLAM COPA ABIER CLEV
VISTO BUENO TANQUES					
VoBo	15-04-2021 19:33	SI	No Aplica	REPORTAR	VISTO BUENO
COMENTARIO	15-04-2021 19:33	NINGUNO	No Aplica	REPORTAR	VISTO BUENO

Tabla 7. Fuente: Certificado de calidad de asfalto de ECOPETROL.

2.4. Determinación de las temperaturas de mezcla de compactación

De acuerdo con la curva Reológica se obtiene las temperaturas de mezcla y compactación:

Tabla 8: Determinación de temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio y parámetros A y VTS del asfalto 60-70

T °C	Viscosidad P	Viscosidad cP	T ° R	Log T Rankine	Log Viscosidad	Log Log Viscosidad
60	189x10 ⁵	189000	59.33	1.78	5.28	0.722
80	1905x10 ⁴	19050	79.09	1.90	4.28	0.63
100	2808x10 ³	2808	98.8	2	3.44	0.54
135	3313x10 ²	331.3	133.38	2.13	2.52	0.40
150	165000	165	148.2	2.17	2.22	0.35



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Nota: se anexa certificado de calidad (Gerencia refinería Barrancabermeja departamento de materias primas y productos).



GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA
DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

Página 1 de 1

CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO: ASFALTO 60/70

NÚMERO DE MUESTRA: 2104150309

FECHA DE VOBO: 15/04/2021 14:44

ALMACENAMIENTO: K0205

CLIENTE: Depto. Materias Primas y Productos

VOBO: SI

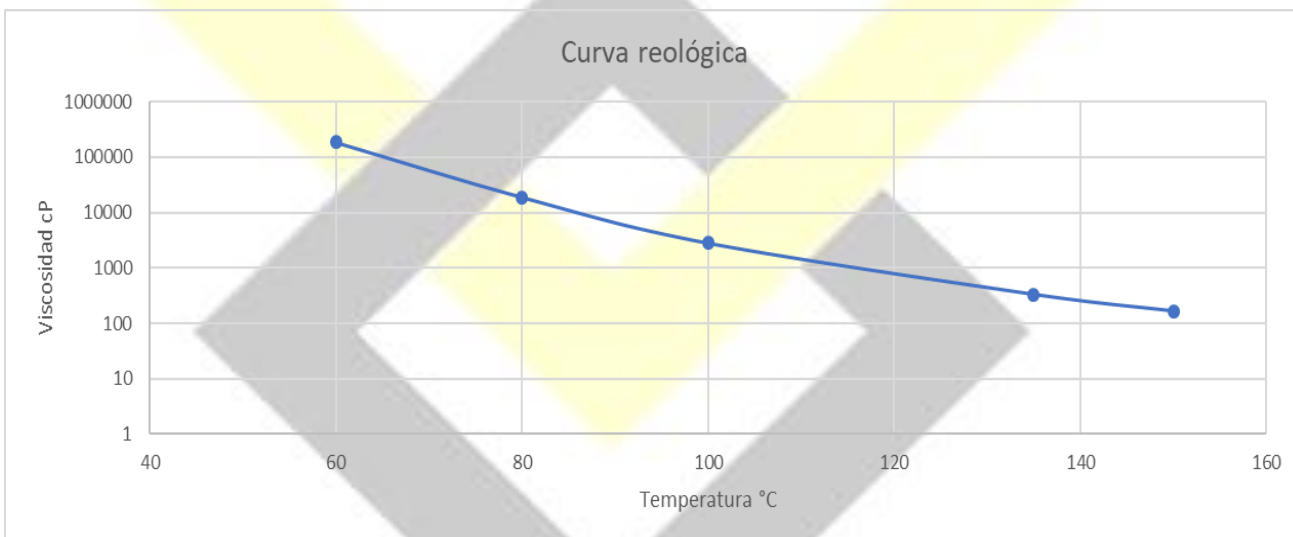
ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
VISCOSIDAD A 80 °C	15-04-2021 19:33	19050	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 135 °C	15-04-2021 19:33	331.3	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 150 °C	15-04-2021 19:33	165	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 60 °C	15-04-2021 19:09	189000	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE
VISCOSIDAD A 100 °C	15-04-2021 19:09	2808	cP	REPORTAR	ASTM D 4402 VISCOSIDAD CENTIPOISE

Referencia 1. Fuente: Certificado de calidad Ecopetrol.

Temperatura de mezcla = 150 °C

Temperatura de compactación = 135°C

Gráfico 2: Curva Reológica



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



3. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

3.1. Preparación de muestras y ensayos

De acuerdo con el diseño Marshall se prepararon briquetas, reproduciendo la granulometría de diseño y adicionando porcentualmente asfalto en peso a la mezcla total (agregados y asfalto).

Los contenidos de asfalto se incrementaron en 0.5% para cada juego de briquetas (5 por cada contenido de asfalto, para finalmente eliminar 1 por cada juego con el fin de mejorar la dispersión), dentro de un intervalo entre 4.5% y 6.5%. Las briquetas fueron elaboradas de acuerdo con lo establecido en la norma de ensayo E-748-13(Marshall) y las temperaturas de mezcla y compactación acordes a lo establecido en el numeral 5.4, la fórmula de trabajo deberá ajustarse al cumplimiento de los parámetros de diseño mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9: Requisitos de diseño de la mezcla MDC-19

CH18:N37ARACTERÍSTICA		NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA ALTO MÓDULO
			CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)		E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75
Estabilidad mínima (N)			5	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15
Flujo (mm) (nota 2)			2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)			2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	*
Vacíos con aire (Va),% (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 A 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			*
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			*
	T. Máx. 10 mm		16.0			*
Vacíos llenos de asfalto (VFA),%		E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75
Relación llenante / Ligante efectivo, en peso		E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4
Concentración de llenante, valor máximo		E-745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método bailey		*	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo μm		E-741	7.5			

- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com



Versión	01
Fecha	18/05/2021



3.2. Densidad de las briquetas

Las muestras se ensayaron de acuerdo con la norma INV-E733 y los resultados se presentan en siguiente tabla datos de diseño Marshall.

Tabla 10: Densidad de las briquetas

No.	% de asfalto		Espesor Probeta cm	Diámetro Probeta cm	Volumen Probeta cm³	MASA (g)			Grevedad específica (g/cm³)			
	Teórico	Medido				seca al aire	SSS	sumergida + picnómetro	Bulk Medida	Bulk Calculada	Máximo Medido	Máximo
									<i>Gmb</i>	<i>Gmb</i>	<i>Gmm</i>	Teórico
1 2 3	4,5%	4,8%	6,46 6,43 6,39	10,16 10,16 10,21	523,4 521,2 522,8	1181,5 1183,4 1182,8	1186,0 1188,0 1186,2	8064 8068 8066	2,317 2,330 2,327 2,325	2,257 2,271 2,262 2,263	2,497	2,480
4 5 6	5,0%	5,2%	6,26 6,37 6,32	10,25 10,16 10,26	516,5 516,4 523,1	1187,7 1191,7 1186,9	1190,1 1194,0 1190,2	8072 8076 8074	2,347 2,355 2,354 2,352	2,300 2,308 2,269 2,292	2,492	2,461
7 8 9	5,5%	5,6%	6,40 6,37 6,42	10,18 10,15 10,17	520,2 515,9 521,2	1188,5 1186,8 1189,9	1188,7 1191,0 1194,3	8075 8076 8077	2,369 2,359 2,355 2,361	2,285 2,300 2,283 2,289	2,469	2,443
10 11 12	6,0%	6,1%	6,17 6,33 6,31	10,23 10,15 10,15	506,7 512,1 510,0	1188,7 1194,7 1193,3	1190,0 1196,3 1194,0	8078 8080 8082	2,377 2,369 2,387 2,378	2,346 2,333 2,340 2,340	2,424	2,424
16 17 18	7,0%	6,9%	6,22 6,24 6,19	10,15 10,16 10,18	503,7 505,7 503,9	1185,2 1183,2 1178,7	1186,2 1184,0 1180,0	8080 8078 8084	2,398 2,395 2,435 2,409	2,353 2,340 2,339 2,344	2,369	2,388

- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com



Versión	01
Fecha	18/05/2021



3.3. Ensayo de estabilidad y flujo

Después de determinada la densidad de las muestras se llevan las probetas al baño de agua a 60 °C durante un tiempo entre 30 y 40 minutos para luego realizar pruebas de estabilidad y fluencia de cada una de las muestras en la prensa Marshall, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-748-13.

Los resultados de los ensayos de densidad, estabilidad y fluencia para cada % de asfalto determinados sobre estas briquetas se presentan en el cuadro de cálculos de diseño de mezcla asfáltica (Tabla 11). Las briquetas cumplen con la dispersión requerida en las normas.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Tabla 11: Estabilidad y Flujo.

No.	% de asfalto		ESTABILIDAD				Flujo
	Teórico	Medido	medida	corregida	corregida	corregida	mm
			<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>kg</i>	<i>lb</i>	
1	4,5%	4,8%	13,87	13,45	1371,8	3024,7	2,409
2			14,63	14,34	1461,8	3223,2	2,494
3			14,12	13,98	1425,3	3142,8	2,777
			PROM	13,9	1419,6	3130,2	2,555
4	5,0%	5,2%	14,67	14,96	1525,6	3364,0	3,125
5			16,40	16,24	1655,4	3650,2	2,879
6			15,20	15,35	1565,3	3451,4	3,430
			PROM	15,5	1582,1	3488,5	3,137
7	5,5%	5,6%	14,20	14,06	1433,4	3160,5	2,930
8			15,30	15,15	1544,4	3405,3	3,210
9			15,55	15,24	1553,8	3426,0	3,740
			PROM	15,2	1510,5	3330,6	3,277
10	6,0%	6,1%	13,80	14,49	1477,4	3257,6	3,052
11			13,32	13,32	1358,1	2994,6	3,980
12			13,30	13,43	1369,6	3020,0	3,177
			PROM	13,7	1401,7	3090,8	3,379
16	7,0%	6,9%	10,88	11,21	1142,6	2519,3	5,070
17			10,58	10,90	1111,1	2449,9	3,968
18			9,74	10,13	1032,9	2277,4	4,990
			PROM	10,7	1095,5	2415,5	4,648

- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com



Versión	01
Fecha	18/05/2021



3.4. Análisis volumétrico de la mezcla asfáltica compactada en caliente.

De acuerdo con la norma INV E - 799-13 se calcula, la gravedad específica bulk (Gsb), de los agregados combinados, la gravedad específica bulk (Gmb). (INV E – 733) de las briquetas, la gravedad específica efectiva del agregado (Gse), el asfalto absorbido (Pba), el contenido de asfalto efectivo (Pbe), los vacíos en los agregados minerales (VAM), el porcentaje de vacíos con aire (Va), los vacíos llenos con ligante asfáltico (VFA) y la relación llenante / ligante efectivo, se presentan en el Anexo A.

3.5. Gravedad específica máxima teórica (GMM) de mezclas asfálticas para pavimentos.

Con cada porcentaje de asfalto y agregados se determinó la gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica de acuerdo con la norma INV-E-735, los resultados se presentan en la gráfica a continuación y en la tabla 12 y en el anexo A.

Tabla 12: Resultado del ensayo Rice

Muestra N°	Peso muestra en el aire (A)	Peso recipiente lleno con agua (D)	Peso recipiente lleno con agua + muestra (D)	T° Agua	Máx. medido a 25°C $A/(A+D-E)$
1	2400	7388	8827	25	2.497
2	2400	7388	8825	25	2.492
3	2400	7388	8816	25	2.469
4	2400	7388	8798	25	2.424
5	2400	7388	8783	25	2.388
6	2400	7388	8775	25	2.369



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Gráfico 3: Curva gravedad específica Máxima teórica (Gmm)

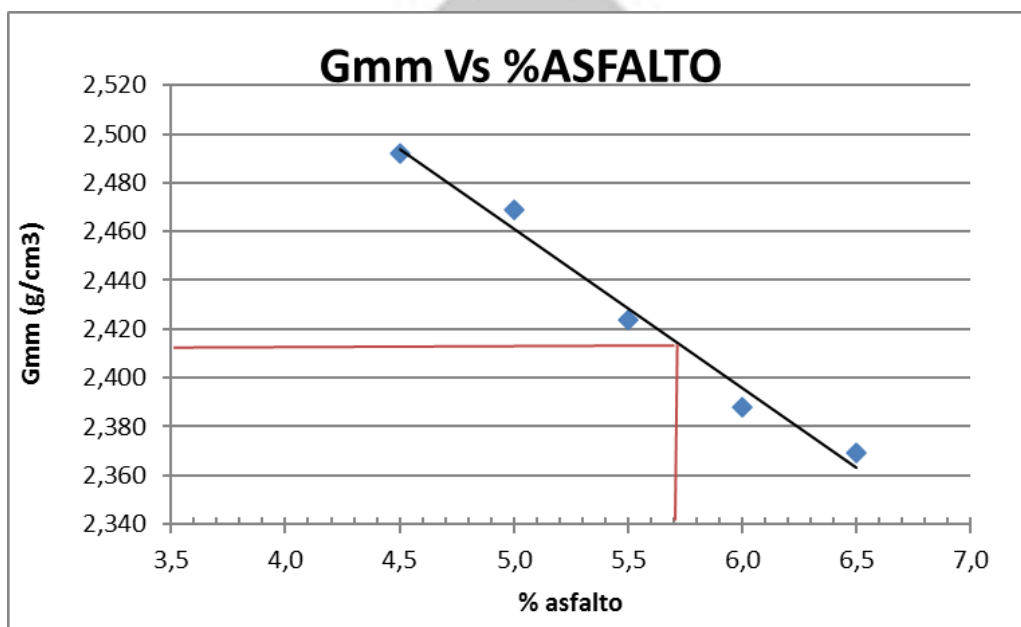


Gráfico 1. Fuente: Autor. Referencia, Marshall López Hermanos, Pág. 10 Tabla DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL.

La ecuación que relaciona el peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica con el porcentaje de asfalto es:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

G_{mm} = Gravedad específica de la mezcla del pavimento (sin vacíos de aire)

P_{mm} = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla

G_{se} = Gravedad específica efectiva

G_b = Gravedad específica del asfalto

Referencia 2. Fuente: ASTM D 2041/ASSHTO T 209



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



3.6. Relación llenante ligante efectivo

De acuerdo con la normativa INV E-799-07 se determinan el peso específico efectivo del agregado pétreo.

$$G_{se} = \frac{100 - \%Asf}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{\%Asf}{G_b}}$$

Para el porcentaje de asfalto óptimo 5.7%, un GMM de 2.4 y un Gb de 1 tenemos:

$$G_{se} = 2.66$$

Con este valor se calcula el porcentaje de asfalto absorbido Pba para Gsb de 2.605

$$P_{ba} = \frac{G_b(G_{se} - G_{sb})}{G_{se} * G_{sb}} * 100\%$$

Con este valor se calcula el porcentaje efectivo de asfalto:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} * P_s}{100}$$

Para el óptimo de asfalto de 5.7 % se tiene un porcentaje de asfalto efectivo de 4.9 se tiene una relación llenante/ligante efectivo para un 1.18% de pasa N°200 de 5.9%

Para la especificación INVIAS la relación llenante/ligante efectivo de la mezcla asfáltica debe encontrarse entre 0.8 -1.2.

3.7. Espesor de la película de asfalto

La Tabla 13 muestra el cálculo del espesor de la película de asfalto para la mezcla diseñada.

- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com



Versión	01
Fecha	18/05/2021



Tabla 13: Espesor de la película de asfalto de la mezcla MDC-19

PASA TAMIZ	PORCENTAJE (%)
Porcentaje pasa tamiz N4	58
Porcentaje pasa tamiz N8	38
Porcentaje pasa tamiz N16	30
Porcentaje pasa tamiz N30	22
Porcentaje pasa tamiz N50	16
Porcentaje pasa tamiz N100	8
Porcentaje pasa tamiz N200	5,9
Superficie específica del agregado combinado (m ² /kg) (SE)	5,95
Pb volumen (%)	5,7
Pba masa (g)	0,90
Pg	0,99
Pba volumen	0,90
Pbe volumen	4,80
Ha (μm)	8,1

3.8. Resistencia conservada a la tracción indirecta.

Se realizan pruebas de tracción indirecta de acuerdo con la norma INV-E-725. El resultado obtenido de resistencia conservada, se muestra en el anexo como resultado del ensayo de laboratorio correspondiente.

4. CURVAS DE DISEÑO

Con los resultados obtenidos en el ensayo Marshall, se grafican curvas de diseño, (Gráficos 4), de donde se define el contenido “**óptimo de asfalto**” y la **fórmula de trabajo** de la mezcla asfáltica, que cumpla con todos los requisitos especificados para una mezcla tipo MDC-19 -2013 de categoría de tránsito NT3.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Tabla 14: Resultados Marshall

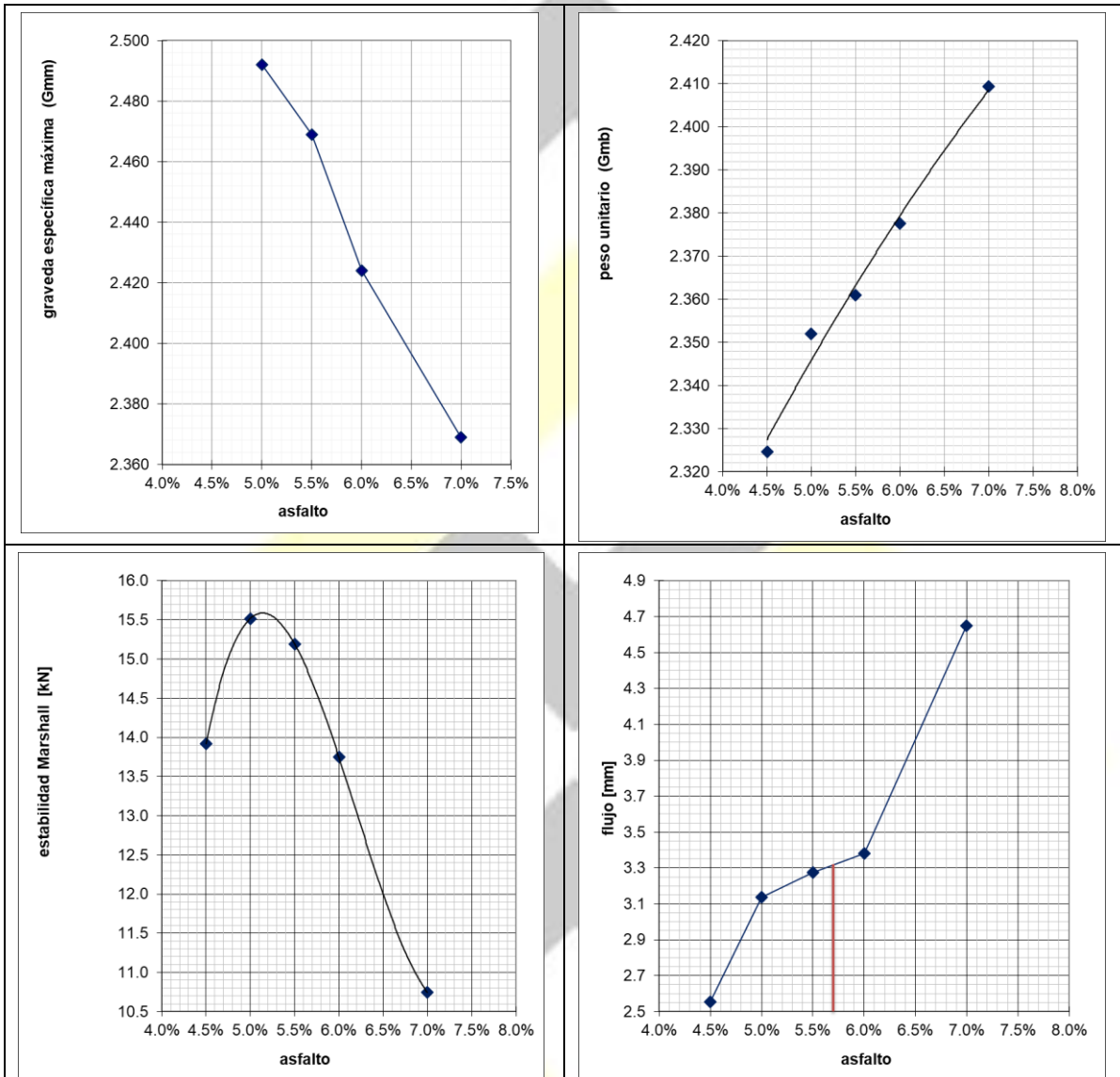
Descripción del material y procedencia	Porcentaje en peso seco
Grava color gris (Monquirá)	42.4%
Finos color gris (Monquirá)	23.6%
finos color amarillo (El Triángulo)	16.0%
Arena lavada (El Moral)	12.3%
Asfalto Sólido	5.7%

Gráfico 4: Gráficos Marshall



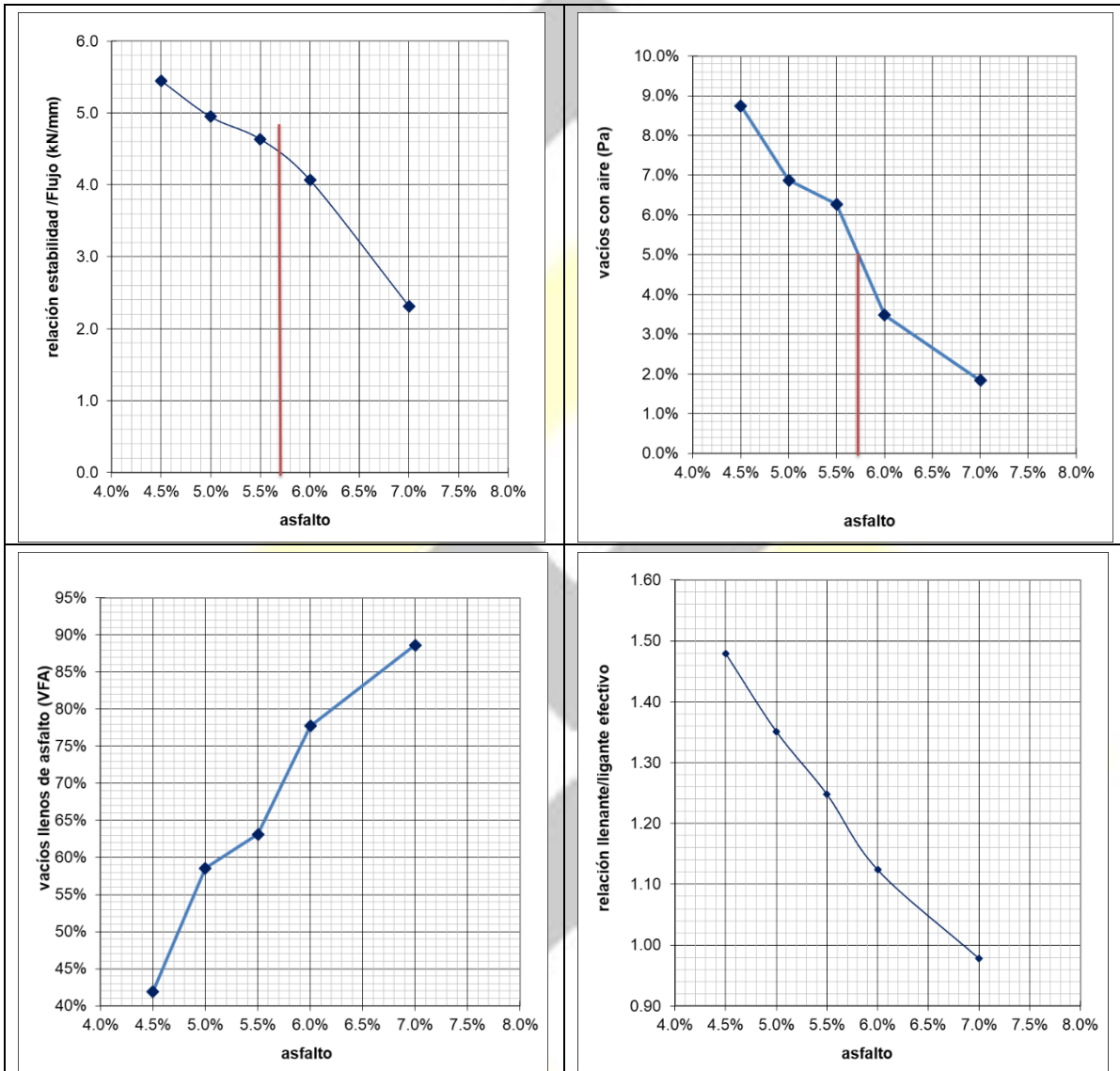
- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



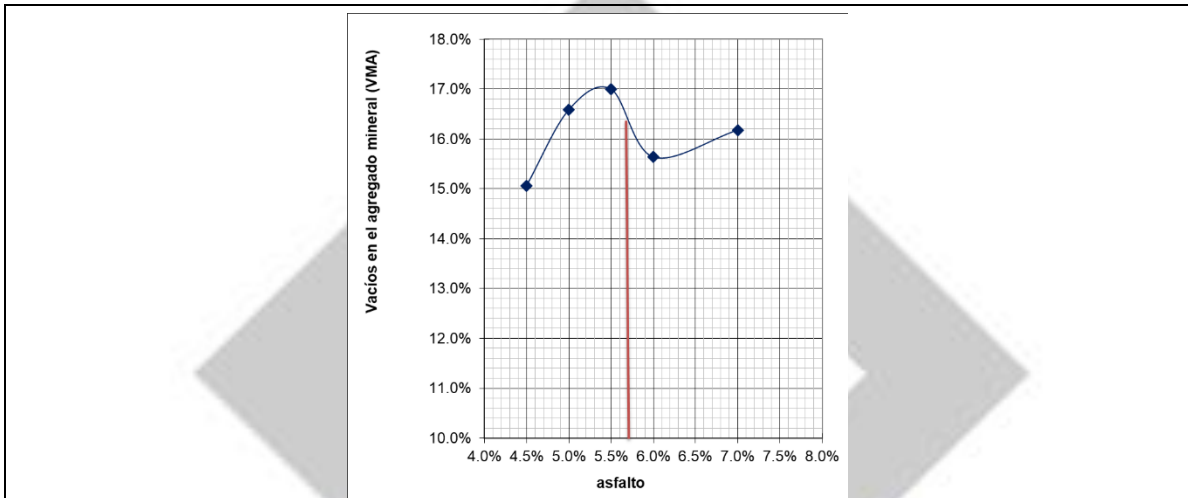
- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



5. FÓRMULA DE TRABAJO

Para seleccionar el porcentaje óptimo de asfalto que cumpla características de una mezcla estable y duradera se tuvo en cuenta las especificaciones del Instituto Nacional de Vías, artículo 450-2013.

Tabla 15: Rango cumplimiento especificación

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN INVIAS 450	% DE ASFALTO DONDE CUMPLE	VALORES AL PORCENTAJE ÓPTIMO
GOLPES POR CARA	75		
ASFALTO ÓPTIMO	-	5.7 %	Pág. 4 Marshall
DENSIDAD BULK	-	2361 gr/cm ³	Pág. 4 Marshall
ESTABILIDAD	>9000 N (917 Kg)	14600 N	Pág. 4 Marshall
FLUJO	2.0 A 3.5 mm	3.30 mm	Pág. 4 Marshall
VACÍOS CON AIRE	4 a 6%	5.0 %	Pág. 4 Marshall
VACÍOS EN LOS AGREGADOS MINERALES	>15%	16.14 %	Pág. 4 Marshall
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	65 a 75%	67.0%	Pág. 4 Marshall
RELACIÓN LLENANTE/LIGANTE	0.8 -1.2	1.18	Pág. 4 Marshall
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	3-6 KN/mm (306-612 Kg/mm)	4.4 KN/mm	Pág. 4 Marshall



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



El contenido óptimo de asfalto seleccionado es de 5.7 %, pues dicho contenido de asfalto cumple con los requisitos de especificación para una mezcla tipo MDC-19 - INV-2013 y una categoría de tránsito NT3.

En conclusión, la “**fórmula de trabajo**” queda definida por los siguientes valores:

Tabla 16: Gradación de diseño

TAMIZ		MEZCLA
1 1/2"	38.1	100.0
1"	25.4	100.0
3/4"	19.1	100.0
1/2"	12.7	93.0
3/8"	9.5	83.0
No 4	4.8	58.0
No 10	2	35.0
No 40	0.41	19.0
No 80	0.18	9.0
No 200	0.074	3.8



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



Tabla 17: Fórmula de trabajo

ASFALTO ÓPTIMO:	5.7	%
DENSIDAD:	2.364	gr/cm3
ESTABILIDAD:	1311.0	Kg.
FLUJO:	3.35	mm.
VACÍOS CON AIRE:	4.4	%
VACÍOS EN LOS AGREGADOS MIN. =	15.2	%
VACÍOS LLENOS CON ASFALTO =	71.3	%

6. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda controlar el peso unitario de la mezcla y el porcentaje de compactación de briquetas tomadas de la mezcla preparada cada día de producción, o con pruebas periódicas. No se recomienda adoptar directamente el valor definido de la curva Marshall para control de compactación

Se recomienda verificar periódicamente gradación, densidad, absorción de los agregados para detectar variaciones que puedan afectar la mezcla

Debe verificarse la resistencia a inmersión-compresión de la mezcla

La mezcla se hizo teniendo en cuenta los valores promedio de viscosidad del asfalto de Barrancabermeja, ante la falta de la curva de viscosidad del asfalto ensayado

El control de compactación se realizará con base en la densidad máxima de la mezcla (sin vacíos) de acuerdo a las nuevas disposiciones del INVIAS



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



7. ANEXOS

ANEXO A. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL.

- ANGULARIDAD DE LA FRACCIÓN FINA.
- DESGASTE DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.
- EQUIVALENTE DE ARENA.
- IMPURESAS AGREGADO GRUESO.
- ÍNDICE DE PLASTICIDAD.
- PARTICULAS FRACTURADAS.
- PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS.
- RESISTENCIA MÉTODO 10% FINOS.
- SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS.

ANEXO B. CERTIFICADO DE CALIDAD Y CURVA REOLÓGICA.

ANEXO C. DISEÑO MARSHALL LÓPEZ HERMANOS.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



ANEXO A.
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



ANEXO B.
CERTIFICADO DE CALIDAD Y CURVA REOLÓGICA.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com

Versión	01
Fecha	18/05/2021



ANEXO C.
DISEÑO MARSHALL LÓPEZ HERMANOS.



- Tunja – Boyacá
- Tel: (+57) 3126980353
- AV Universitaria No. 75A – 00 Green Hills oficina, 37 A
- www.rokavia.com