DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MDC-19

INVIAS 2013

DMP-001-2023-V0-LOR

CONSTRUCCIONES EL CÓNDOR S.A.

Lorica, Córdoba

Enero 2023

CONTROL DE CAMBIOS		
VERSIÓN	**FECHA**	**MODIFICACIÓN**
0	12 de enero de 2023	Versión inicial – Diseño Volumétrico Marshall y TSR

Tabla de contenido

1 OBJETIVO 4
2 RESUMEN EJECUTIVO 4
3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES 6
3.1 Materiales granulares 6
3.2 Cemento asfáltico 11
3.3 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación 11
4 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA 13
4.1 Preparación de muestras y ensayos 13
4.2 Densidad de las briquetas 13
4.3 Ensayo de estabilidad y flujo 13
4.4 Análisis volumétrico de la mezcla asfáltica compactada en caliente 14
4.5 Gravedad específica máxima teórica (GMM) de mezclas asfálticas para pavimentos 14
4.6 Relación llenante ligante efectivo 14
4.7 Espesor de la película de asfalto 15
4.8 Resistencia conservada a la tracción indirecta 15
5 CUADRO MARSHALL Y CURVAS DE DISEÑO 17
6 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES 23

1 OBJETIVO

Realizar el diseño, por medio del método Marshall, evaluando la granulometría y el contenido de asfalto óptimo para una mezcla densa en caliente que cumpla los parámetros exigidos de acuerdo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013.

De acuerdo con los resultados obtenidos se determina la **fórmula de trabajo** que se aplicará en la producción de mezcla asfáltica en la planta de mezcla asfáltica de Lorica.

2 RESUMEN EJECUTIVO

Se presenta el informe de diseño de la mezcla asfáltica en caliente tipo MDC-19 de acuerdo con los requerimientos del Articulo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013. El diseño de la mezcla MDC-19 se realiza con materiales pétreos de la Fuente Cantera San José (Lorica - Córdoba) y asfalto 60/70 con promotor de adherencia Evotherm, conforme a los requerimientos del Articulo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013.

En este diseño se incorporó la siguiente proporción de materiales pétreos:

Triturado de 3/4":	29%
Arena triturada:	62%
Area de Río Sinú:	6%
Carbonato de calcio:	3%

En cuanto al contenido de asfalto de la mezcla, el intervalo en el cual se cumplen los criterios del Numeral 450.4.2.2 el Articulo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013 para el nivel de tránsito NT3 se encuentra definido entre el 5,6% y 6,0% de asfalto, y se define un contenido óptimo de asfalto de 5,8%.

Las características de la mezcla en el contenido óptimo de asfalto son las siguientes:

- % de Asfalto: 5,8 %
- % Llenante: 6,2%
- Estabilidad: 12300 N
- Flujo: 3,3 mm
- Relación Estabilidad/Flujo 3,73 kN/mm
- Densidad de la mezcla: 2233 Kg/m^3
- Gravedad específica teórico mezcla: 2,347
- Vacíos totales con aire (VTM): 4,56%
- Vacíos en agregado mineral (VAM): 16,45%
- Vacíos llenos de asfalto (VFA): 72,28%

- Porcentaje de asfalto absorbido: 0,42%
- Relación Llenante/ Ligante efectivo 1,15
- Susceptibilidad a la humedad por tracción indirecta: 81,5%
  Esfuerzo de tracción en seco (kPa): 769
  Esfuerzo de tracción en húmedo (kPa): 627
- Espesor de película de asfalto: 9,5 µm
- Deformación Plástica en pista a 60°C intervalo 105 a 120 min En proceso

3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

3.1 Materiales granulares

Los materiales pétreos para la elaboración de la mezcla asfáltica son explotados de la fuente Cantera San José (Lorica – Córdoba) y procesados en la planta de Construcciones El Cóndor ubicada en el Km 2 Vía Lorica – Purísima en el Municipio de Lorica. En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis granulométrico de los agregados componentes de la mezcla asfáltica.

Tabla 1 Gradaciones individuales de los agregados componentes de la mezcla Porcentajes de pasa (%)

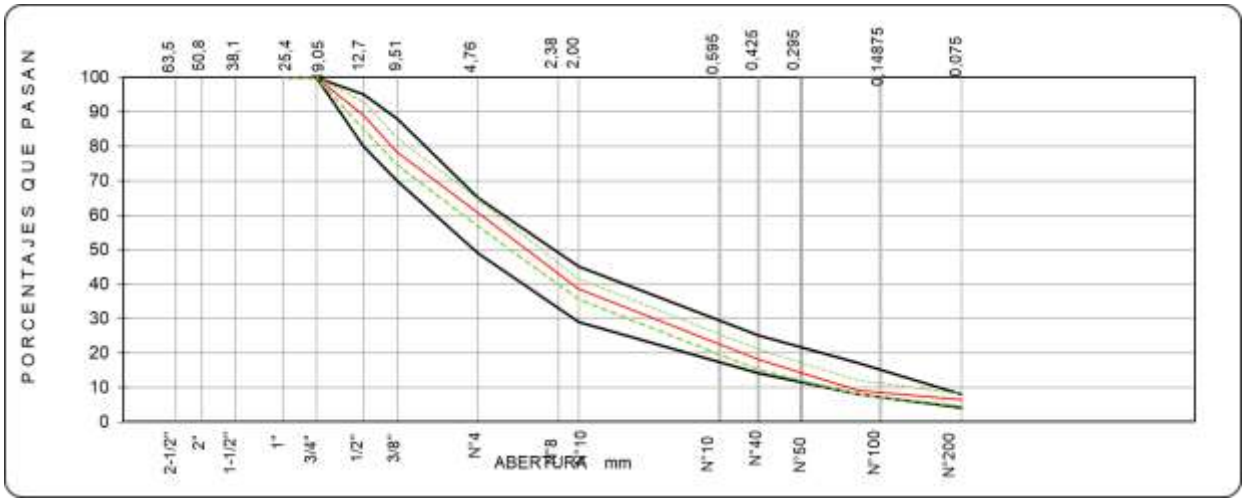
MATERIAL:		Triturado ¾"	Arena Triturada menor de 3/8"	Arena Río Sinú	Carbonato de calcio	COMBINACION EN LABORATORIO
PROPORCIÓN:		29	62	6	3	SUMA 100
SERIE DE TAMICES		PORCENTAJES DE PASA				
3/4"	19,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	12,7	61,3	100,0	100,0	100,0	89
3/8"	9,5	25,9	100,0	100,0	100,0	78
N°4	4,8	4,5	81,5	100,0	100,0	62
N°10	2,0	1,6	47,1	97,1	100,0	38
N°40	0,4	1,0	16,8	72,8	100,0	19
N°80	0,2	0,8	8,6	7,1	100,0	9
N°200	0,075	0,7	5,2	1,4	97,8	6,2

Los materiales pétreos son combinados con el objetivo de cumplir los requerimientos granulométricos de la mezcla MDC-19 de acuerdo con el Articulo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013, ver la Tabla 2 y el Gráfico 1.

Tabla 2 Franja de diseño MDC-19

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
		19.0	**12.5**	**9.5**	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		¾"	**½"**	**⅜"**	Nº4	Nº10	Nº40	N°80	Nº200
		Porcentajes de pasa (%)							
DENSA	MDC-19	100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
COMBINACIÓN		100	89	78	62	38	19	9	6,2
FRANJA INTERNA		100	85-93	75-83	58-65	35-41	16-22	8-12	4,5-6,6

Gráfico 1 Curva granulométrica de la MDC-19



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-19el NMPS corresponde al tamiz de 3/4" de abertura 19 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 al tamiz de Numero 4 de abertura 4.76 mm.

HS: Tamiz medio, igual a NMPS x 0.50, para el NMPS de 19 mm el tamiz HS es el 3/8" con un tamaño de abertura de 9,5 mm.

SCS: Tamiz secundario de control, SCS es el tamiz Nº16 de abertura 1.18 mm.

TCS: Tamiz terciario de control el TCS es el tamiz Nº50 de abertura 0.3 mm.

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

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

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.

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

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.

$$FA_c = \frac{\%\ Pasa\ TCS}{\%\ Pasa\ SCS}$$

De acuerdo con NMPS se determinan los rangos de aceptación para cada uno de estos parámetros, ver Tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3 Rangos recomendados de relaciones de agregados de acuerdo con el método Bailey

TAMICES DE CONTROL MÉTODO BAILEY						
	NMPS (mm)					
	37.5	**25.0**	**19.0**	**12.7**	**9.50**	**4.75**
HS	19.00	12.70	9.50	4.76	4.76	2.36
PCS	9.50	4.76	4.76	2.36	2.36	1.18
SCS	2.36	1.18	1.18	0.60	0.60	0.30
TCS	0.60	0.30	0.30	0.15	0.15	0.08

Tabla 4 Porcentajes de pasa en tamices de control

TAMICES DE CONTROL		**TAMIZ**		**% PASA**
		ABERTURA	**Mm**	
NMPS	Tamaño máximo nominal	3/4"	19	100,0
HS	Tamiz medio	3/8"	9,5	78,0
PCS	Tamiz de control primario	N°4	4,76	62,1
SCS	Tamiz de control secundario	No. 16	1,18	27,9
TCS	Tamiz de control terciario	No. 50	0,3	13,4

Tabla 5 Cálculo de parámetros Bailey

ANALISIS DE LA MEZCLA DE DISEÑO COMO MEZCLA GRUESA					**RANGO DE CONTROL**		**CUMPLE**
CA ratio	Relación del Agregado Grueso =	$\frac{\%\text{ Pasa HS} - \%\text{ Pasa PCS}}{100 - \%\text{ Pasa HS}}$	=	0,72	0,60	0,75	Cumple
FAc	Relación Gruesa del Agregado Fino =	$\frac{\%\text{ Pasa SCS}}{\%\text{ Pasa PCS}}$	=	0,45	0,35	0,50	Cumple
FAf	Relación Gruesa del Agregado Fino =	$\frac{\%\text{ Pasa TCS}}{\%\text{ Pasa SCS}}$	=	0,50	0,35	0,50	Cumple

Se evalúan las características de empaquetamiento de agregados para mezclas finas de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6 Tamices de control para mezclas de gradación fina

TAMICES DE CONTROL MÉTODO BAILEY						
	NMPS (mm)					
	37.5	**25.0**	**19.0**	**12.7**	**9.50**	**4.75**
Original PCS	9,5	4,75	**4,75**	2,36	2,36	1,18
Nuevo HS	4,75	2,36	**2,36**	1,18	1,18	0,60
Nuevo PCS	2,36	1,18	**1,18**	0,60	0,60	0,30
Nuevo SCS	0,60	0,30	**0,30**	0.15	0.15	0.075
Nuevo TCS	0,15	0,075	**0,075**	-	-	-

De acuerdo con la circular EC-044, los valores de porcentaje de pasa correspondientes a cada tamiz se recalculan haciendo un 100% el porcentaje de pasa del tamiz Original PCS. Para el caso 4,75 mm, y para cada uno de los tamices de control se divide el porcentaje de pasa entre el % de pasa del PCS, de esta manera se tienen nuevos % de pasa que representan como se acomodan los agregados en la fracción predominantemente fina. En la Tabla 7 se presentan los porcentajes de pasa.

Tabla 7 Porcentajes de pasa en nuevos tamices de control para mezclas finas

TAMICES DE CONTROL		TAMIZ		% PASA
		ABERTURA	Mm	
Original PCS	Tamiz de control primario	Nº4	4,76	100,0
NHS	Nuevo Tamaño Medio	Nº8	2,36	66,7
NPCS	Nuevo Tamiz de Control Primario	Nº16	1,18	44,9
NSCS	Nuevo tamiz de Control Secundario	Nº30	0,3	21,6
NTCS	Nuevo Tamiz de Control Terciario	Nº200	0,075	10,0

En la Tabla 8 se presenta el análisis de empaquetamiento de agregados como mezcla fina.

Tabla 8 Cálculo de parámetros Bailey como mezcla de gradación fina

ANALISIS DE LA MEZCLA DE DISEÑO COMO MEZCLA FINA					RANGO DE CONTROL		CUMPLE
Nuevo CA ratio	Relación del Agregado Grueso =	% Pasa NHS - % Pasa NPCS / 100 - % Pasa NHS	=	0,65	0,60	0,75	Cumple
Nuevo FAc	Relación Gruesa del Agregado Fino =	% Pasa NSCS / % Pasa NPCS	=	0,50	0,35	0,50	Cumple
Nuevo FAf	Relación Gruesa del Agregado Fino =	% Pasa NTCS / % Pasa NSCS	=	0,46	0,35	0,50	Cumple

De acuerdo con los resultados de la Tabla 8 la mezcla cumple con los requerimientos de empaquetamiento de agregados para la fracción fina.

A la combinación de agregados se le realizaron los ensayos de caracterización fisicomecanicas de acuerdo con los requerimientos del Artículo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013 para una capa rodadura, ver la Tabla 9 y el Anexo 1 Agregados.

Tabla 9 Propiedades fisicomecanicas de los agregados

ENSAYO	NORMA INV	RESULTADO	VALOR ESPECIFICADO
Gravedades específicas			
Agregados gruesos – Retenido en tamiz Nº4			
Gravedad específica bulk Gsb	E-223	2,515	Reportar
Gravedad especifica saturada Gss		2,553	
Gravedad especifica aparente Gsa		2,613	
Absorción (%)		1,48	
Agregados finos – Pasa Nº4 – Retenido Nº200			
Gravedad específica bulk Gsb	E-223	2,522	Reportar
Gravedad especifica saturada Gss		2,567	
Gravedad especifica aparente Gsa		2,642	
Absorción (%)		1,8	
Llenante mineral			
Gravedad específica	E-222	2,591	Reportar
Ensayos a la fracción gruesa			
Caras Fracturadas	E 227	100% 100%	Una cara: 85% Dos caras: 70%.
Desgaste en máquina de los ángeles, 500 Rev.	E 218	21,3	≤ 25 %
Desgaste en máquina de los ángeles, 100 Rev.	E-218	3,6	≤ 5 %
Desgaste Microdeval	E 238	10,1	≤ 20 %
10% de finos	E 224	319,8 81	En seco ≥ 110 kN Húmedo/Seco ≥ 75 %
Solidez en sulfato de Magnesio	E 220	6,0	≤ 18 %
Partículas planas y alargadas (relación 5:1)	E-240	1,10	≤ 10 %
Limpieza superficial del agregado grueso	E-237	0,35	≤ 0,5 %
Coeficiente de Pulimento acelerado	E-232	0,51	≥ 0,45
Ensayos a la fracción fina			
Solidez en sulfato de Magnesio	E 220	8,1	≤ 18%
Equivalente de arena	E-133	67	≥ 50 %
Valor de azul de metileno	E-238	3	N.A.
Limite liquido e Índice de Plasticidad	E-126	N.P	N.P
Angularidad del agregado fino (método A)	E-239	48,7	≥ 45 % para rodadura
Proporción de arena natural en % en peso total de los agregados	N.A.	6	≤ 15%
Ensayos al llenante mineral			
Gravedad especifica de solidos	E-128	2,591	Reportar
Peso unitario en Tolueno, g/cm^3	E-225	0,76	0.5 a 0.8
Vacíos del llenante compactado en seco, %	E-229	39,9	≥ 38
Concentración crítica del llenante mineral	E-745	0,364	Reportar
Adhesividad			
Agregado grueso – Cubrimiento de los agregados gruesos con materiales asfalticos en presencia del agua hirviendo (%)	E-757	>95%	Reportar
Agregado fino – Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel Weber)	E-774	6-9	Mayor de 4

3.2 Cemento asfáltico

En la Tabla 10 y el *Anexo 2 Asfalto* se presentan los resultados de la caracterización del asfalto 60/70 usado en el diseño de la mezcla asfáltica.

Tabla 10 Características fisicomecanicas del asfalto 60/70

ENSAYO	NORMA INV	RESULTADO	VALOR ESPECIFICADO
Penetración a 25ºC (1/10 mm)	E-706	68,3	60 – 70
Índice de penetración	E-724	-0,4	-1,2 - +0,6
Viscosidad a 60ºC (Pa – s)	E-717	214	> 150
Punto de ablandamiento (ºC)	E-712	50	48 – 54
Ductilidad a 25ºC y 5cm/min (cm)	E-702	> 100	≥100
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	99,8	> 98
Contenido de agua, %	E-704	0,0	< 0,2
Punto de ignición, ºC	E-709	295	> 240
Contenido de parafinas, %	E-718	0,8	< 3
Densidad a 15ºC Kg/m3	E-707	1029	Reportar
Ensayos sobre el residuo luego del envejecimiento RTFO. INV E-720			
Pérdida por calentamiento (%)	E 720	0,2	< 0,8
Penetración a 25ºC (1/10 mm)	E-706	49,4	Reportar
Penetración al residuo, porcentaje de la penetración original (%)	E-706	72,3	< 70
Punto de ablandamiento (ºC)	E-712	59	Reportar
Incremento del punto de ablandamiento (ºC)	E-712	9	< 9
Viscosidad a 60ºC (Pa – s)	E-717	747	Reportar
Índice de envejecimiento	E-717	3,5	< 4

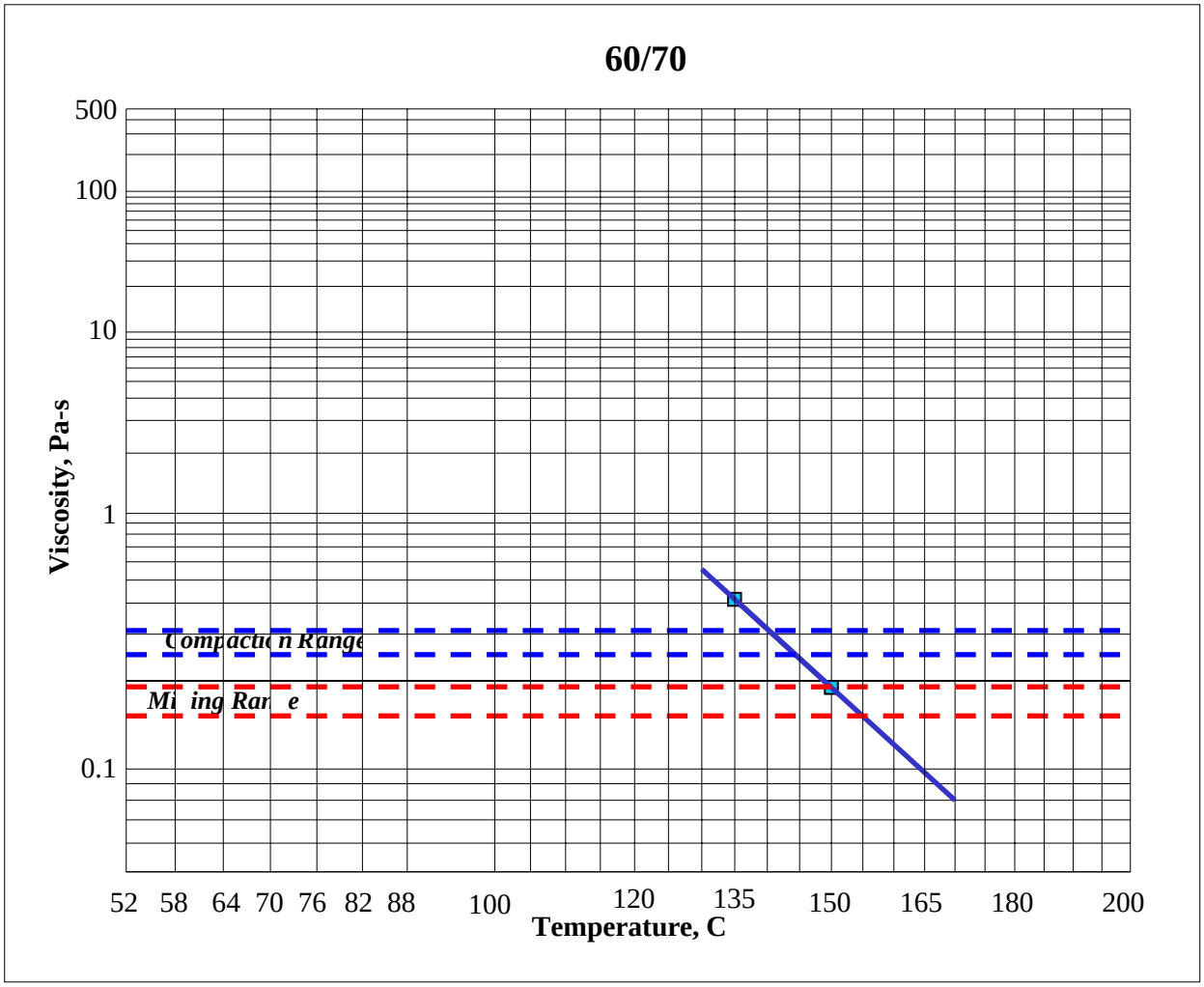
3.3 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación

De acuerdo con las viscosidades y propiedades del asfalto 60/70 se establecen las siguientes temperaturas de mezcla y compactación en el laboratorio. Ver Gráfico 2.

Ligante	**60/70**				
Temp. (C)	Viscosidad (cp)	Temperatura de mezcla, C	150	-	155
135	**415,0**	Temperatura de compactación, C	140	-	144
150	**189,0**				

Gravedad especifica **1,022**

Gráfico 2 Curva reológica del asfalto 60/70



4 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

4.1 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 5% y 7%. Las briquetas fueron elaboradas de acuerdo con lo establecido en la norma de ensayo INV-E-748 (Marshall) y las temperaturas de mezcla y compactación corresponden a las establecidas en el Numeral 3.3 del presente informe. La fórmula de trabajo deberá ajustarse para dar cumplimiento a los parámetros de diseño indicados en la Tabla 11.

Tabla 11 Requisitos de diseño de la mezcla MSC -19

CARACTERISTICA	NORMA INV	VALOR ESPECIFICADO
Compactación (golpes por cara)	E-748	75
Estabilidad mínima (N)	E-748	9000
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 3.5
Relación Estabilidad /Flujo (kN/mm)	E-748	3 a 6
Vacíos con aire (%)	E-799 y E-748	4 a 6 (Rodadura)
Vacíos en agregado mineral (%)	E-799 y E-748	Min 15
Vacíos llenos con asfalto (%)	E-799 y E-748	65 a 75
Relación llenante / Asfalto efectivo	E-799	0.8 a 1,2
Espesor de película de asfalto (µm)		Min 7,5
Velocidad de deformación en el intervalo 105 a 120 min	E-756	Máx. 15 µm/min
Susceptibilidad a la Humedad TSR	E-725	80 % min

4.2 Densidad de las briquetas

Las muestras se ensayaron de acuerdo con la norma INV-E 733-13 y los resultados se presentan en el *Anexo 3 Mezcla Asfáltica*.

4.3 Ensayo de estabilidad y flujo

Después de determinada la densidad de las muestras se llevan las probetas al baño de agua a 60 ºC 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 porcentaje de asfalto determinados sobre estas briquetas se presentan en el *Anexo 3 Mezcla Asfáltica.* Los resultados de as briquetas cumplen con la dispersión requerida en las normas.

4.4 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–733-13) 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. Ver resultados en el *Anexo 3 Mezcla Asfáltica*.

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

Para cada porcentaje de asfalto y agregados se determinó la gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica de acuerdo con la norma INV-E-735-13. Los resultados se presentan en la Tabla 12 y en el *Anexo 3 Mezcla asfáltica.*

Tabla 12 Resultados del ensayo Rice

Muestra N°	% de asfalto	Peso muestra en el aire (A)	Peso recipiente lleno con agua (D)	Peso recipiente lleno con agua y muestra (E)	T° Agua	Máx. medido a 25°C A/(A+D-E)
1	5,0	2220,1	7.358,1	8645,2	25,1	2,380
2	5,5	2231,0	7.357,0	8643,0	24,9	2,361
3	6,0	2220,0	7.357,0	8627,0	24,6	2,337
4	6,5	2226,0	7.357,0	8623,0	24,8	2,319
5	7,0	2219,0	7.358,0	8610,0	24,9	2,295

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

GMM = -0,042*% Asfalto + 2,592

4.6 Relación llenante ligante efectivo

De acuerdo con la normativa INV E-799-13 se determinan el peso específico efectivo del agregado pétreo.

$$Gse = \frac{100 - \%Asf}{\frac{100}{Gmm} - \frac{\% Asf}{Gb}}$$

Para un óptimo de asfalto de 5,8%, un GMM de 2,347 y un Gb de 1,022 tenemos:

Gse = 2,551

Con este valor se calcula el porcentaje de asfalto absorbido Pba para Gsb de 2,524

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

Pba = 0,42%

Con este valor se calcula el porcentaje efectivo de asfalto:

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

Para el contenido óptimo de asfalto de 5,8 % se tiene un porcentaje de asfalto efectivo de 5,4%, y una relación llenante/ligante efectivo para un 6,2% de pasa Nº200 de 1,15.

4.7 Espesor de la película de asfalto

Se presenta el cálculo del espesor de la película de asfalto para la mezcla diseñada.

Cálculo del espesor medio de la película de asfalto

Porcentaje pasa No.4	a	60,8
Porcentaje pasa No.8	b	41,4
Porcentaje pasa No.16	c	27,9
Porcentaje pasa No.30	d	20,3
Porcentaje pasa No.50	e	13,4
Porcentaje pasa No.100	f	8,3
Porcentaje pasa No.200	g	6,2
Superficie especifica del agregado combinado	(SE) :	**5,9**
Contenido de asfalto	Pb:	5,8
Densidad del ligante	Db:	1,022
Volumen de Ligante	Pb volumen:	5,68
Asfalto absorbido	Pba:	0,42
Proporción de agregado en la mezcla	Pg:	0,94
Masa de asfalto absorbido	Pba masa:	0,39
Volumen de asfalto absorbido	Pba volumen:	0,38
Volumen de asfalto efectivo	Pbe volumen:	5,29
Espesor medio de la película de asfalto,	**Ha:**	**9,5**

4.8 Resistencia conservada a la tracción indirecta

Se adicionó el 0,35% de aditivo mejorador de adherencia Evotherm P25 al cemento asfaltico en peso. El resultado obtenido de resistencia conservada es de 81,5% el cual se presenta en el Anexo 3 – Mezcla.

Los valores promedio de la resistencia de los especímenes de los subgrupos secos y húmedos son los siguientes.
Esfuerzo de tracción Subgrupo seco: 769 kPa

Esfuerzo de tracción Subgrupo húmedo: 627 kPa

El valor de tracción del subgrupo húmedo es superior de 560 kPa, que es el esfuerzo inducido por el eje dual de 80 kN, por lo que se considera satisfactorio el nivel de resistencia en húmedo.

5 CUADRO MARSHALL Y CURVAS DE DISEÑO

Obra:		CLIENTES VARIOS			Fecha:	15/05/2022		Fracción	%	Gsb	Gsss	Gsa	% abs	Gb											
Fuente:		CANTERA LORICA 2												1,022											
Localizacion:		PLANTA LORICA						Gruesos (Retenido en Nº4)	39,2	2,515	2,553	2,613	1,5												
Temperatura de compactación:		140 - 144ºC (Compactado a 142 Grados)						Finos (Pasa Nº4 y Retenido Nº200)	54,6	2,522	2,567	2,642	1,8												
Tipo de Mezcla		MDC-19						Pasa 200	6,2	2,591		Pasa Nº 200		6,2											
Tipo de Asfalto		CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL 60 / 70						**Combinación de agregados**		**2,524**		Gs Llenante Pasa Nº200		**2,591**											
% Asfalto	Espesor (mm)	Peso en el aire (g)	Peso S.S.S. (g)	Peso sumergido (g)	Volumen (cm^3)	Estabilidad KN.	Fc	Estabilidad Corregida (N)	Flujo (mm)	Gmb	Gmm	Gse	Pba (asf.Abs.)	Pbe (asf.Efec.)	Vol. Agregados	Vol. Asf.Efect.	Va	V.A.M.	VFA	$P_{0,075}$	R.P. $P_{0,075}$/Pbe	F	A	Cv	Estab./Flujo
5,0	63,81	1107,4	1112,2	612,6	499,6	11,37	0,99	11292	3,09	2,217	2,380	2,560	0,57	4,46	83,93	9,2	6,9	16,5	58,5	6,20	1,39	2,27	4,36	0,342	3,65
5,0	63,00	1106,9	1111	611,1	499,9	11,36	1,01	11489	3,11	2,214	2,380	2,560	0,57	4,46	83,82	9,2	7,0	16,7	58,0	6,20	1,39	2,27	4,36	0,342	3,69
5,0	63,40	1105,9	1111,2	611,8	499,4	11,34	1,00	11365	3,15	2,214	2,380	2,560	0,57	4,46	83,82	9,2	7,0	16,7	58,0	6,20	1,39	2,27	4,36	0,342	3,61
5,0	63,21	1104,6	1110,5	611,2	499,3	11,40	1,01	11474	3,09	2,212	2,380	2,560	0,57	4,46	83,75	9,2	7,1	16,7	57,7	6,20	1,39	2,27	4,36	0,342	3,71
5,0	**Promedio**							**11405**	**3,11**	**2,214**	**2,380**	**2,560**	**0,57**	**4,46**	**83,83**	**9,2**	**7,0**	**16,6**	**58,0**	**6,20**	**1,39**	**2,27**	**4,36**	**0,34**	**3,67**
5,5	63,22	1111,3	1113,9	616,2	497,7	11,95	1,01	12025	3,17	2,233	2,359	2,554	0,48	5,05	84,02	10,6	5,4	16,4	67,3	6,20	1,23	2,26	4,94	0,314	3,79
5,5	63,19	1112,4	1114,5	616,1	498,4	11,89	1,01	11973	3,21	2,232	2,359	2,554	0,48	5,05	83,98	10,6	5,4	16,4	67,1	6,20	1,23	2,26	4,94	0,314	3,73
5,5	63,71	1112,8	1115	617,1	497,9	12,05	1,00	11994	3,19	2,235	2,359	2,554	0,48	5,05	84,09	10,6	5,3	16,3	67,7	6,20	1,23	2,26	4,94	0,314	3,76
5,5	63,24	1110,8	1114,1	616,8	497,3	11,98	1,01	12050	3,21	2,234	2,359	2,554	0,48	5,05	84,06	10,6	5,3	16,3	67,5	6,20	1,23	2,26	4,94	0,314	3,75
5,5	**Promedio**							**12011**	**3,20**	**2,234**	**2,359**	**2,554**	**0,48**	**5,05**	**84,04**	**10,6**	**5,3**	**16,4**	**67,4**	**6,20**	**1,23**	**2,26**	**4,94**	**0,31**	**3,76**
6,0	63,15	1109,9	1112,5	617,7	494,8	12,20	1,01	12296	3,36	2,243	2,338	2,548	0,38	5,64	83,87	12,1	4,1	16,5	75,3	6,20	1,10	2,25	5,52	0,290	3,66
6,0	63,09	1115,7	1117,2	619,2	498	12,19	1,01	12303	3,35	2,240	2,338	2,548	0,38	5,64	83,76	12,0	4,2	16,6	74,6	6,20	1,10	2,25	5,52	0,290	3,67
6,0	63,00	1114,7	1117,3	619,5	497,8	12,23	1,01	12368	3,41	2,239	2,338	2,548	0,38	5,64	83,72	12,0	4,2	16,6	74,5	6,20	1,10	2,25	5,52	0,290	3,63
6,0	63,26	1110,2	1112,5	617,4	495,1	12,25	1,01	12316	3,39	2,242	2,338	2,548	0,38	5,64	83,83	12,1	4,1	16,5	75,1	6,20	1,10	2,25	5,52	0,290	3,63
6,0	**Promedio**							**12321**	**3,38**	**2,241**	**2,338**	**2,548**	**0,38**	**5,64**	**83,80**	**12,0**	**4,2**	**16,5**	**74,9**	**6,20**	**1,10**	**2,25**	**5,52**	**0,29**	**3,65**
6,5	63,11	1116,2	1118,1	621,5	496,6	11,88	1,01	11985	3,55	2,248	2,317	2,541	0,27	6,24	83,52	13,5	3,0	16,7	82,2	6,20	0,99	2,24	6,11	0,268	3,38
6,5	62,80	1115,1	1117,5	621,2	496,3	11,78	1,02	11968	3,55	2,247	2,317	2,541	0,27	6,24	83,49	13,5	3,0	16,8	82,0	6,20	0,99	2,24	6,11	0,268	3,37
6,5	63,20	1115,5	1117,4	620,8	496,6	11,89	1,01	11970	3,59	2,246	2,317	2,541	0,27	6,24	83,45	13,5	3,1	16,8	81,8	6,20	0,99	2,24	6,11	0,268	3,33
6,5	63,21	1115,9	1118,1	621,7	496,4	11,80	1,01	11877	3,61	2,248	2,317	2,541	0,27	6,24	83,52	13,5	3,0	16,7	82,2	6,20	0,99	2,24	6,11	0,268	3,29
6,5	**Promedio**							**11950**	**3,58**	**2,247**	**2,317**	**2,541**	**0,27**	**6,24**	**83,49**	**13,5**	**3,0**	**16,7**	**82,0**	**6,20**	**0,99**	**2,24**	**6,11**	**0,27**	**3,34**
7,0	62,40	1116,4	1117,7	620,1	497,6	11,59	1,03	11884	3,70	2,244	2,296	2,533	0,16	6,85	82,83	14,9	2,3	17,3	86,9	6,20	0,91	2,23	6,70	0,250	3,21
7,0	63,30	1115,6	1117,1	618,7	498,4	11,50	1,00	11552	3,68	2,238	2,296	2,533	0,16	6,85	82,61	14,9	2,5	17,5	85,6	6,20	0,91	2,23	6,70	0,250	3,14
7,0	63,30	1118,7	1119,7	620,1	499,6	11,53	1,00	11582	3,69	2,239	2,296	2,533	0,16	6,85	82,65	14,9	2,5	17,5	85,9	6,20	0,91	2,23	6,70	0,250	3,14
7,0	63,10	1116,5	1117,8	619,8	498	11,58	1,01	11685	3,71	2,242	2,296	2,533	0,16	6,85	82,76	14,9	2,3	17,4	86,5	6,20	0,91	2,23	6,70	0,250	3,15
7,0	**Promedio**							**11676**	**3,70**	**2,241**	**2,296**	**2,533**	**0,16**	**6,85**	**82,71**	**14,9**	**2,4**	**17,4**	**86,2**	**6,20**	**0,91**	**2,23**	**6,70**	**0,25**	**3,16**

Con los resultados obtenidos en el ensayo Marshall, se grafican las curvas de diseño, ver Gráficos3 a 13 y la Tabla 13, y se definen el contenido **"óptimo de asfalto" y la "fórmula de trabajo"** de la mezcla asfáltica en cumplimiento de todos los requisitos especificados para una mezcla tipo MDC-19 para capa de rodadura y una categoría de tránsito NT3 según el Artículo 450 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras INVIAS 2013.

Gráfico 3 Estabilidad Marshall Vs % de Asfalto

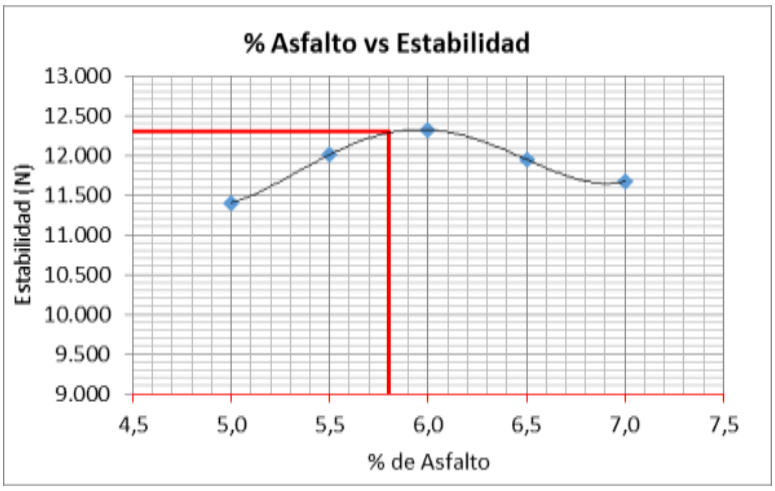


Gráfico 4 Flujo Marshall Vs % de Asfalto

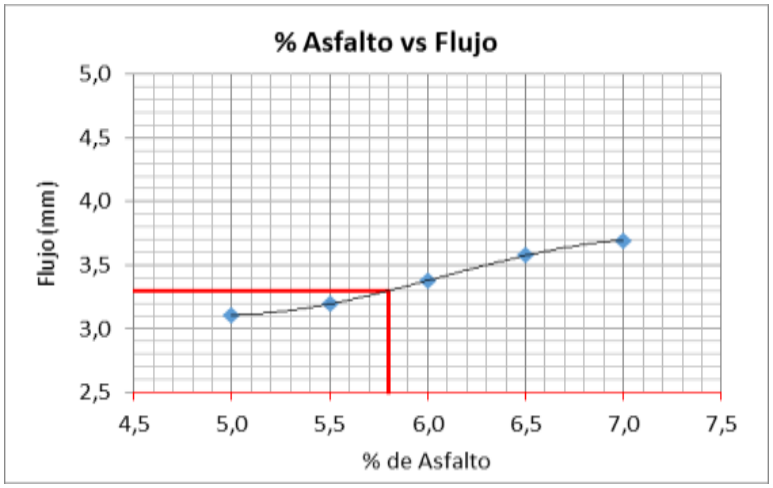


Gráfico 5 Relación Estabilidad/Flujo Vs % de Asfalto

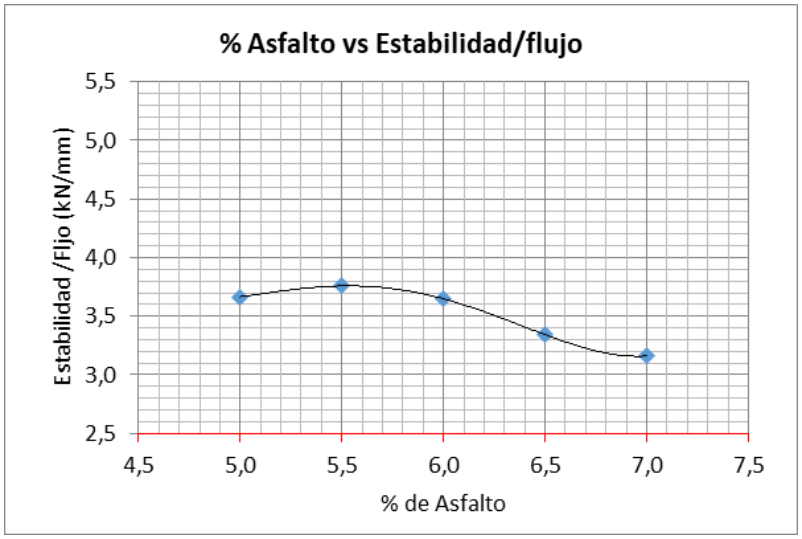


Gráfico 6 Gravedad especifica bulk Vs % de Asfalto

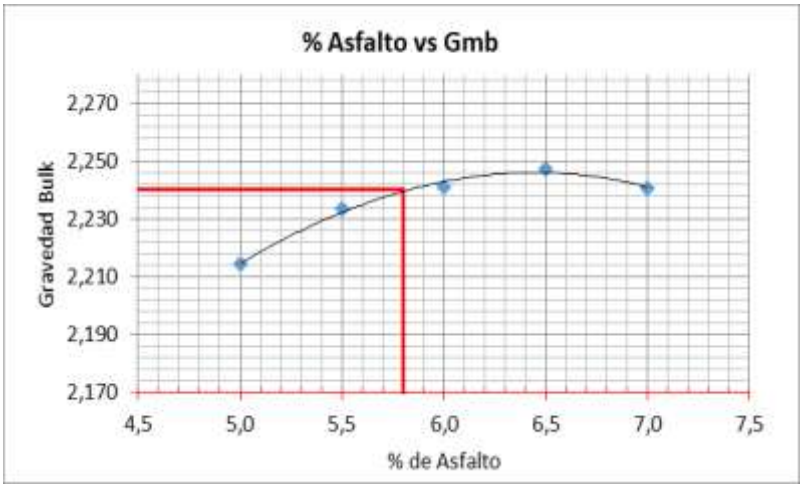


Gráfico 7 Gravedad específica máxima medida Vs % de Asfalto

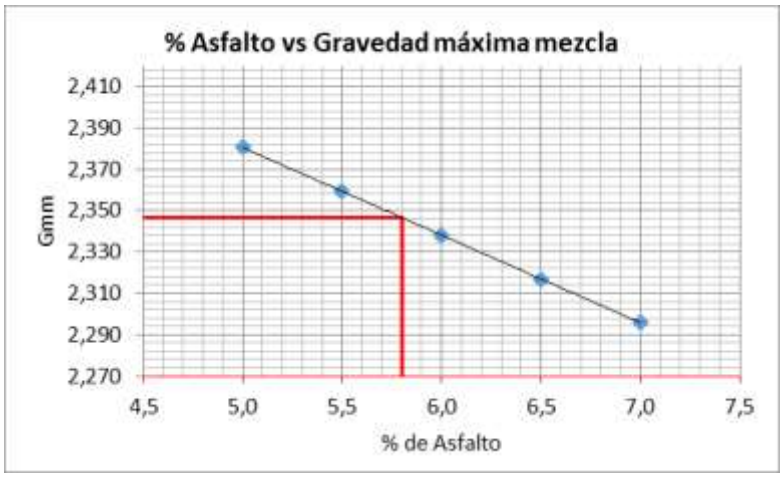


Gráfico 8 Vacíos con aire (Va) Vs % de Asfalto

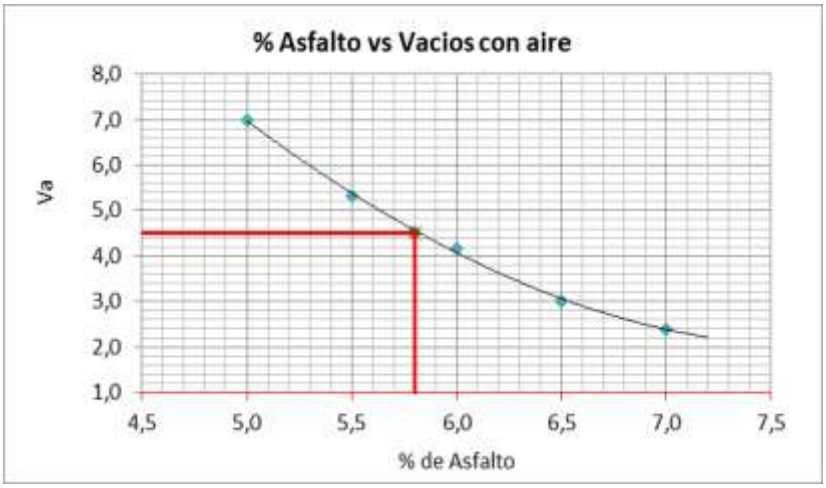


Gráfico 9 Vacíos en agregado mineral Vs % de Asfalto

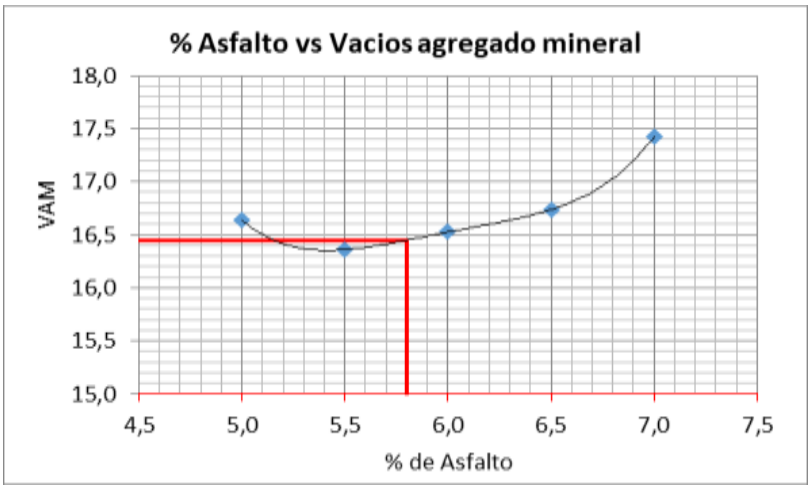


Gráfico 10 Vacíos llenos con asfalto Vs. % de Asfalto

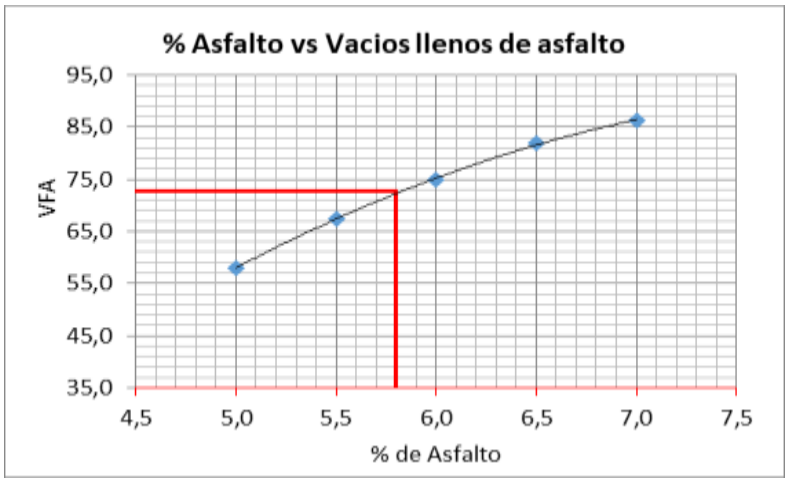


Gráfico 11 Concentración real del llenante en volumen Vs % de Asfalto

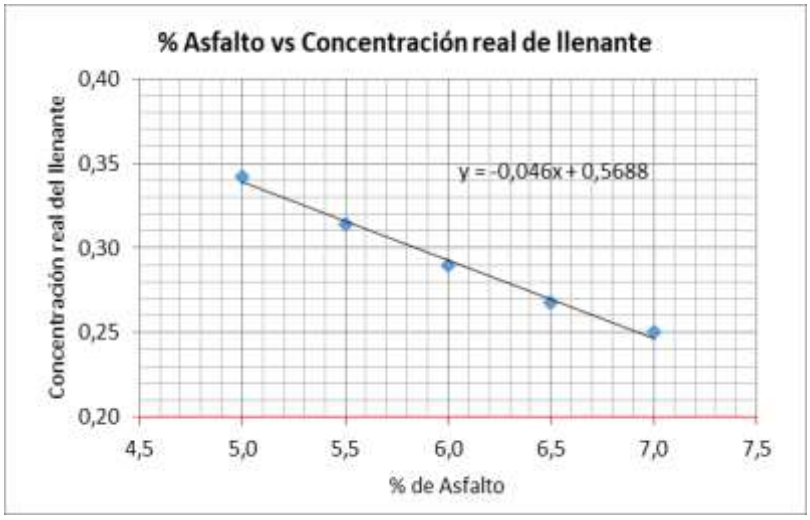


Gráfico 12 Relación Filler/Ligante efectivo Vs % de Asfalto

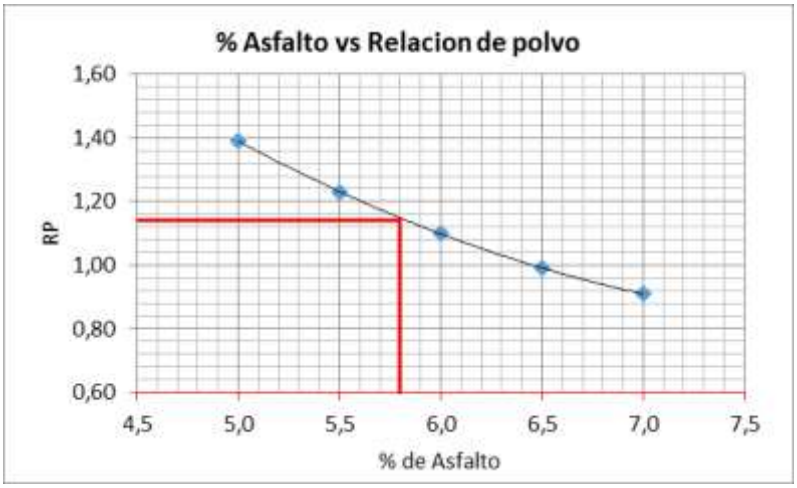


Gráfico 13 Espesor de película de asfalto Vs % de Asfalto

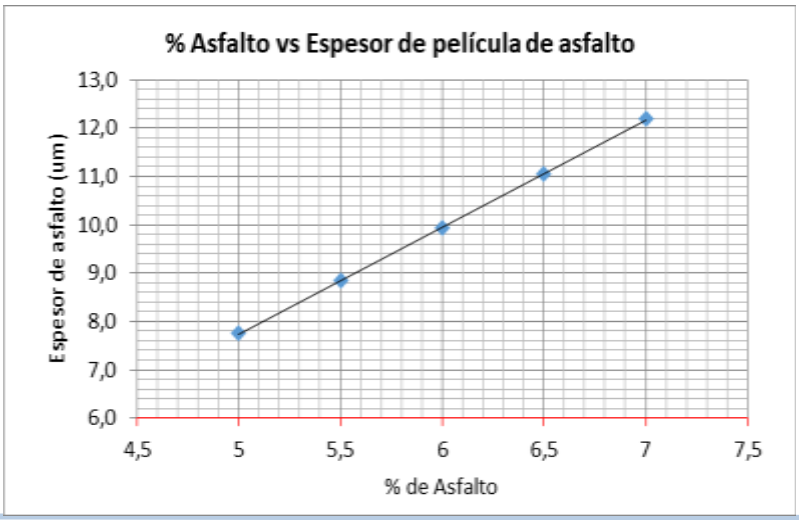


Tabla 13 Fórmula de Trabajo del diseño Marshall evaluados en el óptimo de asfalto para la MDC-19

CARACTERISTICA	ESPECIFICACIÓN	INTERVALO CUMPLE	RESULTADOS
% Óptimo de asfalto	-	5,6 a 6,0	5,8
Densidad Bulk, Kg/m^3	-	-	2233
Estabilidad	Mayor que 9000 N	5,0 a 7,0	12300
Flujo	2 a 3.5 mm	5,0 a 6,3	3,30
Vacíos con aire	4 a 6%	5,3 a 6,0	4,6
Vacíos en agregado mineral	Mayor que 15 %	5,0 a 7,0	16,5
Vacíos llenos con asfalto	65 – 75 %	5,4 a 6,0	72,3
Relación llenante/ligante	0,8 – 1,2	5,8 a 7,0	1,15
Espesor de película de asfalto	Mayor que 7,5 µm	5,0 a 7,0	9,5
Concentración en volumen del llenante mineral (Cv)	Cv < Cs	5,0 a 7,0	0,302 < 0,361
Relación Estabilidad/Flujo	3 a 6 kN/mm	5,0 a 7,0	3,73

6 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Es importante mantener homogeneidad en los acopios de materiales para la producción de mezcla. Los acopios se deben homogenizar antes de la producción para evitar la segregación de los materiales y garantizar una granulometría que cumpla los rangos de la fórmula de trabajo en la producción en planta.

- Se debe chequear antes de cada producción las granulometrías y verificar que la combinación de agregados se encuentre dentro de la franja interna de la fórmula de trabajo. Si es necesario se debe ajustar la proporción de agregados para cumplir la franja interna.

- Los agregados de la mezcla se deben proteger de la intemperie, cubrir con plástico triturados y arenas o preferiblemente bajo ramada o invernadero, para mantener humedades bajas de los mismos.

- La presente fórmula de trabajo puede estar sujeta a ajuste durante el primer mes de producción con el fin de validar la franja interna de los agregados y los valores de resistencia y diseño volumétrico Marshall, pasado este mes se presentará a cliente la información de ajuste de acuerdo con el análisis estadístico de los datos reportados.

- Es de gran importancia mantener las temperaturas de mezcla y compactación en laboratorio entre los rangos de acuerdo con la curva reológica del asfalto. En ningún caso se debe permitir el calentamiento del asfalto y la producción de mezclas a una temperatura superior a la recomendada en la curva reológica.

Elaboró:	Revisó:	Aprobó:
		
Ing. Sergio Alfredo Cifuentes Mosquera	Ing. Nathalia Rodriguez Uribe	Ing. John Jairo Calderón Ocampo
Especialista en Pavimentos	Directora de Materiales	Director Líder de Proyectos