

## ANEXO I

### METODOLOGIA MARSHALL

Una vez definido el tipo de mezcla, en este caso mezcla densa en caliente MDC -19 usando un asfalto 60-70 usamos 4 porcentajes de asfalto (4.50%, 5.00%, 5.50% y 6.00%). Luego continuamos con la granulometría definida para este ensayo la cual se puede ver reflejada en la tabla 6 granulometría para ensayo Marshall con sus respectivas correcciones.

teniendo la granulometría el siguiente paso es definir la caracterización de los agregados y del asfalto que también se pueden ver reflejados en las tablas 9, 10 y 11 caracterización de los agregados.

Finalizando con la composición volumétrica para esto necesitamos las masas con el material seco ( $M_s$ ), el material saturado superficialmente seco ( $M_{sss}$ ) y el material saturado.

Ya teniendo las masas lo primero que debemos averiguar es **la gravedad específica aparente ( $G_{mb}$ )** el cual lo tomamos de la siguiente formula:

$$G_{mb} = \frac{M_s}{M_{sss} - M_{sum}}$$

También debemos tener presentes las densidades de los agregados, la llenante mineral y el asfalto, pues esta densidad es necesaria para poder determinar **la gravedad específica máxima teórica ( $G_{mm}$ )** la cual la obtenemos de la siguiente formula:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% Ag}{d_{Ag}} + \frac{\% Af}{d_{Af}} + \frac{\% LL}{d_{LL}} + \frac{\% a}{d_a}}$$

Ya teniendo la gravedad específica máxima teórica y la gravedad específica aparente procedemos a calcular el porcentaje de volumen de aire ( $V_a$ ), junto con el porcentaje de volumen de bitumen o material asfáltico ( $V_b$ ) de la briqueta, estas las con la siguiente formula:

$$V_a \% = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} * 100$$

$$Vb \% = \frac{Gmb * \%a}{d a} * 100$$

Siendo %a el porcentaje de asfalto y da la densidad del asfalto.

Ya teniendo el porcentaje de volumen de aire y de bitumen podemos obtener los **vacíos del agregado mineral (VAM)** el cual se haya sumado los porcentajes de volumen de aire y de bitumen (Va%+Vb%). Con estos vacíos de agregado mineral podemos determinar los **vacios llenos de asfalto (VFA)** el cual se puede determinar con la siguiente formula

$$VFA = \frac{Vb}{VAM} * 100$$

Teniendo en cuenta, esta información los resultados que nos da para los asfaltos serian:

Briquetas	Asfalto (%)	M seca	M sss	M agua	Gmb	Materiales	%	Corrección %
1,0	4,5	1187,00	1181,30	668,20	2,313	A grueso	43	41,1
2,0	4,5	1185,20	1185,60	672,10	2,308	A Fino	51	48,7
3,0	4,5	1183,60	1183,90	669,30	2,300	Llenante	6	5,7
						Asfalto	4,5	4,5
4,0	5,0	1137,80	1199,00	675,20	2,172	A grueso	43	40,9
5,0	5,0	1190,20	1161,50	669,70	2,420	A Fino	51	48,5
6,0	5,0	1189,10	1185,50	669,90	2,306	Llenante	6	5,7
						Asfalto	5	5
7,0	5,5	1183,10	1189,60	674,30	2,296	A grueso	43	40,6
8,0	5,5	1204,00	1205,00	680,20	2,294	A Fino	51	48,2
9,0	5,5	1195,00	1195,50	678,50	2,311	Llenante	6	5,7
						Asfalto	5,5	5,5
10,0	6,0	1187,50	1187,80	674,20	2,312	A grueso	43	40,4
11,0	6,0	1195,80	1187,10	677,90	2,348	A Fino	51	47,9
12,0	6,0	1192,40	1192,90	680,50	2,327	Llenante	6	5,6

						Asfalto	6	6
--	--	--	--	--	--	---------	---	---

Densidad	Gmm	Va	Va %	Vb(%)	Vb(%)	VAM(%)	VAM(%)	VFA(%)	VFA(%)
2,640	2,454	5,7	6,0	9,5	9,4	15,2	15,4	62,2	61,2
2,580		6,0		9,4		15,4		61,3	
2,580		6,3		9,4		15,7		60,0	
1,100		6,0		9,4		15,4		61,2	
2,640	2,439	10,9	5,7	9,9	10,5	20,8	16,2	47,5	67,9
2,580		0,8		11,0		11,8		93,5	
2,580		5,4		10,5		15,9		65,9	
1,100		5,7		10,5		16,2		64,7	
2,640	2,423	5,2	5,1	11,5	11,5	16,7	16,6	68,6	69,5
2,580		5,3		11,5		16,8		68,3	
2,580		4,6		11,6		16,2		71,5	
1,100		5,1		11,5		16,6		69,5	
2,640	2,408	4,0	3,3	12,6	12,7	16,6	16,0	76,0	79,6
2,580		2,5		12,8		15,3		83,9	
2,580		3,3		12,7		16,0		79,1	
1,100		3,3		12,7		16,0		79,6	

ya teniendo en cuenta la composición volumétrica del tipo de mezcla continuamos con los parámetros de resistencia mecánica, el primero es la estabilidad Marshall el cual trata de la resistencia a la máxima carga antes de que la briqueta falle, en este caso la máxima carga está dada en kilogramos fuerza (kg) para esto debemos convertir estos datos en kilo newton de la siguiente manera.

$$E (Kn) = \frac{E(kg) * 9.81m/s^2}{1000}$$

Además si el espesor o la altura en este caso de la probeta es diferente de 63.5mm, el valor de estabilidad obtenido en el ensayo se deberá corregir, multiplicándolo por el factor que corresponda de la tabla

VOLUMEN DE LA PROBETA cm <sup>3</sup>	ESPESOR DE LA PROBETA		FACTOR DE CORRECCIÓN
	mm	pg.	
200 a 213	25.4	1.00	5.56
214 a 225	27.0	1.06	5.00
226 a 237	28.6	1.12	4.55
238 a 250	30.2	1.19	4.17
251 a 264	31.8	1.25	3.85
265 a 276	33.3	1.31	3.57
277 a 289	34.9	1.38	3.33
290 a 301	36.5	1.44	3.03
302 a 316	38.1	1.50	2.78
317 a 328	39.7	1.56	2.50
329 a 340	41.3	1.62	2.27
341 a 353	42.9	1.69	2.08
354 a 367	44.4	1.75	1.92
368 a 379	46.0	1.81	1.79
380 a 392	47.6	1.88	1.67
393 a 405	49.2	1.94	1.56
406 a 420	50.8	2.00	1.47
421 a 431	52.4	2.06	1.39
432 a 443	54.0	2.12	1.32
444 a 456	55.6	2.19	1.25
457 a 470	57.2	2.25	1.19
471 a 482	58.7	2.31	1.14
483 a 495	60.3	2.38	1.09
496 a 508	61.9	2.44	1.04
509 a 522	63.5	2.50	1.00

También tenemos como parámetro de resistencia mecánica el flujo Marshall, el cual trata básicamente de la deformación diametral que obtiene la briqueta después de aplicarle una carga, esta deformación es expresada en milímetros. Podemos observar los resultados de esta resistencia mecánica en la siguiente tabla.

El ultimo parámetro de la resistencia mecánica es la rigidez del tipo de mezcla asfáltica la cual se obtiene por medio de la siguiente relación entre la estabilidad y el flujo, a

continuación, podemos observar como serian nuestros parámetros de resistencia mecánica del tipo de mezcla en una tabla la cual contiene los valores en un consolidado.

<b>Resumen - ASFALTO 60-70</b>						
Asfaltos (%)	Va(%)	VAM(%)	VFA(%)	E(kN)	F(mm)	E/F(Kn/MM)
4,50	6,00	15,43	61,16	13,15	2,37	5,55
5,00	5,70	15,55	73,55	14,65	2,70	5,43
5,50	5,06	16,56	69,48	14,57	3,10	4,70
6,00	3,26	15,97	79,65	12,58	3,30	3,81

Luego comparamos nuestros resultados y observamos que se encuentran entre las especificaciones limite las cuales son:

<b>Especificaciones Limite</b>										
Asfaltos (%)	Va min (%)	Va max(%)	VAM min (%)	VFA min (%)	VFA max (%)	E min (kN)	F min (mm)	F max (mm)	E/F min (Kn/MM)	E/F max (Kn/MM)
4,5	4,0	6,0	15,0	65,0	75,0	9,0	2,0	3,5	3,0	6,0
5,0	4,0	6,0	15,0	65,0	75,0	9,0	2,0	3,5	3,0	6,0
5,5	4,0	6,0	15,0	65,0	75,0	9,0	2,0	3,5	3,0	6,0
6,0	4,0	6,0	15,0	65,0	75,0	9,0	2,0	3,5	3,0	6,0

Teniendo en cuenta lo siguiente graficamos nuestros resultados para poder dar como resultado nuestro porcentaje optimo









