



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN  
LABORATORIO DE ASFALTOS

**PROYECTO:** "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LA ADHERENCIA Y RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS"  
**TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO:** 85/100  
**FECHA:** 7 de Noviembre de 2022  
**LABORATORISTA:** Univ. Ruth Daniela Calle Alá

CARACTERIZACIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO  
ASFALTO CONVENCIONAL 85/100  
ORIGEN: COLOMBIA

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS			RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
<b>Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (AASHTO T49-97)</b>							
Lectura N°1	0,1 mm	96	93	93	<b>86</b>	85	100
Lectura N°2	0,1 mm	83	91	87			
Lectura N°3	0,1 mm	75	80	79			
Penetración Promedio	0,1 mm	85	88	86			
<b>Peso Específico a 25°C (AASHTO 7229-97)</b>							
Peso Picnómetro	gr	34.0	35.8	34.6	<b>1.001</b>	1	1.05
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	88.3	86.5	87.9			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	65.5	64	65.6			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	87.8	86.6	88.6			
Peso Específico Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	0.981	1.001	1.020			
<b>Punto de Inflamación (AASHTO T79-96)</b>							
	°C	240	230	236	<b>235</b>	232	-
<b>Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)</b>							
	°C	46.5	47.0	46.0	<b>47</b>	42	53
<b>Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)</b>							
	cm	112	106	108	<b>109</b>	100	-
<b>Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C</b>							
	s SF	90	109.0	101.0	<b>100.0</b>	85	400

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
LABORATORISTA

Ing. Seila Claudia Ávila Sandoval  
RESP. DE LAB. DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN  
LABORATORIO DE ASFALTOS

**PROYECTO:** "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LA ADHERENCIA Y RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS"  
**TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO:** 50/75  
**FECHA:** 31 de Marzo de 2023  
**LABORATORISTA:** Univ. Ruth Daniela Calle Alá

CARACTERIZACIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO  
ASFALTO MODIFICADO 50/75  
ORIGEN: CHILE

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS		RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
		1	2		Mínimo	Máximo
<b>Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (AASHTO T49-97)</b>						
Lectura N°1	0,1 mm	76	78	75	50	75
Lectura N°2	0,1 mm	72	71			
Lectura N°3	0,1 mm	75	77			
Penetración Promedio	0,1 mm	74	75			
<b>Peso Específico a 25°C (AASHTO 7229-97)</b>						
Peso Picnómetro	gr	34.4	35.4	1.004	1	1.05
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	87.2	89.7			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	68.2	68.5			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	88.5	88.8			
Peso Específico Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	1.037	0.971			
<b>Punto de Inflamación (AASHTO T79-96)</b>	°C	294	272	283	232	-
<b>Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)</b>	°C	72.0	69.0	71	65	-
<b>Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)</b>	cm	103	106	105	100	-

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
LABORATORISTA



**UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

**PROYECTO:** "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LA ADHERENCIA Y RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS"

**PROCEDENCIA DEL AGREGADO:** CHANCADORA GARZÓN

**FECHA:** Noviembre del 2022

**LABORATORISTA:** Univ. Ruth Daniela Calle Alá

**DISEÑO GRANULOMÉTRICO - MÉTODO MARSHALL**  
**(ASTM D 3515)**

Tamices	tamaño (mm)	DOSIFICACIÓN								CURVA DE DOSIFICACIÓN				Especificaciones ASTM D3515	
		Grava *	Gravilla *	Arena *	Filler *	Grava (%)	Gravilla (%)	Arena (%)	Filler (%)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	26.00	30.00	40.00	4.00	100.00					
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.0	119.13	0.00	0.00	0.00	30.97	0.00	0.00	0.00	30.97	30.97	0.62	99.38	90	100
1/2"	12.5	3243.73	18.00	0.00	0.00	843.37	5.40	0.00	0.00	848.77	879.75	17.59	82.41	-	-
3/8"	9.50	1235.87	670.77	0.00	0.00	321.33	201.23	0.00	0.00	522.56	1402.30	28.05	71.95	56	80
Nº4	4.75	398.17	3523.33	244.17	0.00	103.52	1057.00	97.67	0.00	1258.19	2660.49	53.21	46.79	35	65
Nº8	2.36	0.37	772.63	977.50	0.00	0.10	231.79	391.00	0.00	622.89	3283.38	65.67	34.33	23	49
Nº16	1.18	0.33	10.37	749.17	0.00	0.09	3.11	299.67	0.00	302.86	3586.24	71.72	28.28	-	-
Nº30	0.60	0.00	0.80	658.67	0.00	0.00	0.24	263.47	0.00	263.71	3849.95	77.00	23.00	-	-
Nº50	0.30	0.00	0.30	891.83	0.00	0.00	0.09	356.73	0.00	356.82	4206.77	84.14	15.86	5	19
Nº100	0.15	0.00	0.33	893.33	0.00	0.00	0.10	357.33	0.00	357.43	4564.20	91.28	8.72	-	-
Nº200	0.075	1.33	1.93	427.00	0.00	0.35	0.58	170.80	0.00	171.73	4735.93	94.72	5.28	2	8
BASE	-	1.07	1.53	158.33	5000.00	0.28	0.46	63.33	200.00	264.07	5000.00	100.00	0.00	-	-
<b>PESO TOTAL</b>		5000.0	5000.0	5000.0	5000.0	1300.00	1500.00	2000.00	200.00	5000.0					

(\*) = Pesos retenidos que se obtienen de las curvas granulométricas de cada tipo de agregado, referidas a un peso total de 5.000 gramos.

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
**LABORATORISTA**

Ing. Seila Claudia Ávila Sandoval  
**RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS**



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION  
LABORATORIO DE ASFALTOS

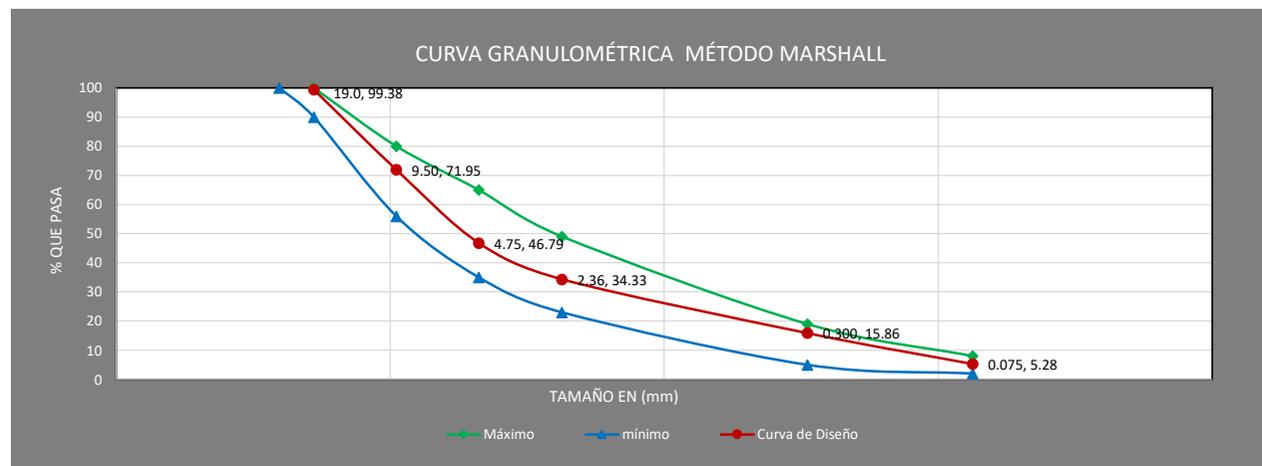
PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LA ADHERENCIA Y RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS"

PROCEDENCIA DEL AGREGADO: CHANCADORA GARZÓN

FECHA: Noviembre del 2022

LABORATORISTA: Univ. Ruth Daniela Calle Alá

### CURVA DE DISEÑO GRANULOMÉTRICO - MÉTODO MARSHALL (ASTM D 3515)



Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
LABORATORISTA

Ing. Seila Claudia Ávila Sandoval  
RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN  
LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LA ADHERENCIA Y RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS"

PROCEDENCIA DEL AGREGADO: CHANCADORA GARZÓN

LABORATORISTA: Univ. Ruth Daniela Calle Alá

TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: 85/100

FECHA: Noviembre del 2022

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES  
CON 4% FILLER

Peso Total de Briqueta (gr)	1200
Ponderación de Grava (%)	26
Ponderación de Gravilla (%)	30
Ponderación de Arena (%)	40
Ponderación de Filler (%)	4

Porcentaje de Briqueta	100%
Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Porcentaje de Agregado	Y=100 - X

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	3.42%	4.42%	4.92%	5.42%	5.92%	6.42%
Porcentaje de Agregado (%)	96.58%	95.58%	95.08%	94.58%	94.08%	93.58%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	41.04	53.04	59.04	65.04	71.04	77.04
Peso de Grava (gr) *	301.33	298.21	296.65	295.09	293.53	291.97
Peso de Gravilla (gr) *	347.69	344.09	342.29	340.49	338.69	336.89
Peso de Arena (gr) *	463.58	458.78	456.38	453.98	451.58	449.18
Peso de Filler (gr) *	46.36	45.88	45.64	45.40	45.16	44.92
Peso total de la briqueta (gr) *	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

(\*) Valores para una briqueta, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
LABORATORISTA

Ing. Seila Claudia Ávila Sandoval  
RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

TIPO DE LIGANTE: CEMENTO ASFÁLTICO 85/100  
 PROCEDENCIA DEL AGREGADO: CHANCADORA GARZON

PROCEDENCIA : COLOMBIA  
 FECHA: NOVIEMBRE/2022

**PLANILLA MÉTODO MARSHALL**  
**PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO**

Granulometría Formada	P. Especifico	% agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.70	53.21
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.76	46.79
Peso Especifico Total	2.73	100

TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL	85/100
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	75
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	160
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)	1.0010

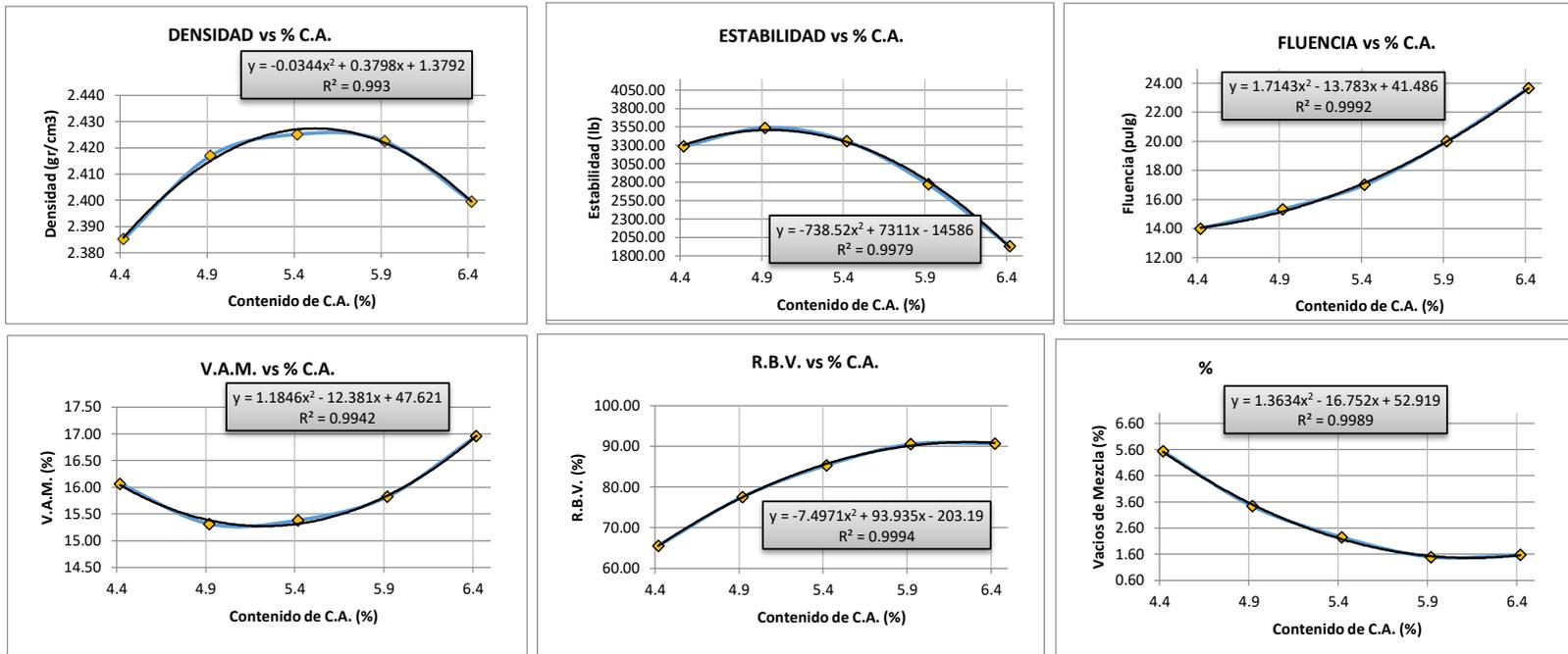
Agregado	P.E.	%
Grava	2.69	26
Gravilla	2.70	30
Arena	2.77	40
Filler	2.68	4

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia	
	base Mezcla	base Agregado		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	K.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg
1	3.42	3.54	6.30	1157.2	1163.4	671	492.4	2.35	2.35	2.57	8.49	16.52	48.62	969	2591.102	1.01	2624.79	2579.14	13	13.33
2			6.30	1163.0	1167.8	673	494.8	2.35						934	2496.854	1.01	2529.31		12	
3			6.29	1160.4	1165.2	672	493.2	2.35						951	2542.632	1.02	2583.31		15	
4	4.42	4.62	6.19	1152.1	1156.9	674	482.9	2.39	2.39	2.52	5.53	16.06	65.56	1189	3183.518	1.04	3320.41	3284.58	14	14.00
5			6.22	1157.9	1162.0	675	487.0	2.38						1164	3116.198	1.04	3225.26		13	
6			6.20	1155.1	1158.9	676	482.9	2.39						1188	3180.825	1.04	3308.06		15	
7	4.92	5.17	6.23	1174.0	1177.4	688	489.4	2.40	2.42	2.50	3.43	15.31	77.57	1253	3355.857	1.03	3463.24	3536.50	14	15.33
8			6.21	1141.3	1145.7	675	470.7	2.42						1261	3377.4	1.04	3502.36		16	
9			6.23	1144.9	1148.7	677	471.7	2.43						1318	3530.889	1.03	3643.88		16	
10	5.42	5.73	6.17	1163.0	1166.6	685	481.6	2.41	2.43	2.48	2.25	15.38	85.36	1199	3210.446	1.05	3367.76	3356.13	16	17.00
11			6.13	1142.8	1145.6	679	466.6	2.45						1155	3091.963	1.06	3283.66		17	
12			6.14	1160.1	1163.1	682	481.1	2.41						1205	3226.603	1.06	3416.97		18	
13	5.92	6.29	5.99	1125.6	1128.8	664	464.8	2.42	2.42	2.46	1.50	15.82	90.55	972	2599.18	1.11	2874.69	2769.14	21	20.00
14			6.06	1154.9	1156.7	680	476.7	2.42						892	2383.756	1.08	2583.99		20	
15			6.05	1131.2	1135.8	669	466.8	2.42						980	2620.723	1.09	2848.73		19	
16	6.42	6.86	6.18	1168.0	1178.0	688	490.0	2.38	2.40	2.44	1.57	16.96	90.74	624	1662.086	1.05	1738.54	1931.97	25	23.67
17			6.31	1193.2	1195.1	701	494.1	2.41						748	1995.993	1.01	2017.95		23	
18			6.28	1187.3	1191.7	697	494.7	2.40						750	2001.379	1.02	2039.40		23	
ESPECIFICACIONES			minimo				3	13	75				1800			8				
			maximo				5	-	82				-			16				

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
 LABORATORISTA

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
 RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS

**CURVAS MÉTODO MARSHALL  
PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO**



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	3507.86	4.95
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2.43	5.52
	Vacios de la mezcla (%)	4.00	4.76
	<b>% Porcentaje óptimo de C.A.</b>	<b>Promedio (%) =</b>	<b>5.08</b>



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

**TIPO DE LIGANTE:** CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS 50/75      **PROCEDENCIA :** CHILE  
**PROCEDENCIA DEL AGREGADO:** SAN MATEO (LA GARZÓN)      **FECHA:** MAYO/2023

**PLANILLA MÉTODO MARSHALL**  
**PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO**

Granulometría Formada	P. Especifico	% agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.70	53.21
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.76	46.79
Peso Especifico Total	2.73	100

TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: MODIFICADO	50/75
NUMERO DE GOLPES POR CARA	75
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	180
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)	1.0040

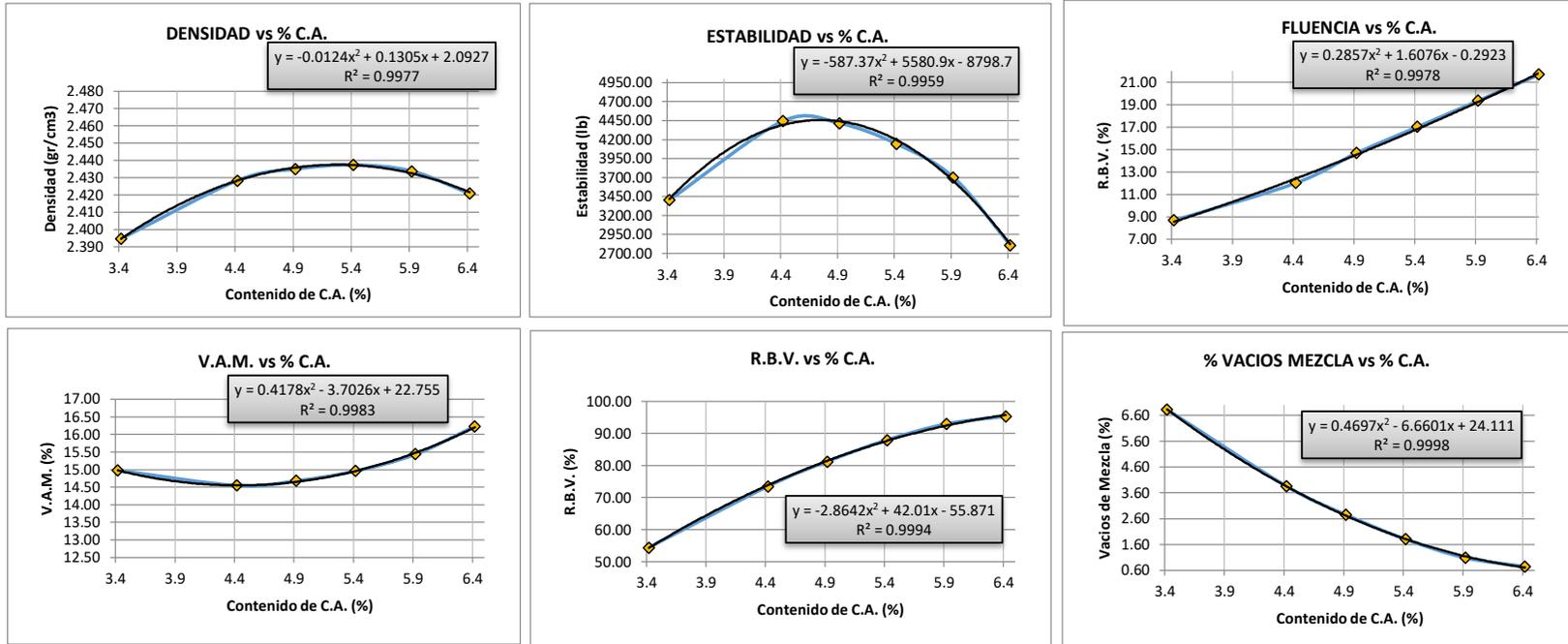
Agregado	P.E.	%
Grava	2.69	26
Gravilla	2.70	30
Arena	2.77	40
Filler	2.68	4

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia	
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacuos)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg
1	3.42	3.54	6.50	1190.2	1191.9	695	496.9	2.40	2.39	2.57	6.82	14.98	54.47	1218.00	3261.61	0.96	3139.30	3406.19	7	8.67
2			6.52	1214.1	1215.0	708	507.0	2.39						1327.00	3555.12	0.96	3406.16		9	
3			6.47	1183.5	1185.3	691	494.3	2.39						1413.00	3786.71	0.97	3673.10		10	
4	4.42	4.62	6.12	1164.5	1166.0	689	477.0	2.44	2.43	2.53	3.86	14.55	73.50	1594.00	4274.10	1.07	4551.92	4444.17	11	12.00
5			6.16	1175.7	1176.8	693	483.8	2.43						1591.00	4266.02	1.05	4492.12		13	
6			6.07	1157.8	1159.7	680	479.7	2.41						1480.00	3967.12	1.08	4288.46		12	
7	4.92	5.17	6.18	1184.2	1186.0	698	488.0	2.43	2.44	2.50	2.75	14.68	81.28	1573.00	4217.55	1.05	4411.56	4413.59	13	14.67
8			6.23	1194.4	1195.5	705	490.5	2.44						1595.00	4276.79	1.03	4413.65		15	
9			6.16	1175.0	1176.9	696	480.9	2.44						1564.00	4193.32	1.05	4415.56		16	
10	5.42	5.73	6.11	1160.4	1161.6	687	474.6	2.45	2.44	2.48	1.80	14.96	87.96	1401.00	3754.39	1.07	4009.69	4144.31	18	17.00
11			6.07	1173.7	1174.5	693	481.5	2.44						1497.00	4012.90	1.08	4337.95		17	
12			6.02	1166.9	1168.3	688	480.3	2.43						1391.00	3727.46	1.10	4085.30		16	
13	5.92	6.29	6.05	1163.2	1164.3	688	476.3	2.44	2.43	2.46	1.09	15.44	92.97	1244.00	3331.62	1.09	3621.47	3703.14	20	19.33
14			6.03	1157.9	1158.8	682	476.8	2.43						1265.00	3388.17	1.09	3703.27		19	
15			6.00	1159.7	1161.1	684	477.1	2.43						1281.00	3431.26	1.10	3784.67		19	
16	6.42	6.86	6.03	1161.5	1162.5	683	479.5	2.42	2.42	2.44	0.75	16.23	95.39	1011.00	2704.20	1.09	2955.69	2810.80	22	21.67
17			6.05	1158.0	1159.4	681	478.4	2.42						967.00	2585.72	1.09	2810.67		22	
18			6.01	1156.8	1158.1	680	478.1	2.42						988.00	2642.27	1.01	2666.05		21	
ESPECIFICACIONES			minimo				3	13	75				1800			8				
			maximo				5	-	82				-			16				

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
**LABORATORISTA**

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
**RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS**

**CURVAS MÉTODO MARSHALL  
PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO**



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	4458.04	4.75
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2.44	5.26
	Vacios de la mezcla (%)	4.00	4.33
	<b>% Porcentaje óptimo de C.A.</b>	<b>Promedio (%) =</b>	<b>4.78</b>



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

TIPO DE LIGANTE: CEMENTO ASFÁLTICO 85/100  
 PROCEDENCIA DEL AGREGADO: CHANCADORA GARZON

PROCEDENCIA : COLOMBIA  
 FECHA: MAYO 2023

**PLANILLA METODO MARSHALL**  
**EFFECTOS DE LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Granulometría Formada	P. Especifico	% agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.70	53.21
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.76	46.79
Peso Especifico Total	2.73	100

TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL	85/100
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	75
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	160
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)	1.0010

Agregado	P.E.	%
Grava	2.69	26
Gravilla	2.70	30
Arena	2.77	40
Filler	2.68	4

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta cm3	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia	
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	K <sub>55-V</sub> (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
<b>Ensayo realizado a 0 hrs</b>																				
1	5.08	5.35	6.05	1171.1	1174.0	689	485.0	2.41	2.42	2.50	3.21	15.47	79.25	1302	3487.80	1.09	3791.24	3294.50	15	14.33
2			6.21	1180.3	1183.8	695	488.8	2.41						1231	3296.62	1.04	3418.59		14	
3			6.18	1164.7	1167.7	686	481.7	2.42						956	2556.10	1.05	2673.68		14	
<b>Ensayo realizado a 24 hrs</b>																				
4	5.08	5.35	7.18	1183.8	1187.2	689	498.2	2.38	2.41	2.50	3.49	15.71	77.81	1128	3019.26	0.83	2494.81	2663.61	13	13.00
5			5.98	1141.3	1145.7	677	468.7	2.44						1090	2916.93	1.11	3234.88		12	
6			6.45	1163.5	1166.7	685	481.7	2.42						868	2319.13	0.98	2261.15		14	
<b>Ensayo realizado a 36 hrs</b>																				
7	5.08	5.35	6.13	1173.6	1177.4	689	488.4	2.40	2.40	2.50	3.74	15.93	76.52	823	2197.95	1.06	2334.23	2553.02	12	11.67
8			6.09	1153.4	1156.4	678	478.4	2.41						783	2090.24	1.07	2244.92		11	
9			6.27	1181.9	1184.8	691	493.8	2.39						1127	3016.56	1.02	3079.91		12	
<b>Ensayo realizado a 48 hrs</b>																				
10	5.08	5.35	6.16	1164.8	1168.3	688	480.3	2.43	2.41	2.50	3.30	15.55	78.76	731	1950.22	1.05	2053.58	2373.24	10	10.00
11			6.24	1187.2	1190.5	697	493.5	2.41						943	2521.09	1.03	2594.20		9	
12			6.21	1177.7	1180.8	692	488.8	2.41						892	2383.76	1.04	2471.96		11	
ESPECIFICACIONES			minimo				3	13	75				1800			8				
			maximo				5	-	82				-			16				

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
**LABORATORISTA**

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
**RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

TIPO DE LIGANTE: CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 50-75  
 PROCEDENCIA DEL AGREGADO: SAN MATEO (LA GARZÓN)

PROCEDENCIA :CHILE  
 FECHA: MAYO/ 2023

**PLANILLA METODO MARSHALL**  
**EFFECTOS DE LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Granulometría Formada	P. Especifico	% agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.70	53.21
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.76	46.79
Peso Especifico Total	2.73	100

TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: MODIFICADO	50/75
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	75
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	180
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)	1.0040

Agregado	P.E.	%
Grava	2.69	26
Gravilla	2.70	30
Arena	2.77	40
Filler	2.68	4

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	K <sub>ABV</sub> (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
<b>Ensayo realizado a 0 hrs</b>																					
1	4.78	5.02	6.11	1174.5	1176.0	689	487.0	2.41	2.42	2.51	3.50	15.03	76.70	1612	4322.57	1.07	4616.51	4429.22	17	16.00	
2			6.16	1185.7	1176.8	691	485.8	2.44						1521	4077.53	1.05	4293.64		14		
3			6.23	1157.8	1159.7	680	479.7	2.41						1582	4241.79	1.03	4377.53		17		
<b>Ensayo realizado a 24 hrs</b>																					
4	4.78	5.02	6.27	1161.5	1163.0	689	474.0	2.45	2.42	2.51	3.50	15.03	76.73	1392	3730.16	1.02	3808.49	3923.93	15	14.33	
5			6.32	1177.9	1179.5	693	486.5	2.42						1473	3948.27	1.01	3979.86		14		
6			6.18	1183.1	1185.0	691	494.0	2.39						1421	3808.25	1.05	3983.43		14		
<b>Ensayo realizado a 36 hrs</b>																					
7	4.78	5.02	6.11	1174.5	1176.0	693	483.0	2.43	2.42	2.51	3.73	15.23	75.52	1328	3557.82	1.07	3799.75	3726.23	11	11.67	
8			6.15	1180.1	1181.5	695	486.5	2.43						1294	3466.26	1.06	3660.37		11		
9			6.22	1168.8	1170.7	682	488.7	2.39						1341	3592.82	1.04	3718.57		13		
<b>Ensayo realizado a 48 hrs</b>																					
10	4.78	5.02	6.21	1164.9	1166.4	689	477.4	2.44	2.43	2.51	3.16	14.73	78.55	1213	3248.15	1.04	3368.33	3469.76	10	10.33	
11			6.27	1175.7	1176.8	695	481.8	2.44						1292	3460.88	1.02	3533.55		11		
12			6.18	1177.3	1179.2	691	488.2	2.41						1252	3353.16	1.05	3507.41		10		
ESPECIFICACIONES			minimo				3	13	75				1800			8					
			maximo				5	-	82				-			16					

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
**LABORATORISTA**

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
**RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

**TIPO DE LIGANTE:** CEMENTO ASFÁLTICO 85/100      **PROCEDENCIA :** COLOMBIA  
**PROCEDENCIA DEL AGREGADO:** CHANCADORA GARZON      **FECHA:** MAYO/2023

**PLANILLA ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA**  
**EFFECTOS DE LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL		85/100	Agregado			P.E.	%
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2.70	53.21	NÚMERO DE GOLPES POR CARA		75	Grava			2.69	26
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2.76	46.79	TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)		160	Gravilla			2.70	30
Peso Especifico Total			2.73	100	PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm³)		1.0010	Arena			2.77	40
								Filler			2.68	4

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta	Densidad Briqueta			% de Vacios			T. Indirecta						
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	Carga	Diámetro	Resist. Compresión	Resist. Comp. Prom	IRC
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	kg	cm	kg/cm²	kg/cm²
<b>Ensayo realizado a 0 hrs</b>																				
1	5.08	5.35	6.16	1175.1	1178.0	690	488.0	2.41	2.50	3.49	15.71	77.79	864	2308.36	1047.05	10.19	10.62	9.11	-	
2			6.24	1182.5	1185.7	692	493.7	2.40					715	1907.13	865.06	10.16	8.69			
3			6.4	1171.3	1174.4	691	483.4	2.42					677	1804.80	818.65	10.15	8.02			
<b>Ensayo realizado a 24 hrs</b>																				
4	5.08	5.35	6.31	1184.1	1187.5	696	491.5	2.41	2.40	3.97	16.13	75.39	711	1896.36	860.17	10.12	8.57	7.61	83.57	
5			6.21	1165.2	1167.8	682	485.8	2.40					567	1508.60	684.29	10.12	6.93			
6			6.19	1171.5	1174.7	683	491.7	2.38					596	1586.69	719.71	10.09	7.33			
<b>Ensayo realizado a 36 hrs</b>																				
7	5.08	5.35	6.27	1178.2	1181.4	691	490.4	2.40	2.40	3.92	16.09	75.62	520	1382.03	626.88	10.12	6.29	5.65	62.01	
8			6.23	1166.2	1169.2	678	491.2	2.37					398	1053.51	477.87	10.12	4.82			
9			6.29	1175.4	1178.3	692	486.3	2.42					485	1287.79	584.13	10.13	5.84			
<b>Ensayo realizado a 48 hrs</b>																				
10	5.08	5.35	6.26	1177.3	1180.8	689	491.8	2.39	2.41	3.59	15.80	77.26	359	948.49	430.23	10.14	4.31	4.44	48.74	
11			6.15	1174.2	1177.5	691	486.5	2.41					282	741.15	336.18	10.11	3.44			
12			5.98	1173.7	1176.8	690	486.8	2.41					440	1166.61	529.17	10.13	5.56			
ESPECIFICACIONES			minimo				3	13	75											
			maximo				5	-	82											

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
**LABORATORISTA**

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
**RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

**TIPO DE LIGANTE:** CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 50-75      **PROCEDENCIA :** CHILE  
**PROCEDENCIA DEL AGREGADO:** SAN MATEO (LA GARZÓN)      **FECHA:** MAYO/2023

**PLANILLA ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA**  
**EFFECTOS DE LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado		TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: MODIFICADO		50/75		Agregado		P.E.	%
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2.70	53.21		NÚMERO DE GOLPES POR CARA		75		Grava		2.69	26
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2.76	46.79		TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)		180		Gravilla		2.70	30
Peso Especifico Total			2.73	100		PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm³)		1.0040		Arena		2.77	40
										Filler		2.68	4

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta	Densidad Briqueta			% de Vacios			T. Indirecta				Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	Carga	Diámetro	Resist. Compresión	Resist. Comp. Prom	IRC
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	kg	cm	kg/cm²	kg/cm²
<b>Ensayo realizado a 0 hrs</b>																				
1	4.78	5.02	6.17	1182.3	1183.6	696	487.6	2.42	2.42	2.51	3.52	15.05	76.63	916	2448.384	1110.57	10.10	11.34	10.00	-
2			6.00	1176.0	1177.7	693	484.7	2.43						764	2039.078	924.91	10.15	9.67		
3			6.03	1171.8	1173.4	688	485.4	2.41						712	1899.052	861.40	10.12	8.99		
<b>Ensayo realizado a 24 hrs</b>																				
4	4.78	5.02	6.14	1178.9	1180.9	692	488.9	2.41	2.42	2.51	3.78	15.28	75.27	723	1928.673	874.83	10.10	8.98	8.50	85.04
5			6.04	1163.2	1165.0	681	484.0	2.40						675	1799.419	816.20	10.12	8.50		
6			6.08	1171.1	1172.8	691	481.8	2.43						644	1715.942	778.34	10.14	8.04		
<b>Ensayo realizado a 36 hrs</b>																				
7	4.78	5.02	6.09	1181.2	1183.1	694	489.1	2.42	2.41	2.51	3.82	15.31	75.07	562	1495.132	678.18	10.14	6.99	6.46	64.58
8			5.98	1174.7	1176.5	689	487.5	2.41						492	1306.636	592.68	10.13	6.23		
9			6.18	1177.4	1179.0	692	487.0	2.42						502	1333.564	604.89	10.12	6.16		
<b>Ensayo realizado a 48 hrs</b>																				
10	4.78	5.02	6.06	1173.2	1175.0	689	486.0	2.41	2.42	2.51	3.70	15.20	75.69	482	1279.708	580.47	10.13	6.02	5.40	54.02
11			5.97	1183.6	1185.3	694	491.3	2.41						391	1034.664	469.32	10.16	4.93		
12			6.05	1179.0	1180.5	695	485.5	2.43						422	1118.14	507.18	10.15	5.26		
ESPECIFICACIONES			minimo											3	13	75				
			maximo											5	-	82				

Univ. Ruth Daniela Calle Alá  
**LABORATORISTA**

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
**RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS**



Carrera 19 A No. 73-65 La Libertad  
Tel: 6916081 - +57 318 7167942  
Barrancabermeja, Santander. Colombian Industry  
laboratorio@multinsa.com - www.multinsa.com

# CERTIFICADO DE CALIDAD

Del producto con las siguientes propiedades:

## ASFALTO CA 85-100

### N° 7129

Remisión: MUESTRA COMERCIAL

Fecha de despacho: 18-11-2022

Cliente:

Fecha de lote: 16-11-2022

Lote No.: MUESTRA COMERCIAL

Despacho: 1 Galón

Placa: N/A

Propiedad	Normativa		Especificación		Resultado
	AASHTO	ASTM	MÍN	MÁX	
Penetración Muestra Original a 25°C, mm/10	T-49	D-5	85	100	85
Viscosidad Absoluta a 60°C, P	T-316	D-4402	Informar		1320
Punto de Ablandamiento, Anillo-Bola, °C	T-53	D-36	43	53	46
Gravedad Específica a 25°C	T-229	D-70	1.00	1.05	1.015
Punto de Inflamación, vaso abierto Cleveland, °C	T-48	D-92	232	-	276
Solubilidad en Tricloroetileno, %	T-44	D-2042	99	-	99.97
Ductilidad a 25°C, cm	T-51	D-113	100	-	> 140
Índice de Penetración	-	-	-1.5	1	-1.0
Ensayo de la Mancha Heptano-Xilol (20% máximo de Xilol)	T-102	-	negativo	-	negativo
ENSAYO EN HORNO PELÍCULA DELGADA (AASHTO T-179/ ASTM D-1754)					
Cambio de masa, Pérdida por calentamiento, %	T-240	D-1754	-	< 1,0	-0,7
Penetración del residuo, porcentaje de la penetración original, %	T-49	D-5	50	-	50
Viscosidad Residuo a 60°C, P	T-316	D-4402	Informar		528000
Ductilidad del residuo a 25°C, cm	T-51	D-113	100	-	>140
Índice de durabilidad	-	-	-	4	4.0

Tec. Químico DIVA CRISTINA TORRES  
C.C. 30.389.779 TQ-1066  
FIRMA DE LABORATORIO



CASA MATRIZ  
Sucursal  
Sucursal  
Sucursal

Cerro Sombrero N° 1010 Maipú- Santiago - Fono : 56 2 26759200  
Camino Lenga N° 3361 -Hualpén- Talcahuano  
Avda. Quinta Industrial N° 555, Complejo Portuario Mejillones  
Las Palmas Manzana 5 N°1011 -Chacalluta - Arica  
www.probisa.cl



## CERTIFICADO ANALISIS

### Información de la Muestra de Ensaye

Origen	Productos Bituminosos S.A. Planta Arica	Certificado	<b>76372</b>
Producto	Asfalto Modificado Polybit BC	Fecha	20/12/2021
Cantidad (T)	25,00		
Cliente	EMPRESA CONSTRUCTORA ERIKA S.R.L		
Faena	SALO-POTOSÍ-BOLIVIA		
Partida	191M-ARI2021		
Guía	12870		
Fecha	16/12/2021	<b>Resultados de Ensayes</b>	

Parámetro	Unidad	Valor	Especificación	Metodo
Penetración 25°C, 100g, 5seg	0,1mm	68	Mín. 50 Máx 70	AASHTO T 49
Punto de ablandamiento	°C	75,1	Min. 65	AASHTO T 53
Ductilidad a 5°C, 5cm/min	cm	31	Min. 30	AASHTO T 51
Ductilidad a 25°C, 5cm/min	cm	125	Min 80	AASHTO T 51
Viscosidad a 135°C	cP	1170	Máx. 3000	AASHTO T 316
Viscosidad a 155°C	cP	470	Máx. 2000	AASHTO T 316
Viscosidad a 175°C	cP	225	Máx. 1000	AASHTO T 316
Recuperación elástica Lineal 25°C	%	96	Mín. 90	AASHTO T 301
Punto de inflamación	°C	>235	Mín. 235	AASHTO T 48

#### **Estabilidad al almacenamiento**

Estabilidad al almacenamiento, dif. P. Abl. °C 0,7 Máx. 5 ASTM D 5892

#### **Película Delgada Rotatoria**

Variación de masa % -0.325 Máx. 1,0 AASHTO T 240  
 Penetración (%Original) % 68 Min. 65 AASHTO T 49  
 Ductilidad a 5°C, 5cm/min cm 14 Min. 8 AASHTO T 51  
 Variación del punto de ablandamiento °C -0.3 -5 a +7 AASHTO T 53

#### **Deformación por Creep y Recuperación Elástica (MSCR)**

Recuperación elástica a 3,2 kPa % >15 Min. 15 AASHTO T 350  
 Pérdida de Recup. Elástica, entre 0,1 y 3,2 kPa % <75 Máx. 75 AASHTO T 350



Analizado por: Nichol Tapia




Rosemary Madrid  
Jefa de Calidad

**ANEXO 9**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

**DE ENSAYOS**

## **1. Caracterización del material pétreo**

### **1.1. Ensayo de granulometría**

Norma: (AASHTO T-27) (ASTM C-136)

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas el agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaño se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pasos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores del material granulometría (granulometría).

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con aberturas de 2 1/2, 2, 1 1/2, 1, 3/4, 1/2, 3/8 de pulgada cuadrada para las fracciones grandes y con 4, 10, 40, 80, 100 y 200 mallas por pulgada para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se designan como N°4, N°10, etc.

A la porción de material agregado que quede retenida en la malla N°10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa la malla N°10, pero queda retenida la malla N°200 (partículas mayores que 0,075 mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla N°200 se llama fino y corresponde a impurezas, limo y arcilla.

En el método de la AASHTO T-27 y ASTM C-136 se describe el procedimiento detallado para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

A continuación, se mostrará los tamices que se utilizaron en el ensayo de granulometría para la grava 3/4", gravilla 3/8" y arena.

Figura 1.1. Tamices para granulometría de agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.2. Tamices para granulometría de agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

En las fotografías mostradas se realiza el tamizado con el tambor automático por un tiempo de 5 min, posteriormente a eso se realiza el tamizado de manera manual.

Figura 1.3. Tamices para el agregado fino con material pétreo retenido



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.4. Tamices para el agregado grueso con material pétreo retenido



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados para la grava 3/4", gravilla 3/8" y arena se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1.1. Planilla de resultados de las granulometrías del ensayo 1

Peso total seco (gr)	5000		5000		1000	
Tamices	Grava 3/4"		Gravilla 3/8"		Arena	
xdsz	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total
1"	0,00	<b>100,00</b>	0,00	<b>100,00</b>	0,00	<b>100,00</b>
3/4"	117,00	<b>97,66</b>	0,00	<b>100,00</b>	0,00	<b>100,00</b>
1/2"	3475,10	<b>30,50</b>	19,70	<b>99,61</b>	0,00	<b>100,00</b>
3/8"	4669,70	<b>6,61</b>	686,60	<b>86,27</b>	0,00	<b>100,00</b>
Nº4	4997,10	<b>0,06</b>	4262,50	<b>14,75</b>	50,80	<b>94,92</b>
Nº8	4997,20	<b>0,06</b>	4991,80	<b>0,16</b>	228,20	<b>77,18</b>
Nº16	4997,20	<b>0,06</b>	4996,70	<b>0,07</b>	365,60	<b>63,44</b>
Nº30	4997,20	<b>0,06</b>	4996,80	<b>0,06</b>	499,70	<b>50,03</b>
Nº50	4997,20	<b>0,06</b>	4996,90	<b>0,06</b>	691,20	<b>30,88</b>
Nº100	4997,20	<b>0,06</b>	4996,90	<b>0,06</b>	888,00	<b>11,20</b>
Nº200	4998,70	<b>0,03</b>	4998,50	<b>0,03</b>	971,00	<b>2,90</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.2. Planilla de resultados de las granulometrías del ensayo 2

Peso total seco (gr)	5000		5000		1000	
Tamices	Grava 3/4"		Gravilla 3/8"		Arena	
Nº	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total
1"	0,00	<b>100,00</b>	0,00	<b>100,00</b>	0,00	<b>100,00</b>
3/4"	157,40	<b>96,85</b>	0,00	<b>100,00</b>	0,00	<b>100,00</b>
1/2"	3487,30	<b>30,25</b>	19,30	<b>99,61</b>	0,00	<b>100,00</b>
3/8"	4683,40	<b>6,33</b>	730,00	<b>85,40</b>	0,00	<b>100,00</b>
Nº4	4997,70	<b>0,05</b>	4206,00	<b>15,88</b>	4,44	<b>95,56</b>
Nº8	4998,00	<b>0,04</b>	4975,50	<b>0,49</b>	26,30	<b>73,70</b>
Nº16	4998,00	<b>0,04</b>	4993,00	<b>0,14</b>	42,35	<b>57,65</b>
Nº30	4998,00	<b>0,04</b>	4994,20	<b>0,12</b>	54,85	<b>45,15</b>
Nº50	4998,00	<b>0,04</b>	4994,80	<b>0,10</b>	70,53	<b>29,47</b>
Nº100	4998,00	<b>0,04</b>	4995,60	<b>0,09</b>	86,76	<b>13,24</b>
Nº200	4999,20	<b>0,02</b>	4998,10	<b>0,04</b>	96,01	<b>3,99</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.3. Planilla de resultados de las granulometrías del ensayo 3

Peso total seco (gr)	5000		5000		1000	
Tamices	Grava 3/4"		Gravilla 3/8"		Arena	
N°	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	83,00	98,34	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	3126,20	37,48	15,00	99,70	0,00	100,00
3/8"	4443,10	11,14	649,70	87,01	0,00	100,00
N°4	4995,90	0,08	4167,80	16,64	5,13	94,87
N°8	4996,60	0,07	4986,90	0,26	24,18	75,82
N°16	4997,60	0,05	4995,60	0,09	39,34	60,66
N°30	4997,60	0,05	4996,70	0,07	52,95	47,05
N°50	4997,60	0,05	4996,90	0,06	71,63	28,37
N°100	4997,60	0,05	4997,10	0,06	89,32	10,68
N°200	4998,90	0,02	4998,80	0,02	97,39	2,61

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.4. Resumen de resultados de granulometrías de los agregados

Peso total seco (gr)	5000		5000		1000	
Tamices	Grava 3/4"		Gravilla 3/8"		Arena	
N°	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total	Ret. Acum	% que pasa del total
1"	0,00	100,00	0,00	100,00		
3/4"	119,13	97,62	0,00	100,00		
1/2"	3362,87	32,74	18,00	99,64	0,00	100,00
3/8"	4598,73	8,03	688,77	86,22	0,00	100,00
N°4	4996,90	0,06	4212,10	15,76	48,83	95,12
N°8	4997,27	0,05	4984,73	0,31	244,33	75,57
N°16	4997,60	0,05	4995,10	0,10	394,17	60,58
N°30	4997,60	0,05	4995,90	0,08	525,90	47,41
N°50	4997,60	0,05	4996,20	0,08	704,27	29,57
N°100	4997,60	0,05	4996,53	0,07	882,93	11,71
N°200	4998,93	0,02	4998,47	0,03	968,33	3,17

Fuente: Elaboración propia.

## **1.2. Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles**

Norma: (AASHTO T-96) (ASTM C-131)

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos impuestos por el manipuleo durante su paso a través de la planta de asfalto – que producen choques entre granos y de granos con componentes metálicos de la planta–, y procesos de compactación en las etapas de construcción, y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico. Estos efectos y esfuerzos tienden a triturar y degradar las partículas, y la habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como su resistencia.

Debido a las condiciones esfuerzos-deformación, la carga de las ruedas transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad de la superficie hasta una mínima en la subrasante. Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de paz y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciban los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

Los ensayos que se utilizan para medir la resistencia de los agregados a estos efectos y esfuerzos son el de desgaste los Ángeles (DLA) normalizado por la ASTM bajo el número C-131.

Este ensayo mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión. Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37,5 mm (1 1/2”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 2,38 mm (Nº8), por medio de la máquina de los ángeles.

La máquina los Ángeles consisten en un cilindro hueco de acero con sus extremos cerrados y que gira alrededor de su eje en posición horizontal. El cilindro va provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar y de un entrepaño para conseguir el volteo del material. La muestra está formada por árido limpio y lavado. La carga abrasiva que se introduce junto con esa muestra al comenzar el ensayo se compone de

unas bolas de fundición o de acero cuya masa total depende de la granulometría elegida. Una vez colocadas la muestra y la carga abrasiva, se hace girar el cilindro a una velocidad constante y durante un determinado número de vueltas. Realizado el ensayo, se separa la muestra por el tamiz de 1,7 mm lavando y secando en estufa lo retenido en dicho tamiz. El resultado es la diferencia entre la masa original de la muestra y la masa final del ensayo, expresada en tanto por ciento de la masa inicial. A este valor numérico se le denomina coeficiente los Ángeles.

En general, se puede decir que coeficientes superiores a 35 son indicativos de áridos de mala calidad, no aptos en principio para la construcción de capas de firme. Por el contrario, coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos con una elevada resistencia mecánica suficiente para cualquier posible aplicación y, en particular, para capas de rodadura bituminosas que hayan de soportar un tráfico pesado de elevada intensidad.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en las normas AASHTO T-96 y ASTM C-131.

A continuación, se muestran los equipos utilizados en el laboratorio para el ensayo de desgaste de los Ángeles para la grava 3/4" y gravilla 3/8".

Figura 1.5. Máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.6. Esferas utilizadas para la carga abrasiva



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.7. Realización del ensayo de desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.8. Tamizado del material por el tamiz N°12 después del ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.9. Secado del material retenido en el tamiz N°12



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el peso y la carga abrasiva para el ensayo se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 1.5. Agregados gruesos y el N° de esferas para desgaste de los Ángeles

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 ½"	1"	1250±25			
1"	¾"	1250±25			
¾"	½"	1250±10	2500±10		
½"	⅜"	1250±10	2500±10		
⅜"	¼"			2500±10	
¼"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6

Fuente: Elaboración propia.

La grava de ¾" corresponde a la gradación B, por lo que se pesó  $2500 \pm 10$  gr, de material que pasa el tamiz ¾" y se retiene en el ½", también se pesó  $2500 \pm 10$  gr, de material que pasa el tamiz ½" y se retiene en el ⅜", teniendo un peso inicial de  $5000 \pm 10$  gr.

Posterior a esto, se debe introducir el material en la máquina de los Ángeles y se procede a realizar el ensayo, utilizando 500 revoluciones y 11 esferas de carga abrasiva.

Una vez terminado el ensayo se tamiza el material por el método del lavado en el tamiz N°12 con una abertura de 1,7 mm de abertura, el material retenido se seca en el horno durante un tiempo de  $24 \pm 1$  hr para obtener el peso final.

Tabla 1.6. Datos de la grava ¾" para el ensayo

Pasado	Retenido	Cantidad tomada (gr)
¾"	½"	2500
½"	⅜"	2500
Peso inicial		5000
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm)		4006,5
Tipo de gradación "B"		
Diferencia		993,5
Número de ensayos realizados		1
Carga abrasiva		11 esferas a 30,45 Rpm 500 revoluciones

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar se determina el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{PInicial}} * 100$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{4006,5}{5000} * 100$$

$$\% \text{ **desgaste** = 19,87\%}$$

La gravilla de 3/8" corresponde a la gradación C, por lo que se pesó 2500 ± 10 gr, de material que pasa el tamiz 3/8" y se retiene en el 1/4", también se pesó 2500 ± 10 gr, de material que pasa el tamiz 1/4" y se retiene en el N°4, teniendo un peso inicial para el ensayo de 5000 ± 10 gr.

Posterior a esto, se debe introducir el material en la máquina de los Ángeles y se procede a realizar el ensayo, utilizando 500 revoluciones y 8 esferas de carga abrasiva.

Una vez terminado el ensayo, se tamiza el material por el método del lavado en el tamiz N°12 con una abertura de 1,7 mm de abertura, el material retenido se seca en el horno durante un tiempo de 24 ± 1 hr para obtener el peso final.

Tabla 1.7. Datos de la gravilla 3/8" para el ensayo

Pasado	Retenido	Cantidad tomada (gr)
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N°4"	2500
Peso inicial		5000
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm)		3888,4
Tipo de gradación "C"		
Diferencia		1111,6
Número de ensayos realizados		1
Carga abrasiva		8 esferas a 30,6 Rpm 500 revoluciones

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar se determina el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{PInicial}} * 100$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{3888,4}{5000} * 100$$

$$\% \text{ **desgaste** = 22,23\%}$$

Para ambos materiales el porcentaje de desgaste es menor a 35%, por lo cual, ambos materiales cumplen lo exigido por la norma.

### 1.3. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos

Norma: (AASHTO T-85) (ASTM C-127)

Este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Este ensayo se utilizó para la medición del peso específico de la gravilla 3/8" y la grava 3/4".

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas. Se seca a continuación en un horno a 100°C - 110°C durante 24 hr.

Después se los sumerge en agua durante 24 hr, se saca la muestra del agua y secan las partículas rotándolas sobre un paño, se determina su peso saturado superficialmente seco (S.S.S.).

A continuación, se determina el peso de la muestra en el interior de la canastilla metálica registrándolo como peso sumergido en agua a la temperatura de 25°C de temperatura ambiente.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-85 y ASTM C-127.

Figura 1.10. Saturación del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.11. Calibración de la balanza mecánica para el peso sumergido



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.12. Canastillo para el peso sumergido de agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.8. Datos del ensayo de peso específico de la grava 3/4"

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4944,00	5000,00	3107,00
2	4939,20	5000,00	3100,00

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para la grava 3/4", muestra 1:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{4944}{5000 - 3107}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2,61 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = \frac{5000}{5000 - 3107}$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = 2,64 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4944}{4944 - 3107}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,69 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{5000 - 4944}{4944} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,13\%$$

Se realiza el mismo procedimiento para la muestra 2, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.9. Resultados del ensayo de peso específico de la grava 3/4"

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	2,61	2,64	2,69	1,13
2	2,60	2,63	2,69	1,23
	<b>2,61</b>	<b>2,64</b>	<b>2,69</b>	<b>1,18</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el mismo procedimiento de ensayo para la gravilla 3/8", los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.10. Datos del ensayo de peso específico de la gravilla 3/8"

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4915,70	5000,00	3093,00
2	4913,20	5000,00	3089,00

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para la gravilla 3/8", muestra 1:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{4915,7}{5000 - 3093}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2,58 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = \frac{5000}{5000 - 3093}$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = 2,62 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4915,7}{4915,7 - 3093}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,70 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{5000 - 4915,7}{4915,7} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,71\%$$

Se realiza el mismo procedimiento para la muestra 2, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.11. Resultados del ensayo de peso específico de la gravilla 3/8”.

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	2,58	2,62	2,70	1,71
2	2,57	2,62	2,69	1,77
	<b>2,57</b>	<b>2,62</b>	<b>2,70</b>	<b>1,74</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.4. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados finos

Norma: (AASHTO T-84) (ASTM C-128)

Tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un período de 24 horas, expresada como porcentaje en peso. El peso específico es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente, este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-84 y ASTM C-128.

Se debe saturar el material durante 24 horas, una vez cumplido ese tiempo se procede a secar el material hasta obtener la saturación superficialmente seca, esto se determina con un cono metálico y apisonado en 3 capas, al levantar el cono la arena debe tener la forma que se muestra en la fotografía 13 y se pesa 500 gramos de la muestra.

Figura 1.13. Peso de la arena superficialmente seca



Fuente: Elaboración propia.

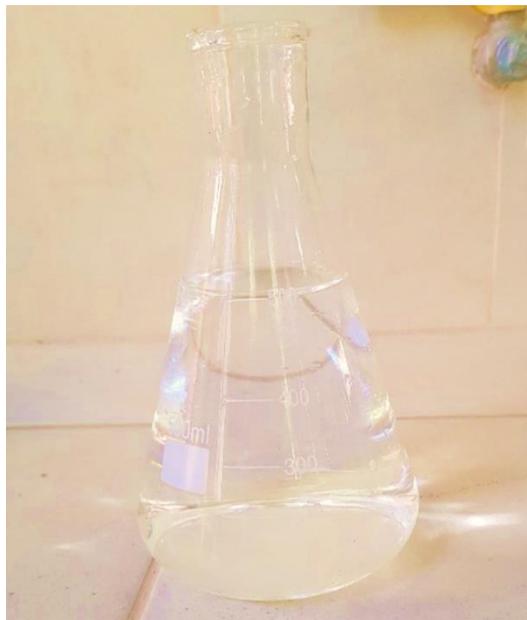
Figura 1.14. Arena para el ensayo de peso específico para agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se debe pesar el matraz y luego llenar con agua hasta la marca de enrase, luego se determina el peso del matraz más el agua.

Figura 1.15. Matraz con agua hasta la marca de enrase



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se introduce la arena en el matraz y se llena con agua hasta la marca de enrase teniendo cuidado que no queden burbujas retenidas en el material, luego se determina el peso del matraz más arena más agua.

Figura 1.16. Matraz con el agregado fino para peso específico



Fuente: Elaboración propia.

Luego se deja secar el material en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , durante un tiempo de  $24 \pm 1$  hr y se determina el peso de la arena seca.

Figura 1.17. Muestra de arena seca



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.12. Datos del ensayo de peso específico del agregado fino

Muestra N°	Peso muestra saturada con sup. seca (gr)	Peso de matraz (gr)	Peso muestra +matraz +agua (gr)	Peso del agua agregada al matraz "W" (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "V" (ml)
1	500	236,1	1049,2	313,1	491,40	500,00
2	500	235,4	1050,2	314,8	492,10	500,00
3	500	197	1009,7	312,7	491,30	500,00

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para el agregado fino, muestra 1:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{491,4}{500 - 313,1}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2,58 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = \frac{P. \text{ sat. sup. seco}}{P. \text{ sat. sup. seco} - W}$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = \frac{500}{500 - 313,1}$$

$$\text{Peso específico sat. con sup. seca} = 2,62 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V - W) - (P. \text{ sat. sup. seco} - A)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{491,4}{(500 - 313,1) - (500 - 491,4)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,70 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{P. \text{ sat. sup. seco} - A}{P. \text{ sat. sup. seco}} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - 491,4}{500} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,75\%$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para cada muestra, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 1.13. Resultados del ensayo de peso específico del agregado fino

Muestra N°	P.E. a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	2,63	2,68	2,76	1,75
2	2,66	2,70	2,78	1,61
3	2,62	2,67	2,75	1,77
	<b>2,64</b>	<b>2,68</b>	<b>2,77</b>	<b>1,71</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 1.5. Ensayo de peso unitario de los agregados

Norma: (AASHTO T-19) (ASTM C-29)

El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ellos se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido. Los volúmenes empleados son normalmente 0,1-0,5-1,00 pies<sup>3</sup> (2,83-14,16-28,31 litros), según el tamaño de los áridos ensayados. Para medir el peso unitario con áridos sueltos se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno. Para medir el peso compactado se llena el recipiente con tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonados según el tamaño de los áridos empleados en el ensayo. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el método AASHTO T-19 y ASTM C-29.

Figura 1.18. Enrazado del agregado grueso para el peso unitario suelto



Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo para el peso unitario suelto para el agregado grueso y fino se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1.14. Datos del ensayo de peso unitario suelto de la grava 3/4”

Muestra N°	Peso recipiente (gr) “A”	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> ) “B”	Peso recip. + muestra suelta (gr) “C”
1	5845,00	9907,19	20835,00
2	5845,00	9907,19	20745,00
3	5845,00	9907,19	20545,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.15. Datos del ensayo de peso unitario suelto de la gravilla 3/8”

Muestra N°	Peso recipiente (gr) “A”	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> ) “B”	Peso recip. + muestra suelta (gr) “C”
1	5840,00	9927,21	20155,00
2	5840,00	9927,21	20320,00
3	5840,00	9927,21	20325,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.16. Datos del ensayo de peso unitario suelto del agregado fino

Muestra N°	Peso recipiente (gr) "A"	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> ) "B"	Peso recip. + muestra suelta (gr) "C"
1	2610,00	3013,71	7470,00
2	2610,00	3013,71	7540,00
3	2610,00	3013,71	7545,00

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para la grava 3/4", muestra 1:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{C - A}{B}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{20835 - 5845}{9907,19}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1,513 \text{ gr/cm}^3$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para las demás muestras, la gravilla 3/8" y el agregado fino.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el peso unitario suelto de los agregados:

Tabla 1.17. Resultados del ensayo para peso unitario suelto.

Muestra N°	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"	Arena
	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1,513	1,442	1,613
2	1,504	1,459	1,636
3	1,484	1,459	1,638
	<b>1,500</b>	<b>1,453</b>	<b>1,629</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo para el peso unitario suelto para el agregado grueso y fino se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1.18. Datos del ensayo de peso unitario compactado de la grava 3/4”

Muestra N°	Peso recipiente (gr) “A”	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> ) “B”	Peso recip. + muestra compactada (gr) “C”
1	5845,00	9907,19	21595,00
2	5845,00	9907,19	21585,00
3	5845,00	9907,19	21555,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.19. Datos del ensayo de peso unitario compactado de la gravilla 3/8”

Muestra N°	Peso recipiente (gr) “A”	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> ) “B”	Peso recip. + muestra compactada (gr) “C”
1	5840,00	9927,21	20830,00
2	5840,00	9927,21	20890,00
3	5840,00	9927,21	21045,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.20. Datos del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino

Muestra N°	Peso recipiente (gr) “A”	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> ) “B”	Peso recip. + muestra compactada (gr) “C”
1	2610,00	3013,71	7855,00
2	2610,00	3013,71	7895,00
3	2610,00	3013,71	7885,00

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para la grava 3/4”, muestra 1:

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{C - A}{B}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{21595 - 5845}{9907,19}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para las demás muestras, la gravilla 3/8” y el agregado fino.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el peso unitario compactado de los agregados:

Tabla 1.21. Resultados del ensayo para peso unitario compactado.

Muestra N°	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"	Arena
	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1,590	1,510	1,740
2	1,589	1,516	1,754
3	1,586	1,532	1,750
	<b>1,588</b>	<b>1,519</b>	<b>1,748</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 1.6. Ensayo de equivalente de arena

Norma: (AASHTO T-176) (ASTM D-2419)

El ensayo de equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N°4 (4,75mm).

El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con respecto a la altura de la arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente, se debe tener una muestra del material y tamizado por el tamiz N°4 para poder tener la muestra que se utilizará para este ensayo colocarlo en un recipiente. Luego se debe colocar la muestra que se utilizará de arena en el cilindro, se deberá verter la muestra en el cilindro con la ayuda de un embudo, la probeta previamente se llena con una solución floculante. Se mezcla bien el árido con la solución y hacer momento del cilindro para que se pueda perder todas las burbujas que tenga dejar en reposo durante  $20 \pm 1$  minuto.

Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material de las paredes del cilindro. Dejar el cilindro y el contenido de reposo por 24 horas, comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador, al finalizar leer y anotar los niveles alcanzados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-176 y ASTM D-2419.

Figura 1.19. Muestras en reposo



Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.22. Datos del ensayo de equivalente de arena

N° de muestra	H1	H2
	(cm)	(cm)
1	11,80	10,60
2	11,90	10,70
3	11,60	10,60

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

$$\text{Equivalente de arena (\%)} = \frac{\text{Lectura de nivel inferior (H2)}}{\text{Lectura de nivel superior (H1)}} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena (\%)} = \frac{10,60}{11,80} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena (\%)} = \mathbf{89,83\%}$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para las demás muestras y se determina el promedio de las muestras, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.23. Resultados del ensayo de equivalente de arena

N° de Muestra	Equivalente de arena (%)
1	89,83
2	89,92
3	91,38
Promedio	<b>90,38</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos son mayores a 50%, por cual el material cumple con lo exigido por la norma.

### 1.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas

Norma: (ASTM D-5821-95)

Este ensayo se realiza para determinar el porcentaje del peso de la muestra que se utilizó del agregado en las diferentes caras fracturadas. Se realiza la separación de todas las muestras y se pesó cada muestra para hallar los porcentajes.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el método ASTM de 5821-95 manual de la administración boliviana de carreteras (ABC).

Figura 1.20. Separando las muestras para realizar el ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1.24. Datos obtenidos de la grava 3/4"

Ensayo	Lecturas		
Ensayo N°	1	2	3
Peso total (grs.) (a)	1000	1000	1000
Peso retenido tamiz N° 8 (grs.) (b)	908,7	903,2	910,6
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	91,3	96,8	89,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.25. Datos obtenidos de la gravilla 3/8"

Ensayo	Lecturas		
Ensayo N°	1	2	3
Peso total (grs.) (a)	1000	1000	1000
Peso retenido tamiz N° 8 (grs.) (b)	893,8	897,3	874,9
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	106,2	102,7	125,1

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para la grava 3/4", muestra 1:

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{b}{a} * 100$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{893,8}{1000} * 100$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \mathbf{90,97\%}$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para las demás muestras y para la gravilla 3/8", los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.26. Resultados del ensayo de caras fracturadas

Ensayo	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"
1	90,87	89,38
2	90,32	89,73
3	91,06	87,49
<b>Promedio</b>	<b>90,8</b>	<b>88,9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos para la grava 3/4" y gravilla 3/8" son mayores a 75% por lo que cumplen lo exigido por la norma.

### **1.8. Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas**

Norma: (ASTM D-4791)

La forma de las partículas del árido grueso afecta fundamental a la resistencia del esqueleto mineral del árido. Según se forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, cúbicas, lajas y agujas. Las lajas son partículas planas con una dimensión muy inferior a las otras dos; las agujas son partículas alargadas con una dimensión muy superior a las dos restantes. Las lajas y las agujas pueden romperse con facilidad durante la compactación o bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría del árido y descubriendo en su caso una superficie no envuelta por el ligante. En consecuencia, deben imponerse limitaciones a la proporción de partículas con forma defectuosa; en términos generales, en una fracción de árido no se debe sobrepasar del orden del 10% en masa de ñajas y agujas. En resumen, los áridos cúbicos son los más adecuados.

Se definen los índices de lajas y agujas como las proporciones (en masa respecto de la muestra total) de las partículas que son, respectivamente, lajas o agujas. Los métodos utilizados para la determinación de dichos índices de forma se basan generalmente en la medida directa de las dimensiones de las partículas. En el procedimiento normalizado, cada fracción tamizada se hace pasar independientemente a través de dos calibres metálicos, que son de ranuras alargadas o de barras según se estudien, respectivamente, lajas o agujas. Se determina la masa del árido que pasa por el calibre de ranuras o que es retenida por el calibre de barras.

Además de la forma de las partículas del árido grueso, se debe tener en cuenta su angulosidad, que influye (junto con la textura superficial de las partículas) en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el método ASTM D-4791.

Figura 1.21. Aparato para realizar el ensayo para partículas laminares



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.22. Aparato para realizar el ensayo para partículas chatas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.23. Separación del material



Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1.27. Resultados del ensayo para grava 3/4"

Material	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Chatas Alargadas (gr)
3/4"	5000	72,0
Peso Total de la Muestra	5000	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.28. Resultados del ensayo para gravilla 3/8"

Material	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Chatas Alargadas (gr)
3/8"	5000	235,1
Peso Total de la Muestra	5000	

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para la grava 3/4":

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{\text{Peso retenido partículas laminares}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{72}{5000} * 100\%$$

$$\% \text{ total de partículas laminares} = 1,44\%$$

Cálculo para la gravilla 3/8":

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{\text{Peso retenido partículas laminares}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{235,1}{5000} * 100\%$$

$$\% \text{ total de partículas laminares} = 4,70\%$$

Para ambos agregados se obtuvieron resultados menores al 10%, por lo tanto, ambos cumplen con lo exigido por la norma.

## 2. Caracterización del cemento asfáltico

### 2.1. Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol

Norma: (AASHTO T-72) (ASTM D-244)

Este ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos, emulsiones y aceites y sirve para determinar el tiempo en segundos necesarios para que pasen 60 ml de líquido, a una temperatura determinada, se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro, si no causará errores en el ensayo debido a que la gasolina puede diluirse con el asfalto y modificará su propiedad.

Se coloca la muestra en el tubo dejándolo ahí un tiempo la temperatura de baño se debe controlar que se mantenga constante. Se colocará el frasco calibrado de 60 ml cuidadosamente debajo del orificio del equipo de manera que esté centrado con ello, se debe de tomar en cuenta que cuando fluya la muestra no deberá chocar con las paredes del frasco, el ensayo se empieza sacando violentamente el tapón del corcho del tubo, al mismo tiempo se deberá inicialmente con el cronometraje hasta que fluya totalmente la muestra en el frasco de vidrio.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-72 y ASTM D-244.

Figura 2.1. Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol para el asfalto 85/100



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2. Viscosímetro Saybolt Furol



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el cemento asfáltico 85/100.

Tabla 2.1. Resultados del ensayo de viscosidad Saybolt-Furol del CA 85/100

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C	s.SF.	90	109,0	101,0	<b>100,0</b>	85	400

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS 50/75, NO SE REALIZÓ EL ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DEBIDO A QUE LA NORMA DE LA ABC NO LO SEÑALA EN LAS ESPECIFICACIONES A02 ENSAYOS RELACIONADOS A CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS.

## 2.2. Ensayo de penetración

Norma: (AASHTO T49-97) (ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetros hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura.

Normalmente, el ensayo se realiza a  $25^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja de 100 gramos, aunque puede emplearse a otras condiciones previamente definidas. Es evidente que cuanto más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración. Se coloca una muestra calentada que se colocará en un recipiente hasta que esté fluido y se lo coloca en tres moldes. Se lo deja enfriar por una hora a temperatura ambiente y se coloca en el baño María por una hora a  $25^{\circ}\text{C}$ . Una vez transcurridos los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetren. Se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetros, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el método AASHTO T49-97 y ASTM D-5.

A continuación, se muestran los materiales utilizados para realizar el ensayo de penetración, para el asfalto 85/100 y 50/75.

Figura 2.3. Taras y aguja para el ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.4. Equipo de penetración



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.2. Resultados del ensayo de penetración del CA 85/100

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
<b>Penetración a 25°C, 100gr por 5seg. (AASHTO T49-97)</b>							
Lectura N°1	0,1 mm	96	93	93	<b>86</b>	85	100
Lectura N°2	0,1 mm	83	91	87			
Lectura N°3	0,1 mm	75	80	79			
Penetración promedio	0,1 mm	85	88	86			

Fuente: Elaboración propia.

Resultado: realizando la media se tiene como valor de penetración de 86 mm a 25°C, 100 gr cada 5 seg, que se encuentra entre 85/100, cumpliendo con lo exigido por la norma.

Tabla 2.3. Resultados del ensayo de penetración del CA modificado 50/75

Ensayo	Unidad	Muestras		Resultado	Especificaciones	
		1	2		Mínimo	Máximo
<b>Penetración a 25°C, 100gr por 5seg. (AASHTO T49-97)</b>						
Lectura N°1	0,1 mm	76	78	<b>75</b>	50	75
Lectura N°2	0,1 mm	72	71			
Lectura N°3	0,1 mm	75	77			
Penetración promedio	0,1 mm	74	75			

Fuente: Elaboración propia.

Resultado: realizando la media se tiene como valor de penetración de 75mm a 25°C, 100 gr cada 5 seg, que se encuentra entre 50/75, cumpliendo con lo exigido por la norma.

### 2.3. Punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland

Norma: (AASHTO T 79-96) (ASTM D 1310-01)

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esa temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluyen las especificaciones de los betunes asfálticos.

Llenar la copa con cemento asfáltico y se aplica calor inicialmente de tal manera que se incremente la temperatura. Pasar la llamada ensayo a través del centro de la copa. Se registra como a punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de punto de inflamación se describen en el método AASHTO T 79-96 y ASTM D 1310-01.

Figura 2.5. Copa de Cleveland con cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.6. Aparato de punto de inflamación.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4. Resultados del ensayo de punto de inflamación del CA 85/100

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
<b>Punto de inflamación (AASHTO T79-96)</b>	°C	240	230	236	<b>235</b>	232	-

Fuente: Elaboración propia.

Resultado: Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados tenemos 235°C, siendo mayor a 232°C, siendo mayor a lo exigido por la norma.

Tabla 2.5. Resultados del ensayo de punto de inflamación del CA modificado50/75

Ensayo	Unidad	Muestras		Resultado	Especificaciones	
		1	2		Mínimo	Máximo
<b>Punto de inflamación (AASHTO T79-96)</b>	°C	294	272	<b>283</b>	232	-

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados obtenemos 283°C, siendo mayor a 232°C, siendo mayor a lo exigido por la norma.

## 2.4. Peso específico del asfalto

Norma: (AASHTO T 229-97) (ASTM D-71)

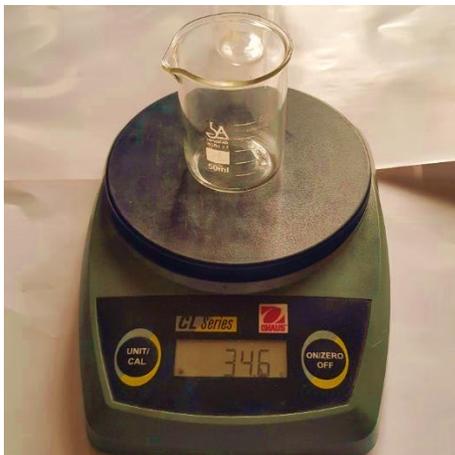
El peso específico de un material es la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material peso 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T 229-97 y ASTM D-71.

Figura 2.7. Materiales necesarios para el ensayo de peso específico del asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.8. Determinación de los pesos de los frascos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.9. Calibración de frascos para el ensayo de peso específico del CA 85/100



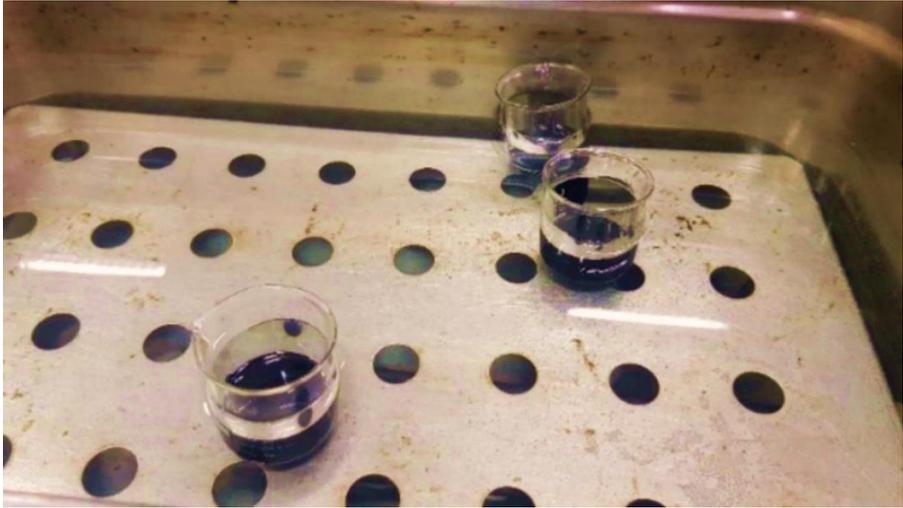
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.10. Frascos más cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.11. Frascos con cemento asfáltico más agua destilada



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.12. Peso de los frascos con cemento asfáltico más agua destilada



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

$$P. \text{específico} = \frac{C - A}{B + (C - A) - D} * 0,997077$$

$$P. \text{específico} = \frac{65,5 - 34}{88,3 + (65,5 - 34) + 87,8} * 0,997077$$

$$P. \text{específico} = 0,981$$

Tabla 2.6. Resultados del ensayo de peso específico para el CA 85/100.

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
<b>Peso específico a 25°C (AASHTO 7229-97)</b>							
Peso picnómetro "A"	gr	34,0	35,8	34,6	<b>1,001</b>	1	1,05
Peso picnómetro + agua (25°C) "B"	gr	88,3	86,5	87,9			
Peso picnómetro + muestra "C"	gr	65,5	64	65,6			
Peso picnómetro + agua + muestra "D"	gr	87,8	86,6	88,6			
Peso específico promedio	gr/cm <sup>3</sup>	0,981	1,001	1,020			

Fuente: Elaboración propia.

Resultado

Peso específico del CA = 1,001 gr/cm<sup>3</sup>, estando entre 1 y 1,05 gr/cm<sup>3</sup>, cumpliendo lo exigido por la norma.

Tabla 2.7. Datos y resultados de peso específico para el asfalto modificado 50/75.

Ensayo	Unidad	Muestras		Resultado	Especificaciones	
		1	2		Mínimo	Máximo
<b>Peso específico a 25°C (AASHTO 7229-97)</b>						
Peso picnómetro	gr	34,4	35,4	<b>1,004</b>	1	1,05
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr	87,2	89,7			
Peso picnómetro + muestra	gr	68,2	68,5			
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	88,6	88,8			
Peso específico promedio	gr/cm <sup>3</sup>	1,037	0,971			

Fuente: Elaboración propia.

### Resultado

Peso específico del CA = 1,004 gr/cm<sup>3</sup>, estando entre 1 y 1,05 gr/cm<sup>3</sup>, cumpliendo lo exigido por la norma.

### 2.5. Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola

Norma: (AASHTO T-53-96) (ASTM D-36)

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentra entre el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra sí preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en el que la bola de acero toque el fondo del vaso de cristal. Esa temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T-53-96 y ASTM D-36.

Figura 2.13. Enfriamiento de los equipos hasta la temperatura de 5°C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.14. Ensayo de punto de ablandamiento de CA 85/100 en ejecución



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.15. Finalización del ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.8. Resultados del ensayo de punto de ablandamiento del CA 85/100

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
<b>Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)</b>	°C	46,5	47,0	46,0	<b>47</b>	42	53

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo: se realizó a proceder a tomar un promedio de las muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo obtuvimos 47°C, estando entre 42 y 53, cumpliendo lo exigido por la norma.

Tabla 2.9. Resultados de punto de ablandamiento del CA modificado 50/75

Ensayo	Unidad	Muestras		Resultado	Especificaciones	
		1	2		Mínimo	Máximo
<b>Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)</b>	°C	72,0	69,0	<b>71</b>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo: se realizó a proceder a tomar un promedio de las muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo obtuvimos 71°C.

## 2.6. Ensayo de ductilidad

Norma: (AASHTO T 51-00) (ASTM D-113)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra, se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectuó a una temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  y a una velocidad de  $5 \text{ cm/min} \pm 5\%$ . Para otras temperaturas debería especificarse la velocidad. Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen en detalle en los métodos AASHTO T 51-00 y ASTM D-113.

Figura 2.16. Materiales necesarios para el ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.17. Moldes de ductilidad con cemento asfáltico 85/100.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.18. Equipo para la ductilidad



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.10. Resultados del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85/100

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
<b>Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)</b>	cm	112	106	108	<b>109</b>	100	-

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo: se realizó a proceder a tomar un promedio de las muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo obtuvimos una ductilidad de 109 cm, siendo mayor a 100 cm, cumpliendo lo exigido por la norma.

Tabla 2.11. Resultados de ductilidad del cemento asfáltico modificado 50/75

Ensayo	Unidad	Muestras		Resultado	Especificaciones	
		1	2		Mínimo	Máximo
<b>Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)</b>	cm	103	106	<b>105</b>	100	-

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo: se realizó a proceder a tomar un promedio de las muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo obtuvimos una ductilidad de 105 cm, siendo mayor a 100 cm, cumpliendo lo exigido por la norma.

### 3. Elaboración de las briquetas

El equipo necesario para la elaboración de briquetas son los siguientes:

- Martillo de compactación
- Moldes de briquetas
- Extractor de probetas
- Balanza de precisión de  $\pm 0,1$  gr
- Bandejas metálicas
- Estufa
- Termómetro
- Espátula
- Medidor de estabilidad
- Agregado
- Asfalto 85/100

Procedimiento del ensayo:

Antes de preparar la mezcla se debe tener pesados los agregados de acuerdo a cada porcentaje de cemento en la mezcla, los materiales a utilizar deben estar limpios, luego se vierte el material en una bandeja metálica y se calienta hasta alcanzar una temperatura de 150 a 170°C.

Figura 3.1. Calentamiento de los agregados para las briquetas



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 140°C. Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

Se mezcla el asfalto con los agregados hasta obtener una mezcla homogénea la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 107°C.

Figura 3.2. Mezcla homogénea de agregado y asfalto



Fuente: Elaboración propia.

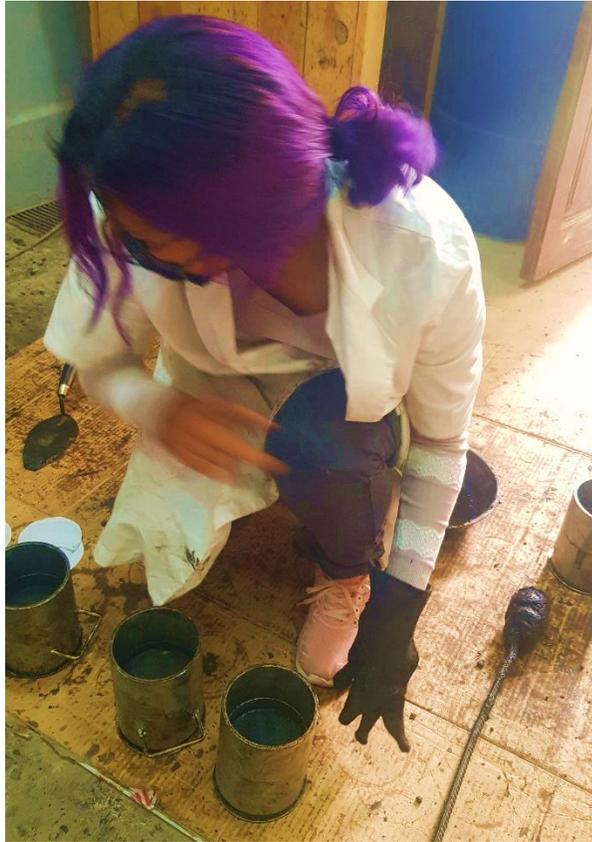
Figura 3.3. Control de temperatura de la mezcla



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se colocó la mezcla en el molde para briquetas que tiene 4" de diámetro interior y 3" de altura, y se distribuye la mezcla en 3 capas y se compacta con 25 golpes cada una, luego se debe compactar con el martillo Marshall.

Figura 3.4. Colocación de la mezcla asfáltica en el molde de briquetas



Fuente: Elaboración propia.

El martillo Marshall está compuesto de: un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla al compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y caer sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de la mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briketa en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 18 briquetas. El molde, conteniendo la briketa se dejó enfriar a temperatura ambiente y luego se extrajo la briketa mediante un gato hidráulico.

Figura 3.5. Compactación y desmolde de briquetas



Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño Marshall se elaboraron 18 briquetas para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

#### 4. Ensayo de Marshall

Una vez realizadas las briquetas, se proceden a realizar el ensayo de flujo y estabilidad en la prensa Marshall.

Primero se debe medir con un vernier las alturas en 4 puntos de las briquetas para determinar la altura media que será corregida por un factor de corrección.

Figura 4.1. Medición de las alturas con las briquetas con el vernier



Fuente: Elaboración propia.

Antes de realizar el ensayo, se debe determinar el peso seco de la briqueta, posterior a eso se la sumerge en un baño María a 25°C, durante 5 min, para determinar el peso superficialmente seco y por último se sumerge en agua para determinar el peso sumergido con una balanza mecánica.

Figura 4.2. Inmersión de la briqueta en baño María a 25°C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3. Determinación del peso sumergido de la briqueta



Fuente: Elaboración propia.

Antes de realizar la rotura de las muestras deben ser sumergidas en baño de agua a 60°C durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 min.

Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que es el indicador del dial que se encuentre en la posición correspondiente a cero. Se coloca la briqueta en las mordazas y se aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50,8 mm por minuto (2"/minuto) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60°C se anota como valor de estabilidad Marshall.

Figura 4.4. Colocación de la briqueta en la mordaza de la prensa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. Verificación de los indicadores en cero



Fuente: Elaboración propia.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima, se lee y se anota esta lectura como valor de flujo de las briquetas, expresado en centésimas de pulgada.

Figura 4.6. Rotura de briqueta en la prensa Marshall



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Ensayo de tracción indirecta para el porcentaje óptimo de asfalto

Procedimiento:

Se realiza la fabricación de las briquetas con el contenido óptimo de cemento asfáltico, para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la biqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron en total 12 briquetas para el ensayo.

Una vez fabricadas las briquetas, se dividió en 4 grupos, para realizar un análisis más detallado del comportamiento de las muestras.

Para el cálculo del ensayo es necesario determinar el diámetro con una aproximación de  $\pm 0,1$  mm de la probeta, en 6 planos, se registra el diámetro promedio de las mediciones. La altura de la probeta se mide también con precisión de  $\pm 0,1$  mm en cuatro planos definidos por los extremos de todos planos diametrales perpendiculares, se registra la altura promedio de las cuatro mediciones.

Para el ensayo se estableció el grupo de briquetas secas y el grupo de briquetas húmedas, cuyo acondicionamiento y realización del ensayo, se describe a continuación:

**Grupo 1 de briquetas:** las 3 briquetas de este grupo pertenecen al grupo de biqueta secas y se mantienen al aire en un recinto o estufa a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 24 horas, finalizado este periodo se introducen un baño de aguas regulado a  $25^\circ \pm 1^\circ\text{C}$  durante 2 horas, determinando a continuación su resistencia a tracción indirecta por compresión diametral.

**Grupo 2 de briquetas:** las 3 briquetas de este grupo pertenecen al grupo de briquetas húmedas y son sometidas a un proceso de congelación y descongelación, llevándolas a congelar a una temperatura de  $-5^\circ\text{C}$ , durante al menos 16 horas, cumpliendo este paso se colocó a las briquetas en un baño de agua a  $60^\circ\text{C}$  durante 24 horas, inmediatamente después se las coloca en un baño de agua a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 2 horas para luego ser ensayadas a tracción indirecta.

**Grupo 3 de briquetas:** las 3 briquetas de este grupo también son del grupo de briquetas húmedas y se les realiza el proceso de congelamiento a una temperatura de  $-5^\circ\text{C}$ , durante al menos 16 horas, cumpliendo este paso se colocó a las briquetas en un baño de agua a  $60^\circ\text{C}$  durante 36 horas finalizando este periodo se introducen en un baño de agua regulada

25 ± 1°C durante 2 horas, una vez terminado el acondicionamiento se procede a determinar su resistencia a tracción directa.

**Grupo 4 de briquetas:** las 3 briquetas de este grupo también son del grupo de briquetas húmedas y son sometidas a un proceso de congelación a una temperatura de - 5°C, durante al menos 16 horas, posteriormente se colocó a las briquetas en un baño de agua a 60°C durante 48 horas, finalizando este periodo se introducen en un baño de agua regulada a una temperatura de 25 ± 1°C durante 2 horas, una vez terminado este paso se procede a determinar su resistencia a tracción directa.

Figura 5.1. Congelación de briquetas para el ensayo de tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2. Saturación de briquetas en agua a 60°C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3. Baño María a 25°C antes de la rotura de briquetas



Fuente: Elaboración propia.

La prensa utilizada en el ensayo de estabilidad y fluencia Marshall es adecuada para efectuar el ensayo de tracción por compresión diametral.

Se aplica la carga la probeta manteniendo una velocidad de deformación de 50,8 mm por minuto constante, hasta que rompa la probeta.

Luego se registran o anotan los valores de la carga de rotura.

Figura 5.4. Equipo para realizar el ensayo y ruptura de briquetas



Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a compresión diametral, tracción indirecta de una probeta, se calcula con la siguiente fórmula aproximando a la primera cifra decimal donde:

$$R = \frac{2 * P}{\pi * D * H}$$

Donde:

R = Resistencia a compresión diametral en kg/cm<sup>2</sup>

P = Carga máxima en Kg.

D = Diámetro de la probeta en cm

H = Altura de la probeta en cm

Π = Constantes 3,14159...

Tabla 5.1. Datos del ensayo tracción indirecta utilizando asfalto 85/100

% de asfalto	Ident.	Prob. N°	Altura	Diam.	Carga
			cm	cm	kg
5,08	T1	1	6,16	10,19	1047,05
	T2	2	6,24	10,16	865,06
	T3	3	6,40	10,15	818,65
5,08	T1.1	4	6,31	10,12	860,17
	T1.2	5	6,21	10,12	684,29
	T1.3	6	6,19	10,09	719,71
5,08	T2.1	7	6,27	10,12	626,88
	T2.2	8	6,23	10,12	477,87
	T2.3	9	6,29	10,13	584,13
5,08	T3.1	10	6,26	10,14	430,23
	T3.2	11	6,15	10,11	336,18
	T3.3	12	5,98	10,13	529,17

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

$$R = \frac{2 * P}{\pi * D * H}$$

$$R = \frac{2 * 1047,05}{\pi * 10,19 * 6,16}$$

$$R = 10,62 \text{ kg/cm}^2$$

Este procedimiento de cálculo se realiza para cada briqueta y en la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos del ensayo.

Tabla 5.2. Desarrollo del ensayo tracción indirecta

% de asfalto	Ident.	Prob. Nº	Altura	Diam.	Carga	Tracción indirecta	Promedio
			cm	cm	kg	kg/cm <sup>2</sup>	
5,08	T1	1	6,16	10,19	1047,05	10,62	9,11
	T2	2	6,24	10,16	865,06	8,69	
	T3	3	6,40	10,15	818,65	8,02	
5,08	T1.1	4	6,31	10,12	860,17	8,57	7,61
	T1.2	5	6,21	10,12	684,29	6,93	
	T1.3	6	6,19	10,09	719,71	7,33	
5,08	T2.1	7	6,27	10,12	626,88	6,29	5,65
	T2.2	8	6,23	10,12	477,87	4,82	
	T2.3	9	6,29	10,13	584,13	5,84	
5,08	T3.1	10	6,26	10,14	430,23	4,31	4,44
	T3.2	11	6,15	10,11	336,18	3,44	
	T3.3	12	5,98	10,13	529,17	5,56	

Fuente: Elaboración propia.

### **5.1.Cálculo del índice de resistencia conservada**

Con los valores promedio de la resistencia a tracción indirecta de cada grupo de probetas, se calcula la razón de resistencia a la tracción indirecta, índice de resistencia conservada (IRC), mediante la siguiente ecuación:

$$IRC = \frac{R2 \text{ (húmedas)}}{R1 \text{ (secas)}} * 100\%$$

$$IRC = \frac{7,61}{9,11} * 100\%$$

$$IRC = 83,57\%$$

Este cálculo se realiza para los ciclos de saturación con cada tipo de mezcla para poder evaluar los efectos de la humedad en las mezclas asfálticas, en el ANEXO 6 se muestran los resultados obtenidos.