

- Taras.
- Termómetro.

#### b) Preparación de la muestra

- Se trabaja con material lavado y seco.
- Se realiza el tamizado de los agregados gruesos y el agregado fino dividiéndolos en las mallas correspondientes al diseño de TMN de 19 mm (3/4") para mezclas asfálticas S.M.A; colocando el material retenido de cada tamiz en recipientes y bolsas por separado.
- Para la preparación de una muestra asfáltica se analizó el tipo de gradación y el porcentaje de asfalto (que contiene un espécimen) para determinar qué cantidad del material para un espécimen de  $1200 \pm 200$  gr corresponde a cada malla de la granulometría, por lo cual se pesó la cantidad exacta por malla (ya sea para agregado grueso o agregado fino) y se separó en dos grupos de bolsas, un grupo de agregado grueso y otro grupo de agregado fino con el filler.
- Para el caso del agente estabilizante se deberá separar en pequeñas taras con el porcentaje deseado con respecto al peso total de la mezcla asfáltica.
- Se preparan canastillas de escurrimiento con abertura de 6.3 mm (1/4") según la norma ASTM D 6390, con las siguientes especificaciones:
  - Altura de canastilla:  $165 \pm 16.5$  mm
  - Diámetro de canastilla:  $108 \pm 10.8$  mm
  - Colocación de base circular a  $25 \pm 2.5$  mm del fondo de la canastilla



Figura 87: Fabricación de canastillas para el ensayo de escurrimiento



## c) Procedimiento de ensayo

- Para la elaboración de los siguientes especímenes se considerara:
  - Con agente estabilizante: Fibra de Celulosa comercial y fibra natural de caña de azúcar.
- Se tomara el peso de las canastillas y de los recipientes metálicos, identificando cada uno de estos con el porcentaje de agente estabilizante del espécimen asfáltico que contendrán.
- Una vez seleccionado el material en bolsas se procede a colocar el material en recipientes separados para luego colocarlos en el horno a la temperatura de 135°C, con el fin de replicar las condiciones en planta y facilitar el proceso de mezclado con el asfalto. También se colocarán en el horno las taras con el porcentaje deseado de agente estabilizante.
- Calentado del asfalto hasta llegar a un estado líquido y pesado del mismo hasta llegar al peso del porcentaje requerido del total de la muestra.
- Una vez se tenga la cantidad de asfalto requerida primero se agrega el agregado grueso y se procede al mezclado hasta que el asfalto recubra todo el agregado grueso, luego se agrega el agregado fino junto con el filler y se procede con el mezclado hasta que se encuentre revestido totalmente por el asfalto. De igual modo, el agente estabilizante deberá mezclarse en su totalidad en la mezcla asfáltica hasta encontrarse totalmente esparcida en toda esta.
- Se debe verificar la temperatura durante el proceso de mezclado, siendo 135°C la temperatura mínima.
- Colocación de la mezcla asfáltica sin compactar en caliente dentro de las canastillas procurando no perder material.
- Dejar enfriar la mezcla asfáltica dentro de la canastilla a temperatura ambiente, para luego determinar el peso de la canastilla con la mezcla asfáltica.
- Colocar la canastilla con la muestra sobre los recipientes o contenedores metálicos y colocar el conjunto dentro del horno a la temperatura de producción en planta durante 1 hr  $\pm$  5 min.



Figura 88: Proceso de escurrimiento



Figura 89: Pesado y puesta en horno de la mezcla

- Después de que la muestra está en el horno a 165% y 175% por el periodo de tiempo indicado se retira la canastilla y el recipiente de este y se deja enfriar a temperatura



ambiente. Retirar la canastilla del recipiente y determinar el peso del recipiente con el material escurrido y realizar el análisis correspondiente para la obtención del escurrimiento.



Figura 90: Ensayo de Escurrimiento de asfalto

- La diferencia de la Fibra de Celulosa, que según normativa se trabaja con un 0.3% como mínimo de esta, la celulosa elaborada, apartir de bagazo de caña de azucar no tiene una referencia normativa, mas si estudios previos por lo que se decidió preparar una muestra de prueba con el mínimo de 0.3% para fibra de celulosa, con el fin de evaluar su comportamiento y determinar los porcentajes de incremento con los que se trabajara posteriormente.

d) Toma de datos

Tabla 66: Recoleccion de Datos del ensayo de escurrimiento

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>TESIS : "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR, CUSCO 2018."</b>							
<b>ENSAYO DE ESCURRIMIENTO</b>							
NORMA ASTM D 6390							
<b>TESISTAS:</b>		Bladimir Alessander Farfan Valverde		<b>FECHA:</b> 23/03/2019			
<b>LUGAR:</b>		Rafel Josue Flores Collantes					
<b>MATERIAL:</b>		LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL					
		Mezclas Asfálticas S.M.A. con fibra de celulosa					
<b>ESCURRIMIENTO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR</b>							
<b>TEMPERATURA DE 165 °C</b>							
MUESTRAS	% FIBRA	PESO (gr)			100 - ((C-A)/(B-A)) * 100		
		A	B	C	ESCURRIMIENTO		
		CESTA VACÍA (gr)	CESTA + MUESTRA (gr)	CESTA + MUESTRA DESPUÉS DEL HORNO (gr)	%	% PROMEDIO	✗ MAX
SF-01	0.00	34.30	1056.9	1042.5	1.41	0.30	
FNCA-01	0.3%	31.20	1160.40	1159.90	0.04		
FNCA-02		30.30	1153.40	1158.90	0.04		
FNCA-03	0.35%	35.70	1202.40	1202.00	0.03		
FNCA-04		37.40	1209.40	1209.00	0.03		
FNCA-05	0.4%	34.80	1185.70	1185.20	0.04		
FNCA-06		35.50	1188.70	1188.20	0.04		
FNCA-07	0.45%	30.10	1092.60	1092.00	0.06		
FNCA-08		35.40	1097.60	1097.00	0.06		
<b>TEMPERATURA DE 175 °C</b>							
MUESTRAS	% FIBRA	PESO (gr)			100 - ((C-A)/(B-A)) * 100		
		A	B	C	ESCURRIMIENTO		
		CESTA VACÍA	CESTA + MUESTRA	CESTA + MUESTRA DESPUÉS DEL HORNO	%	% PROMEDIO	✗ MAX
SF-04	0.00	34.30	1042.5	1026.2	1.62	0.30	
FCC-09	0.3%	29.10	1157.80	1157.60	0.02		
FCC-10		35.60	1165.20	1165.00	0.02		
FCC-11	0.35%	31.50	1206.20	1206.10	0.01		
FCC-12		33.90	1198.50	1198.40	0.01		
FCC-13	0.4%	30.60	1189.50	1189.20	0.03		
FCC-14		35.50	1185.30	1185.00	0.03		
FCC-15	0.45%	33.60	1095.50	1095.10	0.04		
FCC-16		33.30	1089.90	1089.50	0.04		
<b>ESCURRIMIENTO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL</b>							
<b>TEMPERATURA DE 165 °C</b>							
MUESTRAS	% FIBRA	PESO (gr)			100 - ((C-A)/(B-A)) * 100		
		A	B	C	ESCURRIMIENTO		
		CESTA VACÍA	CESTA + MUESTRA	CESTA + MUESTRA DESPUÉS DEL HORNO	%	% PROMEDIO	✗ MAX
SF-03	0.00	34.30	1042.5	1026.2	1.62	0.30	
FCC-01	0.3%	32.20	1157.90	1157.70	0.02		
FCC-02		30.30	1153.90	1153.70	0.02		
FCC-03	0.35%	35.70	1201.00	1200.90	0.01		
FCC-04		36.30	1203.00	1202.90	0.01		
FCC-05	0.4%	34.80	1187.30	1187.00	0.03		
FCC-06		35.50	1184.30	1184.00	0.03		
FCC-07	0.45%	30.10	1095.00	1094.60	0.04		
FCC-08		35.40	1091.00	1090.60	0.04		
<b>TEMPERATURA DE 175 °C</b>							
MUESTRAS	% FIBRA	PESO (gr)			100 - ((C-A)/(B-A)) * 100		
		A	B	C	ESCURRIMIENTO		
		CESTA VACÍA	CESTA + MUESTRA	CESTA + MUESTRA DESPUÉS DEL HORNO	%	% PROMEDIO	✗ MAX
SF-02	0.00	34.30	1042.5	1026.2	1.62	0.30	
FNCA-09	0.3%	31.20	1159.90	1159.70	0.02		
FNCA-10		33.40	1158.90	1158.70	0.02		
FNCA-11	0.35%	35.70	1202.00	1201.90	0.01		
FNCA-12		36.40	1202.00	1201.90	0.01		
FNCA-13	0.4%	34.80	1185.30	1185.00	0.03		
FNCA-14		36.50	1185.30	1185.00	0.03		
FNCA-15	0.45%	30.10	1092.00	1091.60	0.04		
FNCA-16		34.40	1092.00	1091.60	0.04		



### 3.5.6.15 Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall

El siguiente ensayo fundamental para los propósitos de la investigación por tal motivo el equipo deberá estar bien calibrados

#### a) Materiales y equipos

- Termómetro.
- Vernier Electronico.
- Guantes.
- Baño María.
- Molde Lottman y mordazas.
- Llaves Mecanicas.
- Dial de Carga.
- Dial de Deformación.
- Máquina de Estabilidad Marshall.

#### b) Preparación de la muestra

- Especímenes asfálticos compactados según:
  - Con Fibra de Celulosa Comercial.
  - Con Fibra Natural de Caña de Azucar.

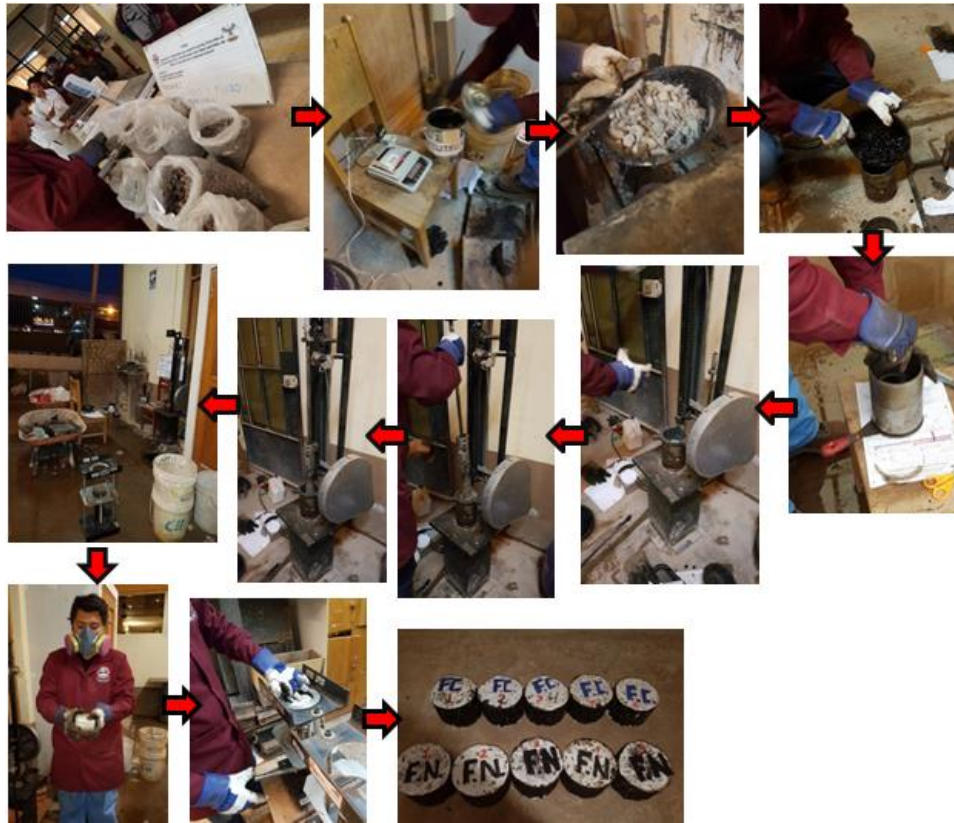


Figura 91: Proceso de la elaboración de briquetas asfálticas para Estabilidad y Flujo Marshall



Figura 92: Medicion y baño Maria de los especímenes asfálticos.

- Se procede hacer la medición de los especímenes con el vernier electrónico.
- Se sumerge los especímenes en baño Maria por un periodo de 50min. A una temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Se tendrá que controlar la temperatura de muestra en el agua con un termómetro, el agua deberá cubrir en un totalidad los especimene asfálticos, para su correcto ensayo



en el equipo de flujo Marshall.



Figura 93: Proceso de ensayo de espécimen en equipo Marshall.

- Una vez pasado los 50 min. Se procede al secado ligero del espécimen, para luego colocarla en el molde Lotman este proceso deberá ser en el menor tiempo posible ya que solo tenemos un promedio de 60seg para que el espécimen no pierda el calor producido por el calentamiento previo.
- Se le coloca la mordaza, el espécimen deberá estar centrada en el molde para así poder ensayar correctamente el ensayo.



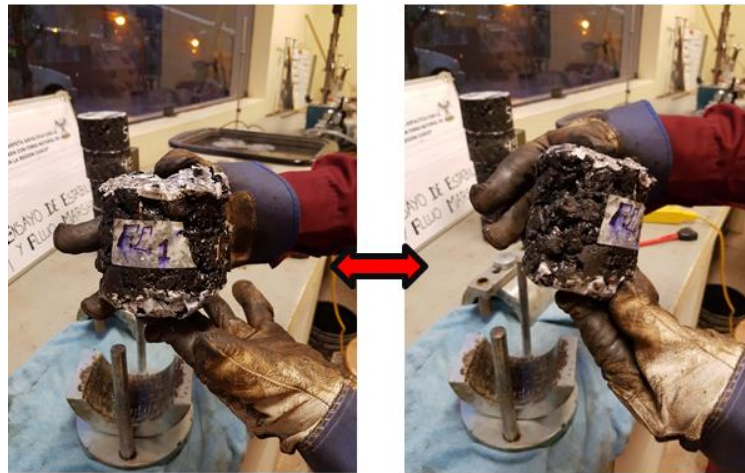


Figura 94: Figura briqueta con F.C "1" ensayada

- Se programa en el equipo digital de Flujo y Estabilidad para su ensayo correspondiente,
- Una vez que el espécimen haya sido ensayado. Detener el equipo antes que las tenazas puedan entrar en contacto entre ellas.
- Se analizaron los valores que nos arrojó el equipo digital Marshall, ya que estos mostraba resultados muy por debajo de nuestro diseño, tanto las briquetas con fibra comercial como las briquetas con fibra natural de caña de azúcar, se consultó con los encargados del laboratorio de asfaltos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, específicamente con los docentes Ing. Kildare Ascue E. y el Ing. Alfredo Curo. Para su asesoría técnica ya que los mencionados tienen amplio conocimiento en asfaltos, se volvió a repetir los ensayos juntamente con los ingenieros y mostrando relativamente los mismos valores muy por debajo del diseño, es así que se determinó que el Equipo Digital estaba descalibrado, motivo por el cual nos vimos en la necesidad de buscar otro laboratorio.
- Es así que se solicitó al PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PLAN COPESCO el acceso y uso de las instalaciones de la planta de asfalto ubicada en el Sector de Huambutio, con fines netamente de investigación de pre grado, solicitud que fue bien correspondida y aceptada.
- Se nos derivó con el ing. Christian L. encargado del laboratorio de planta de asfaltos de COPESCO, se programó los días de ensayos así como también nos brindó asesoría técnica en el proceso de producción de mezclas asfálticas como

también de los agregados lugar de procedencia, el Cemento Asfáltico usado según tipo de proyecto, principal consideración es la altitud en (m.s.n.m). sobre los agregados utilizados así como también su orígenes entre otros.



Figura 95: Ensayo de estabilidad y flujo Marshall en la planta de COPESCO.

- Se procedió a realizar el procedimiento de estabilidad y flujo Marshall en el laboratorio de COPESCO, juntamente con el ing. Cristian encargado del laboratorio y producción de asfaltos.
- El ensayo se realizó con un equipo calibrado con carga constante mas no digital.



Figura 96: Rotura y termino de especímenes de asfalto de estabilidad y flujo Marshall

c) Toma de Datos

Tabla 67: Estabilidad y flujo Marshall de fibra de celulosa comercial

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
TESIS : "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR, CUSCO 2018."									
<b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b>									
<b>NORMA MTC E 504</b>									
<b>TESISTAS:</b>	Bladimir Alessander Farfan Valverde <span style="float: right;"><b>FECHA: 15/04/2019</b></span>								
	Rafer Josue Flores Collantes								
<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>MATERIAL:</b>	Mezclas Asfálticas S.M.A. Con Fibra de Celulosa Comercial (CFCC)								
<b>ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL</b>									
<b>ESTABILIDAD MARSHALL</b>									
MUESTRAS	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN				ALTURA DEL ESPÉCIMEN			
		1	2	3	4	1	2	3	4
	Kg	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
CFCC 04	774.72	10.34	10.31	10.33	10.32	6.53	6.52	6.54	6.57
CFCC 05	680.45	10.29	10.3	10.3	10.31	5.88	5.90	5.89	5.87
CFCC 06	778	10.27	10.3	10.28	10.31	6.54	6.52	6.50	6.53
CFCC 07	707.46	10.29	10.33	10.28	10.3	6.44	6.45	6.45	6.42
CFCC 08	660.55	10.16	10.17	10.15	10.17	6.44	6.43	6.42	6.40
<b>FLUJO MARSHALL</b>									
	MUESTRA	FLUJO							
		0.01 pulg (0.25 mm)							
	CFCC 04	6.25							
	CFCC 05	5.40							
	CFCC 06	6.38							
	CFCC 07	4.50							
	CFCC 08	5.33							

Tabla 68: Estabilidad y flujo marshall con fibra natural de caña de azucar

 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 									
TESIS : "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA									
<b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b>									
<b>NORMA MTC E 504</b>									
<b>TESISTAS:</b>					<b>FECHA: 15/04/2019</b>				
Bladimir Alessander Farfan Valverde Rafer Josue Flores Collantes									
<b>LUGAR:</b> LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL									
<b>MATERIAL:</b> Mezclas Asfálticas S.M.A. Con Fibra Natural de Caña de Azúcar (CFNCA)									
<b>ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR</b>									
<b>ESTABILIDAD MARSHALL</b>									
MUESTRAS	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN				ALTURA DEL ESPÉCIMEN			
		1	2	3	4	1	2	3	4
		N	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
CFNCA 04	895.57	10.16	10.12	10.14	10.18	6.81	6.85	6.84	6.8
CFNCA 05	683.94	10.25	10.29	10.23	10.28	6.56	6.54	6.53	6.54
CFNCA 06	603.99	10.15	10.17	10.18	10.15	6.52	6.62	6.56	6.52
CFNCA 07	801.53	10.14	10.17	10.18	10.15	6.52	6.62	6.56	6.52
CFNCA 08	707.46	10.34	10.36	10.36	10.33	6.38	6.37	6.39	6.39
<b>FLUJO MARSHALL</b>									
MUESTRA		FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)							
CFCC 04		5.50							
CFCC 05		5.25							
CFCC 06		4.50							
CFCC 07		5.50							
CFCC 08		5.00							

### 3.5.6.16 Ensayo de Traccion Indirecta

#### a) Materiales y equipos

- Termómetro.
- Vernier Electronico.
- Guantes.
- Baño María.
- Molde Lottman y mordazas.
- Llaves Mecanicas.
- Dial de Carga.
- Dial de Deformación.
- Máquina de Estabilidad Marshall.

#### b) Preparación de la muestra

- Especímenes asfálticos compactados según:
  - Con Fibra de Celulosa Comercial.
  - Con Fibra Natural de Caña de Azucar.



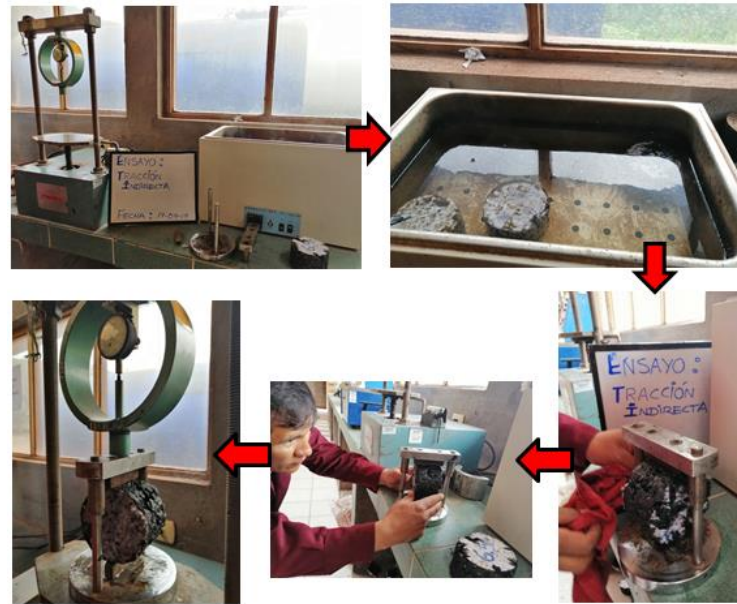


Figura 97: Ensayo de espécimen al corte directo

- Determinar el esfuerzo de tensión indirecta de los especímenes secos y acondicionados a  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$ .
- Remover los especímenes del baño de agua de  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$  y determinar su espesor ( $t'$ ) por MTC E 507. Colocararlo entre las cintas de carga de acero y luego colocar el conjunto entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se debe tomar cuidado de tal forma que la carga sea aplicada a lo largo del diámetro del espécimen. Aplicar la carga a los especímenes por medio de una razón constante de movimiento del cabezal de la máquina de ensayo, a 50mm (2 pulg) por minuto.

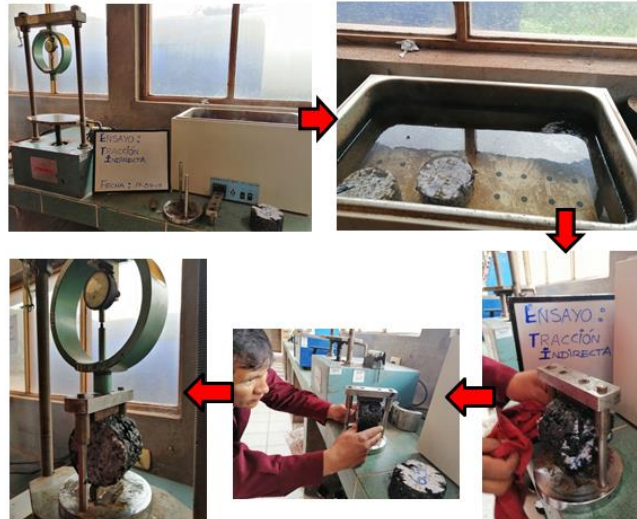


Figura 98: Ensayo de colocado de espécimen

- Registrar el esfuerzo a compresión máximo obtenido en la máquina de ensayo y continuar cargando hasta que aparezca una fisura vertical. Remover el espécimen de la máquina y abrirlo por la fisura. Inspeccionar su interior para evidenciar si hay agregados figurados o fracturados, visualmente estimar el grado aproximado del daño por la humedad en una escala del 0 al 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).
- El ensayo de tracción indirecta consiste en cargar un espécimen cilíndrico de forma vertical y se somete a una carga constante de compresión



Figura 99: termino de ensayo de corte directo

d) Cálculos

Tabla 69: Ensayo de Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al daño inducido por Humedad – Fibra de Celulosa Comercial

CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS		CARGA MÁXIMA Kg	DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN				ALTURA DEL ESPÉCIMEN			
			1	2	3	4	1	2	3	4
Condición Seca	CFCC 09	448.47	10.17	10.18	10.17	10.18	6.53	6.52	6.54	6.57
	CFCC 10	484.91	10.29	10.3	10.3	10.31	5.88	5.90	5.89	5.87
	CFCC 14	439.86	10.15	10.16	10.18	10.14	6.93	6.90	6.91	6.94
Condición Húmeda	CFCC 11	403.06	10.27	10.3	10.28	10.31	6.25	6.33	6.29	6.28
	CFCC 12	423.45	10.29	10.33	10.28	10.3	6.44	6.45	6.45	6.42
	CFCC 13	427.62	10.16	10.17	10.15	10.17	6.44	6.43	6.42	6.40

Tabla 70: Ensayo de Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al daño inducido por Humedad –Fibra Natural de Caña de Azucar

CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS		CARGA MÁXIMA Kg	DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN				ALTURA DEL ESPÉCIMEN			
			1	2	3	4	1	2	3	4
Condición Seca	CFNCA-10	407.14	10.26	10.29	10.27	10.29	6.56	6.56	6.57	6.55
	CFNCA-11	398.98	10.16	10.2	10.16	10.18	6.59	6.63	6.62	6.63
	CFNCA-14	403.06	10.34	10.37	10.34	10.34	6.47	6.45	6.49	6.48
Condición Húmeda	CFNCA-09	333.44	10.17	10.17	10.16	10.15	6.78	6.77	6.75	6.71
	CFNCA-12	358.00	10.23	10.32	10.32	10.23	6.35	6.39	6.35	6.27
	CFNCA-13	378.49	10.31	10.31	10.33	10.32	6.66	6.58	6.51	6.53



### 3.6. Procedimiento de Análisis de Datos

#### 3.6.1. Ensayo de los componentes de la Mezcla

##### 3.6.1.1 Ensayo de granulometría de los Agregados

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

$$\text{Para A. G., \% Retenido en } 3/4" = \frac{64.37 * 100}{1156.13} = 5.57\%$$

$$\text{Retenido Acumulado} = \sum \text{Retenidos acumulados} + \text{Retenido de la malla}$$

$$\text{Para A. G. Retenido Acumulado en } 1/2" = 64.37 + 601.68 = 666.05 \text{ gr}$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \frac{\text{Peso Retenido Acumulado} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

$$\text{Para A. G., \% Retenido Acumulado en } 1/2" = \frac{666.05 * 100}{1156.13} = 57.61\%$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

$$\text{Para A. G., \% Que pasa en } 3/4" = 100\% - 5.57\% = 94.43\%$$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 71: Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso

tamiz		Abertura en mm	pesos retenido (gr)	% retenido	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	%pasa	Limite Inferior	Limite Superior
1"	25	0	0.0				100	100	100
3/4"	19	64.37	5.57	64.37	5.57	94.43	90	100	
1/2"	12.5	601.68	52.04	666.05	57.61	42.39	50	74	
3/8"	9.5	354.37	30.65	1020.42	88.26	11.74	25	60	
4	4.75	135.71	11.74	1156.13	100.00	0.00	20	28	
8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16	24	
16	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13	21	
30	0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12	18	
50	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12	15	
200	0.075	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8	10	
FONDO							0	0	

Tabla 72 Cálculo del ensayo de granulometría del agregado fino

tamiz		Abertura en mm	pesos retenido (gr)	% retenido	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	%pasa	Limite Inferior	Limite Superior
1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50	74
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25	60
4	4.75	167.2	16.6	167.20	16.57	83.43	20	28	
8	2.36	291.28	28.9	458.48	45.43	54.57	16	24	
16	1.18	212.83	21.1	671.31	66.53	33.47	13	21	
30	0.6	131.97	13.1	803.28	79.60	20.40	12	18	
50	0.3	89.95	8.9	893.23	88.52	11.48	12	15	
200	0.075	86.74	8.6	979.97	97.11	2.89	8	10	
FONDO		29.13	2.9	1009.10	100.00	0.00	0	0	

Tabla 73: Cálculo del ensayo de granulometría del Filler

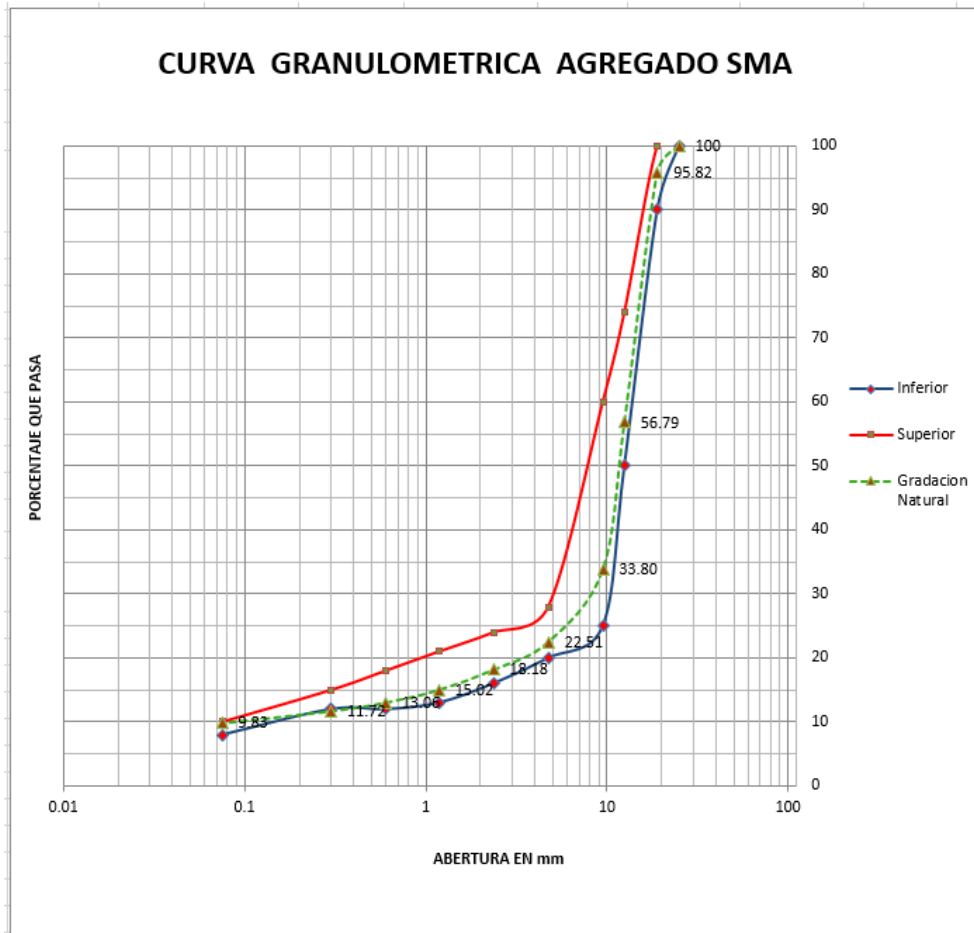
GRANULOMETRÍA FILLER								
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	19 mm TMN	
							LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	50	74
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	25	60
N°4	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	20	28
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	16	24
N°16	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	13	21
N°30	0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	12	18
N°50	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	12	15
N°200	0.075	6.90	1.72	6.90	1.72	98.28	8	10
FONDO		393.80	98.28	400.70	100.00	0.00	0	0
TOTAL RETENIDO		400.70	100.00	400.70				

### Análisis de la prueba

Los porcentajes que pasan de las granulometrías de Agregado Grueso, Agregado Fino y Filler, si cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica para un TMN 3/4" de diseño según S.M.A. para una proporción de 75% de AG, 15% de AF y 10% de Filler.

Tabla 74: Combinación de granulometría de los agregados

COMBINACION GRANULOMETRICA PARA GRADACION SMA								
AGREGADO GRUESO CAICAY		75%	AGREGADO FINO CAICAY			15%	filler	10%
TAMIZ	ABERTURA	PORCENTAJE RETENIDO A. GRUESO	PORCENTAJE RETENIDO A. FINO	PORCENTAJE RETENIDO FILLER	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACION	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	%	%	%	%	%	SMA	
		A	B	C	D	E	INF	SUP
1"	25	0			0	100	100	100
3/4"	19.000	5.57			4.18	95.82	90	100
1/2"	12.500	52.04			39.03	56.79	50	74
3/8"	9.500	30.65			22.99	33.80	25	60
4	4.750	11.74	16.57	0.00	11.29	22.51	20	28
8	2.360		28.87	0.00	4.33	18.18	16	24
16	1.180		21.09	0.00	3.16	15.02	13	21
30	0.600		13.08	0.00	1.96	13.06	12	18
50	0.300		8.91	0.00	1.34	11.72	12	15
200	0.075		8.60	6.00	1.89	9.83	8	10
	FONDO		2.89	94.00	9.83	0.00		
	total	100.00	100.00	100.00	100.00			



### Análisis de la prueba

Los Porcentajes que pasan de la combinación granulométrica de los agregados Grueso, Fino y Filler, en proporción con un 75% de Agregado Grueso, con un 15% de Agregado Fino y con un 10% de Filler cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica para un TMN 3/4” de diseño según S.M.A.

### 3.6.1.2 Ensayo de Abrasión Los Ángeles

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}}$$

$$\% \text{ Abrasión para A. G.} = \frac{5006 - 3940}{5006} = 21.29\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 75: Cálculo del ensayo de Abrasión Los Ángeles

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>					
<b>TESIS : "ANALISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFALTICA CON LA TECNOLOGIA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZUCAR, CUSCO 2018."</b>							
<b>ENSAYO DE ABRASION LOS ANGELES</b>							
<b>NORMA MTC E207</b>							
<b>TESISTAS:</b>		Bladimir Alessander Farfan Valverde			<b>FECHA:</b>		02/05/2018
		Rafer Josue Flores Collantes					
<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERIA CIVIL					
<b>MATERIAL:</b>		AGREGADO GRUESO DE 1/2" Y 3/8" CANTERA CAICAY - SECTOR PAUCARTAMBO					
<b>QUE PASA</b>		<b>RETENIDO</b>		<b>GRADACION (gr)</b>			
pulg.	mm.	pulg.	mm.	A	B	C	D
1 1/2"	37.5	1"	25	1250.00			
1"	25	3/4"	19	1250.00			
3/4"	19	1/2"	12.5	1250.00	2500.00		
1/2"	12.5	3/8"	9.5	1250.00	2500.00		
3/8"	9.5	1/4"	6.3			2500.00	
1/4"	6.3	#4	4.75			2500.00	
#4	4.75	#8	2.36				5000.00
<b>PESO TOTAL</b>				5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Nro de Esferas				12	11	8	6
Nro de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotacion por min				15	15	15	15
Peso inicial (gr)					5006		
Peso Final (gr)					3940		
<b>% de ABRASION</b>					<b>21.29</b>		

Análisis de la prueba

El porcentaje de abrasión del Agregado Grueso de la cantera de Caicay – Paucartambo, por medio de la maquina Los Ángeles, cumple con el valor mínimo establecido dentro de los requisitos de calidad para Agregado Grueso AASHTO MP8

### 3.6.1.3 Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{ Que pasa} = \frac{\text{Peso Inicial}}{\text{Peso Total}} * 100$$



% Que pasa Part. Alargadas (Pasa 1/2" y Ret. 3/8") del A. G. 1/2" =

$$\frac{577.33}{796.37} * 100 = 72.5\%$$

$$\% \text{ Part. (Chatas o Alargadas)} = \frac{\text{Peso de partículas Chatas o Alargadas}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

$$\% \text{ Part. Chatas (Pasa } \frac{1}{2} \text{ y Ret. } \frac{3}{8}) = \frac{5.63}{577.33} * 100 = 0.98\%$$

% Part. Chatas y Alargadas =

% Prom. Part. Chatas + % Prom. Part. Alargadas

% Part. Chatas y Alargadas para A. G. = 2.95% + 0.0% = 2.95%

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 76: Cálculo de ensayo de partículas Chatas y Alargadas en Agregado Grueso de 1/2 y 3/8"

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TESIS : "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR, CUSCO 2018."</b>						
<b>ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>						
NORMA MTC E 223						
<b>TESISTAS:</b>	Bladimir Alessander Farfan Valverde			<b>FECHA:</b>	05/05/2018	
	Rafer Josue Flores Collantes					
<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO GRUESO DE 1/2" Y 3/8" CANTERA CAICAY - SECTOR PAUCARTAMBO					
<b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>						
<b>RELACIÓN:</b>	1:3					
<b>PARTÍCULAS CHATAS</b>						
TAMIZ		PESO INICIAL (gr)	NUMERO DE PIEZAS	PORCENTAJE RETENIDO	PARTÍCULAS CHATAS	
PASA	RETIENE				PESO (gr)	PORCENTAJE (%)
3/4"	1/2"	577.33	101	72.5	5.63	0.98
1/2"	3/8"	219.04	101	27.5	10.78	4.9
<b>TOTAL</b>		<b>796.37</b>			<b>SUMA</b>	<b>2.95</b>
<b>PARTÍCULAS ALARGADAS</b>						
TAMIZ		PESO INICIAL (gr)	NUMERO DE PIEZAS	PORCENTAJE RETENIDO	PARTÍCULAS ALARGADAS	
PASA	RETIENE				PESO (gr)	PORCENTAJE (%)
3/4"	1/2"	577.33	101	72.50	0	0.00
1/2"	3/8"	219.04	101	27.50	0	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>796.37</b>		<b>100</b>	<b>SUMA</b>	<b>0.00</b>



## c) Análisis de la prueba

Con respecto al ensayo de partículas Chatas y Alargadas, cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Grueso AASHTO MP8

### 3.6.1.4 Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas del agregado grueso

## a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\% \text{ Caras Fracturadas} = \frac{\text{Peso material con caras fracturadas}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Caras Fracturadas (con una o mas caras fracturadas para A. G. 1/2")} = \frac{1507.0}{1507.0} * 100 = 100.0\%$$

$$\% \text{ Retenido Gradación Original} = \frac{\text{Peso de muestra por tamiz}}{\text{Peso de muestra total}} * 100$$

$$\% \text{ Ret. Gradación Original (con una o mas caras fracturadas A. G. 1/2")} = \frac{1507.0}{2011.0} * 100 = 74.94\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 77: Cálculos de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas del Agregado Grueso de 1/2 y 3/8"

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
 						
TESIS : "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR, CUSCO 2018."						
<b>ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS</b>						
NORMA MTC E210						
<b>TESISTAS:</b>		Bladimir Alessander Farfan Valverde			<b>FECHA:</b> 10/05/2018	
		Rafer Josue Flores Collantes				
<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>MATERIAL:</b>		AGREGADO GRUESO DE 1/2" Y 3/8" CANTERA CAICAY - SECTOR PAUCARTAMBO				
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS 1/2 y 3/8"</b>						
<b>CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS</b>						
TAMAÑO DE AGREGADO		A	B	C=B/A*100	D=A/ΣA	
TAMIZ		PESO INICIAL (gr)	PESO CON CARAS FRACTURAS (gr)	% CARAS FRACTURADAS	% RETENIDO GRADACIÓN	% CON UNA O MAS CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
3/4"	1/2"	1507.00	1507	100.00	74.94	100.00 %
1/2"	3/8"	504.00	504	100.00	25.06	100.00 %
<b>TOTAL</b>		<b>2011</b>			<b>100.00</b>	
<b>CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS</b>						
TAMAÑO DE AGREGADO		A	B	C=B/A*100	D=A/ΣA	
TAMIZ		PESO INICIAL (gr)	PESO CON CARAS FRACTURADAS	% CARAS FRACTURADAS	% RETENIDO GRADACIÓN	% CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
3/4"	1/2"	1507.00	1507	100.00	74.94	100.00 %
1/2"	3/8"	504.00	504	100.00	25.06	100.00 %
<b>TOTAL</b>		<b>2011</b>			<b>100.00</b>	

c) Análisis de la prueba

Para la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas para el agregado grueso, en la evaluación de una o más caras fracturadas cumple con el requerimiento y para el caso de dos o más caras fracturadas cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Grueso AASHTO MP 80.

3.6.1.5 Ensayo de durabilidad del agregado grueso al sulfato de magnesio

a) Procedimiento o cálculo de la prueba



- $Perdida\ de\ peso\ (gr) = Peso\ Inicial\ empleado(gr) - Peso\ Final(gr)$
- $Perdida\ de\ peso\ (Pasa\ 3/4" Ret. 3/8") = 1005.17 - 992.94 = 12.23$

$$Perdida\ de\ peso\ (%) = \frac{Perdida\ de\ peso\ (gr)}{Peso\ Inicial\ empleado\ (gr)} * 100$$

$$Perdida\ de\ peso\ (Pasa\ 3/4" Ret. 3/8") = \frac{12.23}{1005.17} * 100 = 1.22\%$$

$$Gradación\ Original\ (%) = \frac{Peso\ Inicial\ empleado\ (gr)}{Total\ de\ Peso\ (gr)} * 100$$

$$Gradación\ Original\ (Pasa\ 3/4" Ret. 3/8") = \frac{1005.17}{1305.55} * 100 = 76.994\%$$

$$Perdidas\ Corregidas\ (%) = \frac{Perdida\ de\ peso\ (%) * Gradación\ original\ \%}{100}$$

$$Perdidas\ Corregidas\ (Pasa\ 3/4" Ret. 3/8") = \frac{1.22 * 76.99}{100} = 0.94\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 78: Cálculos de ensayo de Durabilidad del Agregado Grueso al Sulfato de Magnesio

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS GRUESOS									
TAMICES UTILIZADOS:		3/4"; 1/2"; 3/8"; #4							
TAMAÑO DE AGREGADO		PESO	CÓDIGO	1	2	3=(1-2)	4=(3/1)*100	5	6=(4*5)/100
TAMIZ	RETENIDO (gr)			PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDAS		GRADACIÓN ORIGINAL %	PERDIDAS CORREGIDAS %
PASA	RETIENE					gr	%		
3/4"	3/8"	670±10	AG-01	1005.17	992.94	12.23	1.22	76.99	0.94 %
3/8"	# 4	300±5	AG-03	300.38	294.46	5.92	1.97	23.01	0.45 %
				1305.55			PERDIDA TOTAL		1.39 %
		% DE DURABILIDAD:	1.39 %						

### Análisis de la prueba

El valor del Agregado Grueso para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Grueso AASHTO MP8.





### 3.6.1.6 Ensayo de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

*Peso en el aire del agregado seco al horno = Peso del agregado seco al horno + Recipiente – peso del Recipiente*

$$\text{Peso en el aire del agregado seco al horno} = 4489.7 - 650.4 = 3839.3$$

A = Peso en el aire del agregado seco al horno

B = Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco

C = Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua

$$Gsa = \frac{A}{A - C}$$

$$Gsa = \frac{3839.3}{3839.37 - 2436.2} = 2.74 \text{ gr/cm}^3$$

$$Gsssb = \frac{B}{B - C}$$

$$Gsssb = \frac{3893.3}{3893.3 - 2436.2} = 2.67 \text{ gr/cm}^3$$

$$Gsb = \frac{A}{B - C}$$

$$Gsb = \frac{3839.3}{3893.3 - 2436.2} = 2.63 \text{ gr/cm}^3$$

$$Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$Abs = \frac{3893.3 - 3839.3}{3839.3} * 100 = 1.41\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 79: Cálculos del ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO						
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
	Peso del agregado seco al horno + recipiente	gr	4489.7	3487.3	4488.3	
	Peso del recipiente	gr	650.4	489.60	650.90	
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	3839.30	2997.70	3837.40	
B	Peso en el aire del agregado saturado	gr	3893.30	3040.80	3890.50	
C	Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua	gr	2436.20	1886.70	2428.40	
Pea=Gsa	Pe seco aparente (A/(A-C))	gr/cm3	2.74	2.70	2.72	2.72
Pesss=Gsssb	Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))	gr/cm3	2.67	2.63	2.66	2.66
Pem=Gsb	Pe seco bulk (A/(B-C))	gr/cm3	2.63	2.60	2.62	2.62
Abs	Absorción ((B-A)*100/A)	%	1.41	1.44	1.38	1.41

Análisis de la prueba

El ensayo de Peso Específico y Absorción, para el caso del porcentaje de absorción cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Grueso AASHTO MP8 Los valores obtenidos de los agregados se utilizarán para el diseño de Mezclas S.M.A.

3.6.1.7 Ensayo De Peso Unitario De Los Agregados Gruesos

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso del agregado suelto (Pas)} =$$

$$\text{Peso del AG. suelto + recipiente (Pm + as)} - \text{Peso del Molde (Pm)}$$

$$\text{Peso del agregado suelto (Pas)} = 15.35 - 9.490 = 5.86 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del agregado compactado (Pac)} =$$

$$\text{Peso del AG. compactado + recipiente (Pm + ac)} - \text{Peso del Molde (Pm)}$$

$$\text{Peso del agregado compactado (Pac)} = 15.827 - 9.490 = 6.34 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso Unitario Suelto} = \frac{\text{Peso del agregado grueso suelto (Pas)}}{\text{Volumen del molde (Vm)}}$$

$$\text{Peso Unitario Suelto} = \frac{5.86 \text{ Kg}}{0.00416 \text{ m}^3} = 1408.15 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso Unitario Compactado} = \frac{\text{Peso del agregado grueso compactado (Pac)}}{\text{Volumen del molde (Vm)}}$$

$$\text{Peso Unitario Compactado} = \frac{6.34 \text{ Kg}}{0.00416 \text{ m}^3} = 1522.69 \text{ Kg/m}^3$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 80: Cálculo de ensayo de Peso Unitario de los Agregados Gruesos Gradación 01

PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO GRADACIÓN 01				
MOLDE				
MEDIDAS	1	2	3	PROMEDIO (cm)
Longitud (cm)	22.90	22.85	22.90	22.88
Diámetro (cm)	15.20	15.20	15.25	15.22
Volumen del Molde (Vm)				4161.48 cm <sup>3</sup>
				0.00416 m <sup>3</sup>
PESO DEL MOLDE (Pm) Kg				9.490 Kg
PESO DEL AGREGADO SUELTO + RECIPIENTE (as+Pm)				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
PESO (Kg)	15.24	15.1	15.30	15.213 Kg
PESO DEL AGREGADO COMPACTADO+RECIPIENTE (ac+Pm)				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
PESO (Kg)	15.84	15.76	15.85	15.817 Kg
PESO DE LOS AGREGADOS (Pa)				
PESO DEL AGREGADO GRUESO SUELTO (Pas)				5.72 Kg
PESO DEL AGREGADO GRUESO COMPACTADO (Pac)				6.33 Kg
CALCULO DE PESOS UNITARIOS				
PESO UNITARIO SUELTO (PUs=Pas/Vm)				1375.31 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC=Pac/Vm)				1520.29 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 81: Cálculo de ensayo de Peso Unitario de los Agregados Gruesos Gradación 02

PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO GRADACIÓN 02				
MOLDE				
MEDIDAS	1	2	3	PROMEDIO (cm)
Longitud (cm)	22.90	22.85	22.90	22.88
Diámetro (cm)	15.20	15.20	15.25	15.22
Volumen del Molde (Vm)				4161.48 cm <sup>3</sup>
				0.00416 m <sup>3</sup>
PESO DEL MOLDE (Pm) Kg				9.490 Kg
PESO DEL AGREGADO SUELTO + RECIPIENTE (as+Pm)				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
PESO (Kg)	15.38	15.36	15.31	15.350 Kg
PESO DEL AGREGADO COMPACTADO+RECIPIENTE (ac+Pm)				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
PESO (Kg)	15.8	15.83	15.85	15.827 Kg
PESO DE LOS AGREGADOS (Pa)				
PESO DEL AGREGADO GRUESO SUELTO (Pas)				5.86 Kg
PESO DEL AGREGADO GRUESO COMPACTADO (Pac)				6.34 Kg
CALCULO DE PESOS UNITARIOS				
PESO UNITARIO SUELTO (PUs=Pas/Vm)				1408.15 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC=Pac/Vm)				1522.69 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 82: Cálculo de ensayo de Peso Unitario de los Agregados Gruesos Gradación 03

PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO GRADACIÓN 03				
MOLDE				
MEDIDAS	1	2	3	PROMEDIO (cm)
Longitud (cm)	22.75	22.75	22.80	22.77
Diámetro (cm)	15.20	15.25	15.20	15.22
Volumen del Molde (Vm)				4140.27 cm <sup>3</sup>
				0.00414 m <sup>3</sup>
PESO DEL MOLDE (Pm) Kg				8.520 Kg
PESO DEL AGREGADO SUELTO + RECIPIENTE (as+Pm)				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
PESO (Kg)	14.245	14.31	14.27	14.275 Kg
PESO DEL AGREGADO COMPACTADO+RECIPIENTE (ac+Pm)				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
PESO (Kg)	14.945	14.835	14.98	14.920 Kg
PESO DE LOS AGREGADOS (Pa)				
PESO DEL AGREGADO GRUESO SUELTO (Pas)				5.76 Kg
PESO DEL AGREGADO GRUESO COMPACTADO (Pac)				6.40 Kg
CALCULO DE PESOS UNITARIOS				
PESO UNITARIO SUELTO (PUs=Pas/Vm)				1390.01 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO COMPACTADO (PUc=Pac/Vm)				1545.79 Kg/m <sup>3</sup>

### c) Análisis de la prueba

Los valores obtenidos de las gradaciones de agregado grueso (01, 02, 03), serán utilizados para el diseño SMA.

#### 3.6.1.8 Ensayo de límites de Consistencia

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso de la muestra seca}(Pms) = \text{Peso Tara} + \text{muestra seca} - \text{Peso Tara}$$

$$\text{Peso de la muestra seca}(Pms) = 27.36 - 15.81 = 9.28 \text{ gr}$$

$$\text{Peso del agua}(Pa) = \text{Peso Tara} + \text{muestra hum.} - \text{Peso Tara} + \text{muestra seca}$$

$$\text{Peso del agua}(Pa) = 27.36 - 25.09 = 2.27 \text{ gr}$$

$$\text{Contenido de Humedad} (\%) = \frac{\text{Peso del Agua} (Pa)}{\text{Peso de la muestra seca} (Pms)}$$

$$\text{Contenido de Humedad} (\%) = \frac{2.27}{9.28} = 24.46\%$$

$$\text{Limite Líquido} (LL) = \text{Contenido de Humedad}(W^n) \left( \frac{\text{Numero de golpes}(N)}{25} \right)^{0.121}$$

$$\text{Limite Líquido} (LL) = (23.56\%) \left( \frac{20}{25} \right)^{0.121} = 22.93\%$$



$$\text{Limite Líquido (LL)} = \text{Factor limite líquido}(k) * \text{Contenido de humedad}W^n$$

$$\text{Limite Líquido (LL)} = 0.974 * 23.56\% = 22.95\%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 83: Cálculo de ensayo de Límites de Consistencia

LÍMITES DE CONSISTENCIA PARA FINOS							
Numero de Tara	LÍMITE LIQUIDO (gr)						LÍMITE PLÁSTICO
	1	2	3	4	5	6	
Peso tara + Muestra Húmeda (A)	27.36	29.89	29.43	29.57	28.31	29.25	-
Peso tara + Muestra Seca (B)	25.09	27.60	27.17	26.41	26.20	26.42	-
Peso tara (C)	15.81	16.19	15.53	16.06	15.46	16.03	-
Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C)	9.28	11.41	11.64	10.35	10.74	10.39	-
Peso del Agua (Pa=A-B)	2.27	2.29	2.26	3.16	2.11	2.83	-
Contenido de Humedad (Pa/Pms)	24.46%	20.07%	19.42%	30.53%	19.65%	27.24%	-
Numero de Golpes	20						
<b>AGREGADO FINO NO PRESENTA PLASTICIDAD</b>							
<b>PARA UN PUNTO</b>				<b>Tabla A -1</b>			
Numero de golpes (N)				20			
Contenido de humedad (Wn)				23.56%			
Factor K				0.974			
$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$ $LL = 22.93\%$				$LL = kW^n$ $LL = 22.95\%$			
Numero de golpes		Contenido de humedad (%)					
20		23.56%					
25		22.95%					
<b>Límites de consistencia</b>							
Limite Líquido		22.95 %					
Limite Plástico		N.P.					

c) Análisis de la prueba

El ensayo de Límites de Consistencia, para el caso de límite líquido, si cumple, y para el caso de Índice de Plasticidad si cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Fino AASHTO MP8

### 3.6.1.9 Ensayo De Angularidad De Finos

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso de la Arena}(W) = \text{Peso arena + cilindro (PW)} - \text{Peso del Cilindro (P)}$$

$$\text{Peso de la Arena}(W) = 5470 - 4165 = 1305.0 \text{ gr}$$

$$Angularidad (A\%) = \frac{Volumen (V) - \frac{Peso\ de\ arena\ (W)}{Gravedad\ Específica\ bruta(Gsb)}}{Volumen (V)} * 100$$

$$Angularidad (A\%) = \frac{912.82 - \frac{1305.0}{2.60}}{912.82} * 100 = 45.09 \%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 84: Cálculos de ensayo de Angularidad de Finos

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO						
Tamices Utilizados: #8 y #200						
CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO				PESOS DEL CILINDRO Y MUESTRA		
CILINDRO (cm)				PESOS		
H1	H2	Dm1	Dm2	1	2	3
11.50	11.40	10.10	10.05	ARENA + CILINDRO (PW) (gr)		
PROMEDIO H		PROMEDIO Dm		5470.00	5470.00	5470.00
11.45		10.08		ARENA (W)		
				1305.00	1305.00	1305.00
VOLUMEN (V) cm3		PESO (P) gr		PROMEDIO DE ARENA (W) gr		
912.82		4165		1305.00		
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA						
Gsb(gr/cm3)				2.60		
ANGULARIDAD O % DE VACÍOS NO COMPACTADOS (A%)						
$A\% = \frac{V - \frac{W}{Gsb}}{V} \times 100 =$				45.09%		

c) Análisis de la prueba

Para el ensayo de Angularidad de Finos cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Fino AASHTO MP8

### 3.6.1.10 Ensayo de Durabilidad del Agregado Fino al Sulfato de Magnesio

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$Perdida\ de\ peso\ (gr) = Peso\ Inicial\ empleado(gr) - Peso\ Final(gr)$$

$$Perdida\ de\ peso\ (Pasa\ 3/8" Ret. \#4) = 100.26 - 98.13 = 2.13\ gr$$

$$Perdida\ de\ peso\ (\%) = \frac{Perdida\ de\ peso\ (gr)}{Peso\ Inicial\ empleado\ (gr)} * 100$$

$$\text{Pérdida de peso (Pasa 3/8" Ret. #4)} = \frac{2.13}{100.26} * 100 = 2.12 \%$$

$$\text{Gradación Original (\%)} = \frac{\text{Peso Inicial empleado (gr)}}{\text{Total de Peso (gr)}} * 100$$

$$\text{Gradación Original (Pasa 3/8" Ret. #4)} = \frac{100.26}{501.65} * 100 = 19.99 \%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 85: Cálculo de ensayo de Durabilidad del Agregado Fino al Sulfato de Magnesio

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADOS FINOS										
TAMICES UTILIZADOS:		3/8"; #4; #8; #16; #30; #50								
TAMAÑO DE AGREGADO				1	2	3=(1-2)		4(3/1)*100	6=(4*5)/100	
TAMIZ		PESO		PESO	PESO FINAL	PERDIDAS		GRADACIÓN	PERDIDAS	
PASA	RETIENE	RETENIDO (gr)	CÓDIGO	INICIAL (gr)	(gr)	gr	%	ORIGINAL %	CORREGIDAS %	
3/8"	# 4	100.00	AF-01	100.26	98.13	2.13	2.12	19.99	0.42	
# 4	# 8	100.00	AF-02	100.30	99.30	1.00	0.99	19.99	0.20	
# 8	# 16	100.00	AF-03	100.35	99.61	0.74	0.74	20.00	0.15	
# 16	# 30	100.00	AF-04	100.40	98.54	1.86	1.85	20.01	0.37	
# 30	# 50	100.00	AF-05	100.34	96.20	4.14	4.13	20.00	0.83	
				501.65	PERDIDA TOTAL				1.97	
% DE DURABILIDAD:		1.97 %								

c) Análisis de la prueba

Para el ensayo de Durabilidad al Sulfato de magnesio para agregado fino, cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para Agregado Fino AASHTO MP8

3.6.1.11 Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\text{Peso en el aire del agregado seco al horno} = \text{Peso del agregado seco al horno} + \text{Recipiente} - \text{peso del Recipiente}$$

$$\text{Peso en el aire del agregado seco al horno} = 560.1 - 66.8 = 493.30 \text{ gr}$$

A = Peso en el aire del agregado seco al horno.

B = Peso del Picnómetro + agua.

C = Peso del picnómetro + agregado + agua hasta la marca.

D = Peso del material Saturado Superficialmente Seco.

$$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$$

$$Gsa = \frac{493.30}{687.00 + 493.30 - 998.30} = 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

$$Gsssb = \frac{D}{B + D - C}$$

$$Gsssb = \frac{500}{687.00 + 500 - 998.30} = 2.65 \text{ gr/cm}^3$$

$$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$$

$$Gsb = \frac{493.30}{687.00 + 500 - 998.30} = 2.61 \text{ gr/cm}^3$$

$$Abs = \frac{D - A}{A} * 100$$

$$Abs = \frac{500 - 493.30}{493.30} * 100 = 1.36 \%$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 86 Cálculo de ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO						
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Nº 1	Nº 2	Nº 3	PROMEDIO
	Peso del agregado seco al horno + recipiente	gr	560.1	643.1	560.2	
	Peso del recipiente	gr	66.8	149.30	66.80	
A	Peso en el aire del agregado seco al horno	gr	493.30	493.80	493.40	
B	Peso del picnómetro + agua	gr	687.00	660.60	686.60	
C	Peso del picnómetro + Agregado + agua hasta la marca	gr	998.30	971.20	996.10	
D	Peso del material saturado superficialmente seco	gr	500.00	500.00	500.00	
Pea=Gsa	Pe seco aparente (A/(B+A-C))	gr/cm3	2.71	2.70	2.68	2.70
Pesss=Gsssb	Pe de masa saturada con superficie seca (D/(B+D-C))	gr/cm3	2.65	2.64	2.62	2.64
Pem=Gsb	Pe seco bulk (A/(B+D-C))	gr/cm3	2.61	2.61	2.59	2.60
Abs	Absorción ((D-A)*100/A)	%	1.36	1.26	1.34	1.32

c) Análisis de la prueba

El Agregado Fino, con respecto al ensayo de Peso Específico y Absorción, se utilizarán para el diseño de Mezclas S.M.A.

3.6.2. Diseño De Mezclas Asfálticas S.M.A

3.6.2.1 Combinación De Granulometría De Los Agregados Para Diseño

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

$$\begin{aligned} & \% \text{ Retenido Combinación de AG.} = \\ & \sum (\% \text{ retenido Muestra N} * \% \text{ Incidencia Muestra N}) \\ & = A\% * 75\% + B\% * 15\% + C\% * 10\% = \Sigma\% \end{aligned}$$

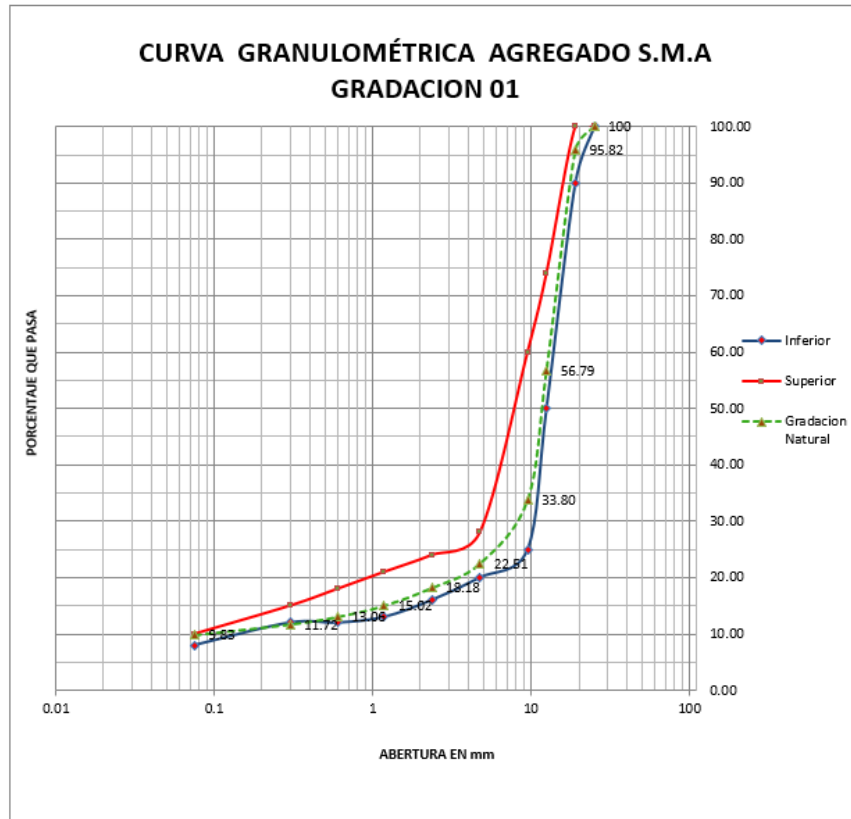
$$\begin{aligned} & \% \text{ retenido Combinación de AG. } 3/4'' \\ & = 5.57\% * 75\% + 0\% * 15\% + 0\% * 10\% = 4.18\% \end{aligned}$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 87: Combinación de agregados con Gradación 01

COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA PARA GRADACIÓN 01								
AGREGADO GRUESO CAICAY		75%	AGREGADO FINO CAICAY		15%	FILLER		10%
TAMIZ	ABERTURA	PORCENTAJE RETENIDO A.GRUESO	PORCENTAJE RETENIDO A.FINO	PORCENTAJE RETENIDO FILLER	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACIÓN	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
ASTM	mm	%	%	%	%	%	S.M.A	
		A	B	C	D	E	INF	SUP
1"	25	0	0	0	0	100	100.00	100.00
3/4"	19.000	5.57	0	0	4.18	95.82	90.00	100.00
1/2"	12.500	52.04	0	0	39.03	56.79	50.00	74.00
3/8"	9.500	30.65	0	0	22.99	33.80	25.00	60.00
4	4.750	11.74	16.57	0.00	11.29	22.51	20.00	28.00
8	2.360	0	28.87	0.00	4.33	18.18	16.00	24.00
16	1.180	0	21.09	0.00	3.16	15.02	13.00	21.00
30	0.600	0	13.08	0.00	1.96	13.06	12.00	18.00
50	0.300	0	8.91	0.00	1.34	11.72	12.00	15.00
200	0.075	0	8.60	6.00	1.89	9.83	8.00	10.00
	FONDO	0	2.89	94.00	9.83	0.00		
	TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00			



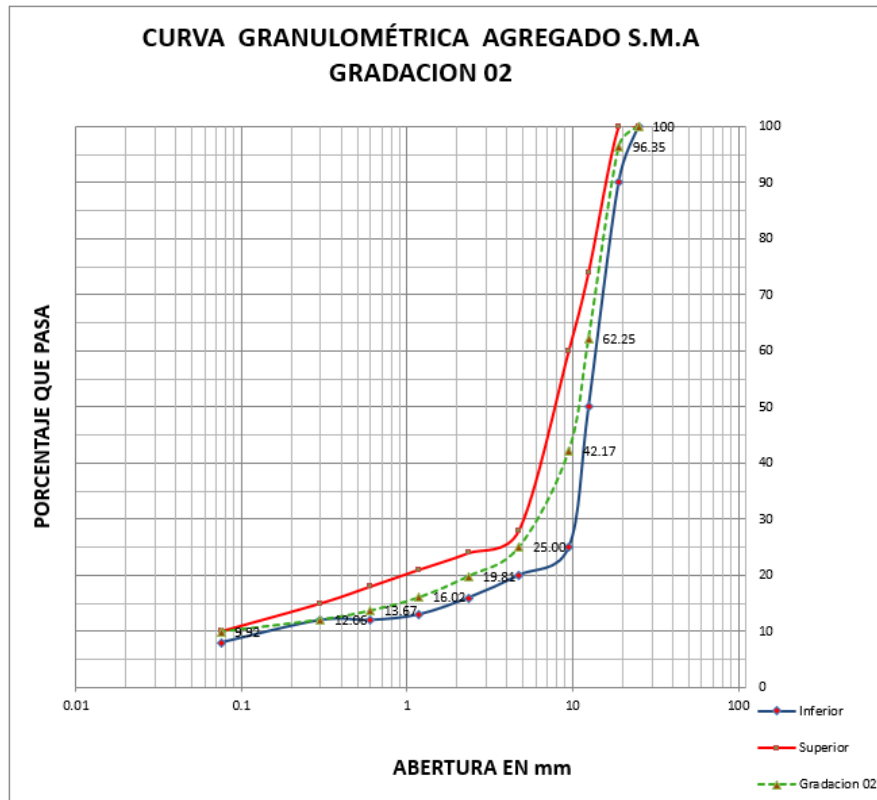


### Análisis de la prueba

Los valores obtenidos de la combinación de los agregados, para la Gradación 01 de 75% de Agregado Grueso, 15% Agregado Fino y 10% Filler, cumple con las especificaciones de distribución granulométrica para un TMN 3/4” de diseño según S.M.A, obteniendo una curva granulométrica que se encuentra dentro de los límites superior e inferior para un diseño S.M.A.

Tabla 88: Combinación de agregados con Gradación 02

COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA PARA GRADACIÓN 02									
AGREGADO GRUESO CAICAY		75%	AGREGADO FINO CAICAY			15%	FILLER		10%
TAMIZ	ABERTURA	PORCENTAJE RETENIDO A.GRUESO	PORCENTAJE RETENIDO A.FINO	PORCENTAJE RETENIDO FILLER	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACIÓN	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES		
ASTM	mm	%	%	%	%	%	S.M.A		
		A	B	C	D	E	INF	SUP	
1"	25	0	0.0	0.0	0	100	100	100	
3/4"	19.000	4.86	0.0	0.0	3.65	96.35	90	100	
1/2"	12.500	45.47	0.0	0.0	34.10	62.25	50	74	
3/8"	9.500	26.78	0.0	0.0	20.08	42.17	25	60	
4	4.750	22.89	0.00	0.00	17.17	25.00	20	28	
8	2.360	0.0	34.60	0.00	5.19	19.81	16	24	
16	1.180	0.0	25.28	0.00	3.79	16.02	13	21	
30	0.600	0.0	15.68	0.00	2.35	13.67	12	18	
50	0.300	0.0	10.68	0.00	1.60	12.06	12	15	
200	0.075	0.0	10.30	6.00	2.15	9.92	8	10	
	FONDO	0.0	3.46	94.00	9.92	0.00			
	total	100.00	100.00	100.00	100.00				

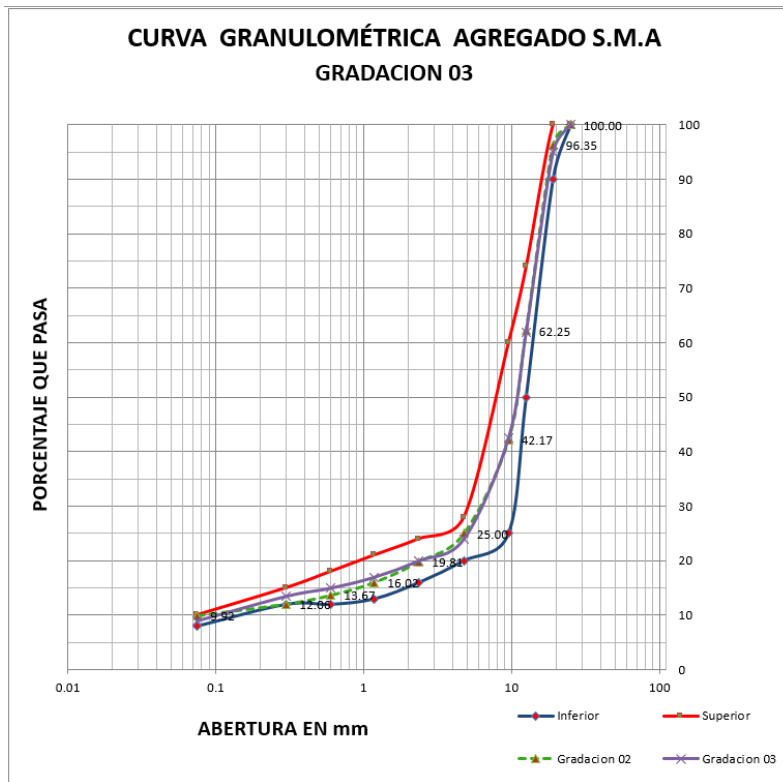


### Análisis de la prueba

Los valores obtenidos de la combinación de los agregados para la Gradación 02 de 75% de Agregado Grueso, 15% Agregado Fino y 10% Filler, cumple con las especificaciones de distribución granulométrica para un TMN 3/4" de diseño según S.M.A, obteniendo una curva granulométrica la cual se encuentra dentro de los límites inferior y superior para gradación S.M.A.

Tabla 89: Combinación de agregados con Gradación 03

COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA PARA GRADACIÓN 03									
AGREGADO GRUESO CAICAY		75%	AGREGADO FINO CAICAY			15%	FILLER	10%	
TAMIZ	ABERTURA	PORCENTAJE RETENIDO A.GRUESO	PORCENTAJE RETENIDO A.FINO	PORCENTAJE RETENIDO FILLER	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACIÓN	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES		
ASTM	mm	%	%	%	%	%	S.M.A		
		A	B	C	D	E	INF	SUP	
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19.00	4.86	0.00	0.00	3.65	96.35	90.00	100.00	
1/2"	12.50	45.47	0.00	0.00	34.10	62.25	50.00	74.00	
3/8"	9.50	26.78	0.00	0.00	20.08	42.17	25.00	60.00	
4.00	4.75	22.89	0.00	0.00	17.17	25.00	20.00	28.00	
8.00	2.36	0.00	34.60	0.00	5.19	19.81	16.00	24.00	
16.00	1.18	0.00	25.28	0.00	3.79	16.02	13.00	21.00	
30.00	0.60	0.00	15.68	0.00	2.35	13.67	12.00	18.00	
50.00	0.30	0.00	10.68	0.00	1.60	12.06	12.00	15.00	
200.00	0.08	0.00	10.30	6.00	2.15	9.92	8.00	10.00	
	FONDO	0.00	3.46	94.00	9.92	0.00			
	total	100.00	100.00	100.00	100.00				



**Análisis de la prueba**

Los valores obtenidos de la combinación de los agregados, para la Gradación 03, de 75% de Agregado Grueso, 15% Agregado Fino y 10% Filler, los cuales son los valores promedios del límite inferior i superior siendo esta distribución granulométrica para un TMN 3/4" de diseño según S.M.A la ideal, obteniendo una comparación con la curva granulométrica de la gradación

02, la cual se encuentra más próximo a los valores promedio de límite inferior y superior de la distribución granulométrica de diseño S.M.A

### 3.6.2.2 Elección de la Gradación Óptima

Tabla 90: Cálculo de pesos unitarios de las gradaciones y gravedad específica bulk de la combinación de agregados

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LA COMBINACION DE AGREGADOS					
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:					
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$					
Donde:					
G		Gravedad específica promedio			
G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , ..., G <sub>n</sub>		Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n			
P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , ..., P <sub>n</sub>		Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE COMBINACION DE AGREGADOS (Gsb)=Gca					
		Gsb AGREGADO GRUESO	Gsb AGREGADO FINO	Gsb FILLER	GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO
	GRADACION 01	2.60	2.60	2.85	2.62
	GRADACION 02	2.62	2.60	2.85	2.64
	GRADACION 03	2.63	2.60	2.85	2.65

Gca: Gravedad específica bulk del Agregado Grueso.

Gsa: Gravedad específica aparente del Agregado Grueso.

G: Gravedad específica promedio.

$$Gca, Gsa, G = \frac{\sum_1^n (P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción}))}{\sum_1^n \left( \frac{P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción})}{G_n (\text{Valores de grav. específica o aparente por fracción})} \right)}$$

Gravedad Específica Promedio para Gradación 01 (G) =

$$\frac{75\% + 15\% + 10\%}{\frac{2.60}{75\%} + \frac{2.60}{15\%} + \frac{2.85}{10\%}} = 2.62 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 91: Cálculo de vacíos en el agregado grueso en la condición seco rodillado para cada gradación

VACIOS EN EL AGREGADO GRUESO EN LA CONDICION SECO				VCA <sub>DRC</sub>
<p>Para determinar los vacíos en el agregado grueso se utiliza el metodo "Unit Weight and Voids in Aggregate" normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el VCA drc de la fracción se determina usando:</p>				
$VCA_{DRC} = \left( \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$				
<p>Donde:</p> <p>VCA<sub>DRC</sub> vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado</p> <p><math>\gamma_s</math> peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>\gamma_w</math> peso unitario del agua (998 kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>G_{ca}</math> gravedad específica bulk del agregado grueso</p>				
	$\gamma_s$	$\gamma_w$	$G_{ca}$	VCA <sub>DRC</sub>
	P.U. SECO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )	P.U. DEL AGUA (Kg/m <sup>3</sup> )	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DEL A.G.	VACIOS A.G. SECO COMPACTADO
GRADACION 01	1520.29	998.00	2.60	41.35
GRADACION 02	1522.69	998.00	2.62	41.85
GRADACION 03	1545.79	998.00	2.63	41.22

- VCA<sub>DRC</sub>: Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado
- $\gamma_s$ : Peso Unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (Kg/m<sup>3</sup>)
- $\gamma_w$ : Peso Unitario del agua (998 Kg/m<sup>3</sup>)
- $G_{ca}$ : Gravedad Específica Bulk del agregado grueso

$$VCA_{DRC} = \left( \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$$

$$VCA_{DRC}(\text{Gradación 01}) = \frac{2.60 * 998.0 - 1520.29}{2.60 * 998.0} = 41.35 \%$$



Tabla 92: Cálculo de gravedad específica teórica máxima (GMM) para cada gradación

GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE						
<b>DOSIFICACION PARA CEMENTO ASFALTICO AL 6%</b>						
	MATERIAL	% PESO TOTAL AGREGADO	% PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA			
	A	AGREGADO GRUESO	75.00%	70.50%		
	B	AGREGADO FINO	15.00%	14.10%		
	C	FILLER	10.00%	9.40%		
	D	CEMENTO ASFALTICO	6.00%	6.00%		
	TOTAL		106%	100.00%		
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> <div style="text-align: center;"> <math display="block">G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}</math> </div> <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad específica bulk</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad específica aparente</p>						
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS						
	MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	RESULTADO		
		$G_{sb}$	$G_{sa}$			
A	GRADACION 01	2.60	2.70	2.65		
	GRADACION 02	2.62	2.72	2.67		
	GRADACION 03	2.63	2.74	2.69		
B	AGREGADO FINO	2.60	2.70	2.65		
C	FILLER	2.85	2.85	2.85		
D	ASFALTO	0	1.017	1.017		
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE						
		A	B	C	$G_{sa}$ asfalto	$G_{mm}$
	% DE ASFALTO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar del cemento	Gravedad Esp. Teor. Maxima RICE
	GRADACION 01	6	2.65	2.65	2.85	1.017
	GRADACION 02	6	2.67	2.65	2.85	1.017
	GRADACION 03	6	2.69	2.65	2.85	1.017

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el filler.}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$

$G_{sb}$ : Gravedad Específica Bulk



G<sub>sa</sub>: Gravedad Específica Aparente

$$G_{mm}(Gradación\ 01) = \frac{100}{\frac{6.0\%}{1.017} + \frac{70.50\%}{\frac{2.60 + 2.70}{2}} + \frac{14.10\%}{\frac{2.60 + 2.70}{2}} + \frac{9.40\%}{\frac{2.85 + 2.85}{2}}}$$

$$G_{mm}(Gradación\ 01) = \frac{100}{\frac{6.0\%}{1.017} + \frac{70.50\%}{2.65} + \frac{14.10\%}{2.65} + \frac{9.40\%}{2.85}} = 2.43\ gr/cm^3$$

Tabla 93: Cálculo de gravedad específica bulk de mezclas compactadas para cada gradación

SELECCIÓN DE LA GRADACIÓN OPTIMA	
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS	
$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$	
Donde:	
G <sub>mb</sub>	Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada
W <sub>D</sub>	Peso del espécimen al aire
W <sub>SSD</sub>	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire
W <sub>sub</sub>	Peso del espécimen sumergido

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Específica Bulk del espécimen
GRADACIÓN 01	1126.2	648.4	1139.6	2.293
	1144.7	668	1157.00	2.341
	1179.5	683.5	1194	2.309
	1064.60	619.2	1078.80	2.316
	1111	645.9	1132.80	2.282
	1083.90	626.3	1096.50	2.305
PROMEDIO				2.31
GRADACIÓN 02	1190.9	686.5	1206.90	2.29
	1154.50	665.2	1165.20	2.31
	1205.4	709	1212.6	2.39
	1171.4	683.2	1184.7	2.34
	1147.9	664	1156.8	2.33
	1177.4	684.3	1190.4	2.33
PROMEDIO				2.330
GRADACIÓN 03	1159.3	680.8	1169.7	2.371
	1182.7	689.3	1193.9	2.344
	1180.9	685.3	1193.2	2.325
	1198.4	705.1	1205.8	2.393
	1169.7	680.2	1186.7	2.309
	1168.2	680.9	1177.9	2.351
PROMEDIO				2.349

G<sub>mb</sub>: Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada

W<sub>D</sub>: Peso del espécimen al aire

W<sub>SSD</sub>: Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

W<sub>sub</sub>: Peso del espécimen sumergido

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

$$\text{Gravedad específica bulk Gradación 01 } (G_{mb}) = \frac{1126.2}{1139.6 - 648.40} = 2.293$$

Tabla 94: Cálculo de los vacíos y elección de la gradación óptima

CALCULO DE VACÍOS						
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA mezcla) se calculan con las siguientes ecuaciones:						
$V_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; \quad VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \quad \text{y} \quad VMA = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$						
Donde:						
Ps	porcentaje de agregado en mezcla					
PCA	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla					
Gmm	gravedad específica teórica máxima de la mezcla					
Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla					
Gsb	gravedad específica bulk de la combinación de agregados					
Gca	gravedad específica bulk del agregado grueso					
	PS	PCA	Gmm	Gmb	Gsb	Gca
	% Agregado en Mezcla	% Peso de AG en Mezcla	Grav. Espe. Teor. Máxima de la Mezcla	Grav. Espec. Bulk de la Mezcla	Grav. Esp. Bulk Combinación de Agregados	Grav. Esp. Bulk del AG
GRADACIÓN 01	94	70.50%	2.430	2.308	2.62	2.60
GRADACIÓN 02	94	70.50%	2.446	2.330	2.64	2.62
GRADACIÓN 03	94	70.50%	2.453	2.349	2.65	2.63
	Va	VCA mezcla	VMA			
	% Vacíos al aire	% Vacíos AG en mezcla	% Vacíos Agregado Mineral			
GRADACIÓN 01	5.055	37.366	17.259			
GRADACIÓN 02	4.707	37.384	17.078			
GRADACIÓN 03	4.235	37.152	17.128			

ELECCIÓN DE LA GRADACIÓN OPTIMA							
	VA (%)		VMA (%)		COMPARACIÓN		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MIN	VCA mezcla	VCA drc	VCA<VCA drc
GRADACIÓN 01	5.055	4	17.259	17	37.366	41.35	CUMPLE
GRADACIÓN 02	4.707	4	17.078	17	37.384	41.85	CUMPLE
GRADACIÓN 03	4.235	4	17.128	17	37.152	41.22	CUMPLE

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{ca}} \right) * P_{CA}$$

Donde:

VCA<sub>mezcla</sub>: Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla.

G<sub>ca</sub>: Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.

G<sub>mb</sub>: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

P<sub>CA</sub>: Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla.



$$VCA_{mezcla}(\text{Para gradación 01}) = 100 - \left(\frac{2.308}{2.430}\right) * 70.50\% = 37.366 \%$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}}\right) * P_s$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$G_{sb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la combinación de Agregados.

$P_s$ : Porcentaje de Agregado en la mezcla.

$$VMA (\text{Para gradación 01}) = 100 - \left(\frac{2.308}{2.62}\right) * 94.00\% = 17.259 \%$$

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

Donde:

$V_a$ : Porcentaje de Vacíos de aire en Mezclas Compactadas.

$G_{mm}$ : Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$$V_a(\text{Para gradación 01}) = \left(1 - \frac{2.308}{2.43}\right) * 100 = 5.055 \%$$

### Análisis de la Prueba

Después de seleccionar las tres Gradaciones: Gradación 01; Gradación 02; Gradación 03.

Se elaboraron 5 especímenes asfálticos para cada Gradación, con un contenido de asfalto de 6% (según diseño), en base a esto se evaluaron los parámetros volumétricos de los especímenes compactados, determinando el % de vacíos de aire (% $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos de agregado grueso en mezcla ( $VCA_{MEZCLA}$ ) y vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado ( $VCA_{DRC}$ ). De las muestras para cada gradación se elegirá aquella que contenga un valor de % $V_a$ ~4, un valor de %VMA  $\geq$  17% y un valor de  $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$ :(Ver Tabla 93)

Por lo cual se elegirá la Gradación 02, ya que cumple con los requerimientos de elección de la gradación optima, a pesar de que la gradación 03 cumple es una gradación de los valores promedio entre los valores inferiores y superiores de la curva granulométrica S.M.A, pero la gradación 02 es la que tiene un valor más cercano a 4% de vacíos de aire (Va).

### 3.6.2.3 Elección Del Contenido Óptimo De Ligante

Tabla 95: Cálculo de pesos unitarios y gravedad específica bulk combinación de agregados de la gradación óptima

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
<p>Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:</p> $G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$ <p>Donde:</p> <p>G Gravedad específica promedio</p> <p>G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, ..... G<sub>n</sub> Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..... n</p> <p>P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..... P<sub>n</sub> Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..... n</p>					
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)=Gca					
		Gsb AGREGADO GRUESO	Gsb AGREGADO FINO	Gsb FILLER	GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO
	GRADACIÓN 02	2.62	2.60	2.85	2.64

Gca: Gravedad específica bulk del Agregado Grueso.

Gsa: Gravedad específica aparente del Agregado Grueso.

G: Gravedad específica promedio.

$$Gca, Gsa, G = \frac{\sum_1^n (P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción}))}{\sum_1^n \left( \frac{P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción})}{G_n (\text{Valores de grav. específica o aparente por fracción})} \right)}$$

Gravedad Específica Promedio para Gradación "A"(G)

$$= \frac{75\% + 15\% + 10\%}{\frac{2.603}{75\%} + \frac{2.641}{15\%} + \frac{2.850}{10\%}} = 2.631 \text{ gr/cm}^3$$



Tabla 96: Cálculo de Vacíos en el Agregado Grueso en la condición seco para la Gradación Optima

VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO EN LA CONDICIÓN SECO				VCA <sub>DRC</sub>
<p>Para determinar los vacíos en el agregado grueso se utiliza el metodo "Unit Weight and Voids in Aggregate" normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el VCA drc de la fracción se determina usando:</p>				
$VCA_{DRC} = \left( \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$				
<p>Donde:  VCA<sub>DRC</sub> vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado  <math>\gamma_s</math> peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (kg/m<sup>3</sup>)  <math>\gamma_w</math> peso unitario del agua (998 kg/m<sup>3</sup>)  G<sub>ca</sub> gravedad específica bulk del agregado grueso</p>				
	$\gamma_s$	$\gamma_w$	G <sub>ca</sub>	VCA <sub>DRC</sub>
	P.U. SECO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )	P.U. DEL AGUA (Kg/m <sup>3</sup> )	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DEL A.G.	VACÍOS A.G. SECO COMPACTADO
GRADACIÓN 02	1522.69	998.00	2.62	41.85

- VCA<sub>DRC</sub>: Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado
- $\gamma_s$ : Peso Unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (Kg/m<sup>3</sup>)
- $\gamma_w$ : Peso Unitario del agua (998 Kg/m<sup>3</sup>)
- G<sub>ca</sub>: Gravedad Específica Bulk del agregado grueso

$$VCA_{DRC} = \left( \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$$

$$VCA_{DRC}(\text{Para Gradación A}) = \frac{2.62 * 998.0 - 1522.69}{2.62 * 998.0} = 41.85 \%$$

Tabla 97: Cálculo de Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) para Gradación Óptima con diferentes contenidos de Asfalto

GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFALTICO AL 6%, 6.5%, 7%, 7.5%						
	MATERIAL	% PESO TOTAL AGREGADO	6.0 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	6.5 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	7.0 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA	7.5 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA
A	AGREGADO GRUESO	75.00%	70.50%	70.13%	69.75%	69.375%
B	AGREGADO FINO	15.00%	14.10%	14.03%	13.95%	13.875%
C	FILLER	10.00%	9.40%	9.35%	9.30%	9.250%
D	CEMENTO ASFALTICO	>6%	6.00%	6.50%	7.00%	7.50%
	TOTAL	106%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad específica bulk</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad específica aparente</p>						
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS						
	MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	RESULTADO		
		$G_{sb}$	$G_{sa}$			
A	GRADACIÓN 02	2.62	2.72	2.67		
B	AGREGADO FINO	2.60	2.70	2.65		
C	FILLER	2.85	2.85	2.85		
D	ASFALTO	0	1.017	1.017		
GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
	% DE ASFALTO	A	B	C	$G_{sa}$ asfalto	Gmm
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar del cemento	Gravedad Esp. Teor. Máxima RICE
ASFALTO 6 %	6	2.67	2.65	2.85	1.017	2.446
ASFALTO 6.5 %	6.5	2.67	2.65	2.85	1.017	2.427
ASFALTO 7.0 %	7	2.67	2.65	2.85	1.017	2.410
ASFALTO 7.5 %	7.5	2.67	2.65	2.85	1.017	2.392

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el filler.}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$



G<sub>sb</sub>: Gravedad Específica Bulk  
 G<sub>sa</sub>: Gravedad Específica Aparente

G<sub>mm</sub>(Cont. asfalto 6.5%)

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.13\%}{\frac{2.62 + 2.72}{2}} + \frac{14.03\%}{\frac{2.60 + 2.70}{2}} + \frac{9.35\%}{\frac{2.85 + 2.85}{2}}}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.125\%}{2.67} + \frac{14.025\%}{2.65} + \frac{9.35\%}{2.850}} = 2.427 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 98: Cálculo de Gravedad Específica Bulk de mezclas compactadas para diferentes contenidos de Asfalto

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PARA DIFERENTES % ASFALTO	
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS	
$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$	
Donde:	
G <sub>mb</sub>	Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada
W <sub>D</sub>	Peso del espécimen al aire
W <sub>SSD</sub>	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire
W <sub>sub</sub>	Peso del espécimen sumergido

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su	Gravedad
ASFALTO 6.0 %	1181.2	680.1	1190.9	2.312
	1060.20	665.4	1083.80	2.534
	1078.30	680.9	1109.50	2.516
	1143.2	616.6	1158.00	2.112
	1109.2	643.3	1134.80	2.257
	1178.3	623.7	1194	2.065
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.30</b>
ASFALTO 6.5 %	1142.8	653.4	1154.60	2.28
	1147.5	662.6	1156.8	2.32
	1177.1	706.4	1190.4	2.43
	1204.9	680.6	1212.6	2.26
	1153.90	661.4	1165.20	2.29
	1170.4	681.7	1184.7	2.33
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.319</b>
ASFALTO 7.0 %	1191.2	683.9	1197.9	2.318
	1197.6	686.7	1205.8	2.307
	1168.7	682.7	1177.9	2.360
	1179.9	702.5	1193.2	2.405
	1181.7	677.6	1193.9	2.289
	1169.7	678.3	1186.7	2.301
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.330</b>
ASFALTO 7.5 %	1222.2	702.8	1227.8	2.328
	1169.7	680.9	1186.7	2.313
	1168.2	706.4	1177.9	2.478
	1180.4	661.4	1193.2	2.220
	1198.4	686.7	1205.8	2.309
	1182.7	678.3	1193.9	2.294
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.323</b>



- $G_{mb}$ : Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada
- $W_D$ : Peso del espécimen al aire
- $W_{SSD}$ : Peso del espécimen en su condición SSD en el aire
- $W_{sub}$ : Peso del espécimen sumergido

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

$$\text{Gravedad específica bulk \% asfalto 6.0\% } (G_{mb}) = \frac{1181.2}{1190.9 - 680.1} = 2.312$$

Tabla 99: Cálculo de los Vacíos y elección del Contenido de Asfalto Optimo

CALCULO DE VACÍOS						
El porcentaje de vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA mezcla) se calculan con las siguientes ecuaciones:						
$V_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; \quad VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb} \cdot PCA}{G_{ca}} \right) \quad \text{y} \quad VMA = 100 - \left( \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \right)$						
Donde:						
Ps      porcentaje de agregado en mezcla						
PCA    porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla						
Gmm    gravedad específica teórica máxima de la mezcla						
Gmb    gravedad específica bulk de la mezcla						
Gsb    gravedad específica bulk de la combinación de agregados						
Gca    gravedad específica bulk del agregado grueso						
	PS	PCA	Gmm	Gmb	Gsb	Gca
	% Agregado en Mezcla	% Peso de AG en Mezcla	Grav. Espec. Teor. Máxima de la Mezcla	Grav. Espec. Bulk de la Mezcla	Grav. Esp. Bulk Combinación de Agregados	Grav. Esp. Bulk del AG
ASFALTO 6 %	94.00%	70.500%	2.446	2.301	2.64	2.62
ASFALTO 6.5 %	93.50%	70.125%	2.427	2.319	2.64	2.62
ASFALTO 7.0 %	93.00%	69.750%	2.410	2.330	2.64	2.62
ASFALTO 7.5 %	92.50%	69.375%	2.392	2.323	2.64	2.62
	Va	VCA mezcla	VMA			
	% Vacíos al aire	% Vacíos AG en mezcla	% Vacíos Agregado Mineral			
ASFALTO 6 %	5.928	38.186	18.140			
ASFALTO 6.5 %	4.467	38.023	17.925			
ASFALTO 7.0 %	3.305	38.064	17.978			
ASFALTO 7.5 %	2.880	38.579	18.660			



ELECCIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO							
	VA (%)		VMA (%)		COMPARACIÓN		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MIN	VCA mezcla	VCA dre	VCA < VCA dre
ASFALTO 6 %	5.928	4	18.140	17	38.186	41.85	CUMPLE
ASFALTO 6.5 %	4.467	4	17.925	17	38.023	41.85	CUMPLE
ASFALTO 7.0 %	3.305	4	17.978	17	38.064	41.85	CUMPLE
ASFALTO 7.5 %	2.880	4	18.660	17	38.579	41.85	CUMPLE

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}}\right) * P_{CA}$$

Donde:

VCA<sub>mezcla</sub>: Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla.

G<sub>ca</sub>: Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.

G<sub>mb</sub>: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

P<sub>CA</sub>: Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla.

$$VCA_{mezcla}(\% \text{ asfalto } 6.5\%) = 100 - \left(\frac{2.319}{2.62}\right) * 70.125\% = 38.023\%$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}}\right) * P_s$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral.

G<sub>mb</sub>: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

G<sub>sb</sub>: Gravedad Especifica Bulk de la combinación de Agregados.

P<sub>s</sub>: Porcentaje de Agregado en la mezcla.

$$VMA (\% \text{ asfalto } 6.5\%) = 100 - \left(\frac{2.319}{2.64}\right) * 93.50\% = 17.925 \%$$

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

Donde:

V<sub>a</sub>: Porcentaje de Vacíos de aire en Mezclas Compactadas.

G<sub>mm</sub>: Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla.

G<sub>mb</sub>: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$$V_a(\% \text{ asfalto } 6.5\%) = \left(1 - \frac{2.319}{2.427}\right) * 100 = 4.467 \%$$





### Análisis de la Prueba

Después de seleccionar los contenidos de Asfalto:

- % de Asfalto “1”: 6.0%
- % de Asfalto “2”: 6.5%
- % de Asfalto “3”: 7.0%
- % de Asfalto “4”: 7.5%

Se elaboraron 5 probetas compactadas para cada contenido de Asfalto (6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%), con la Gradación Óptima elegida (Gradación 02), en base a esto se evaluaron los parámetros volumétricos de los especímenes compactados, determinando el % de vacíos de aire (%Va), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos de agregado grueso en mezcla ( $VCA_{MEZCLA}$ ) y vacíos en el agregado grueso en la condición seco ( $VCA_{DRC}$ ).

De las probetas para cada porcentaje de Asfalto se elegirá aquella que contenga un valor de  $\%Va=4$ , un valor de  $\%VMA \geq 17\%$  y un valor de  $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$ : (Ver Tabla 99)

Por los resultados obtenidos se escogerá el valor de 6.5% ya que cumple con los requerimientos de elección del porcentaje óptimo de asfalto, ya que es la que tiene un valor más cercano a 4% de vacíos de aire (Va).

### 3.6.2.4 Ensayo De Ecurrimiento

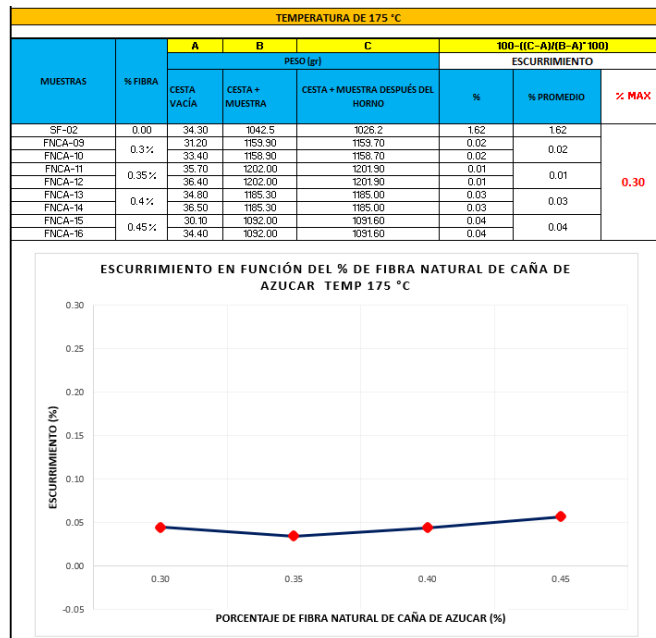
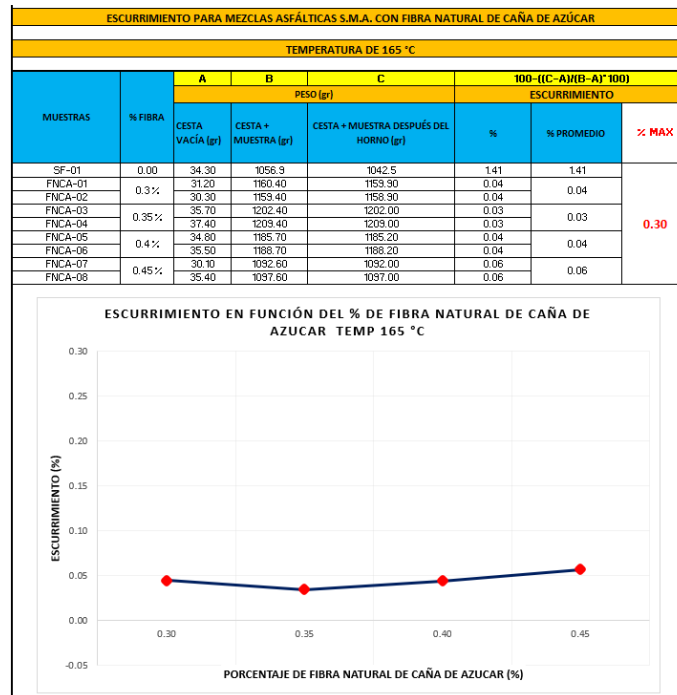
Tabla 100: Cálculos de Ensayo de Ecurrimiento con Fibra de Celulosa Comercial (CELULOSE CELUCAU CAJ-91)

ESCURRIMIENTO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA DE CELULOSE COMERCIAL							
TEMPERATURA DE 165 °C							
MUESTRAS	% FIBRA	A	B	C	100-((C-A)/(B-A)*100)		
		PESO (gr)			ESCURRIMIENTO		
		CESTA VACÍA	CESTA + MUESTRA	CESTA + MUESTRA DESPUÉS DEL HORNO	%	% PROMEDIO	% MAX
SF-03	0.00	34.30	1042.5	1026.2	1.62	1.62	0.30
FCC-01	0.3%	32.20	1157.90	1157.70	0.02	0.02	
FCC-02		30.30	1159.90	1153.70	0.02	0.02	
FCC-03	0.35%	35.70	1201.00	1200.90	0.01	0.01	
FCC-04		36.30	1203.00	1202.90	0.01	0.01	
FCC-05	0.4%	34.60	1187.30	1187.00	0.03	0.03	
FCC-06		35.50	1184.30	1184.00	0.03	0.03	
FCC-07	0.45%	30.10	1095.00	1094.60	0.04	0.04	
FCC-08		35.40	1091.00	1090.60	0.04	0.04	

TEMPERATURA DE 175 °C							
MUESTRAS	% FIBRA	A	B	C	100-((C-A)/(B-A)*100)		
		PESO (gr)			ESCURRIMIENTO		
		CESTA VACÍA	CESTA + MUESTRA	CESTA + MUESTRA DESPUÉS DEL HORNO	%	% PROMEDIO	% MAX
SF-04	0.00	34.30	1042.5	1026.2	1.62	1.62	0.30
FCC-09	0.3%	29.10	1157.80	1157.60	0.02	0.02	
FCC-10		35.60	1165.20	1165.00	0.02	0.02	
FCC-11	0.35%	31.50	1206.20	1206.10	0.01	0.01	
FCC-12		33.90	1198.50	1198.40	0.01	0.01	
FCC-13	0.4%	30.60	1183.50	1183.20	0.03	0.03	
FCC-14		35.50	1185.30	1185.00	0.03	0.03	
FCC-15	0.45%	33.60	1095.50	1095.10	0.04	0.04	
FCC-16		33.30	1089.90	1089.50	0.04	0.04	

Tabla 101: Cálculos de ensayo de Ecurrimiento Fibra Natural de caña de Azúcar



$$\text{Ecurrimiento (\%)} = 100 - \frac{C - A}{B - A} \times 100$$

Donde:

A: Peso de la cesta de alambre vacía.

B: Peso de la cesta de alambre y muestra.

C: Peso de la cesta de alambre + muestra después del horno.



Escurrecimiento a Temperatura de 165°C  
0.30% Fibra Natural de Caña de Azucar

$$\text{Escurrecimiento (\%)} = \frac{1159.9 - 31.20}{1160.40 - 31.20} \times 100 = 0.04 \%$$

Escurrecimiento a Temperatura de 165°C  
Sin Fibra de Celulosa

$$\text{Escurrecimiento (\%)} = \frac{1026.2 - 34.30}{1042.5 - 34.30} \times 100 = 1.62 \%$$

### **Análisis de la Prueba**

El valor de las mezclas de asfalto sin compactar con la Gradación 02 (Gradación Optima), con un contenido de asfalto de 6.5% (% de asfalto optimo) y con agente estabilizante (Fibra de Celulosa Comercial y Fibra Natural de Caña de Azúcar) desde un mínimo de 0.3%, para el ensayo de Escurrecimiento, si cumple con el requerimiento establecido en las especificaciones técnicas de mezclas SMA Para diseño Marshall NAPA 2002

3.6.2.5 Parámetros Volumétricos de Mezclas Asfálticas S.M.A.

Tabla 102: Cálculo de Pesos Unitarios y Gravedad Específica Bulk para comparación de Parámetros Volumétricos

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:					
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$					
Donde:					
G		Gravedad específica promedio			
G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , ..., G <sub>n</sub>		Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n			
P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , ..., P <sub>n</sub>		Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (Gsb)=Gca					
		Gsb AGREGADO GRUESO	Gsb AGREGADO FINO	Gsb FILLER	GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO
	GRADACIÓN 02	2.62	2.60	2.85	2.64

Gca: Gravedad específica bulk del Agregado Grueso.

G: Gravedad específica promedio.

$$Gca, Gsa, G = \frac{\sum_1^n (P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción}))}{\sum_1^n \left( \frac{P_n (\text{Porcentajes en pesos de la fracción})}{G_n (\text{Valores de grav. específica o aparente por fracción})} \right)}$$

Gravedad Específica Promedio para Gradación 02

$$(G) = \frac{75\% + 15\% + 10\%}{\frac{75\%}{2.62} + \frac{15\%}{2.60} + \frac{10\%}{2.85}} = 2.64 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 103: Cálculo de Vacíos en el Agregado Grueso en la condición seco para comparación de agente estabilizante

VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO EN LA CONDICIÓN SECO				VCA <sub>DRC</sub>
<p>Para determinar los vacíos en el agregado grueso se utiliza el metodo "Unit Weight and Voids in Aggregate" normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el VCA drc de la fracción se determina usando:</p>				
$VCA_{DRC} = \left( \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$				
<p>Donde:            VCA<sub>DRC</sub> vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado  <math>\gamma_s</math> peso unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (kg/m<sup>3</sup>)  <math>\gamma_w</math> peso unitario del agua (998 kg/m<sup>3</sup>)            G<sub>ca</sub> gravedad especifica bulk del agregado grueso</p>				
	$\gamma_s$	$\gamma_w$	G <sub>ca</sub>	VCA <sub>DRC</sub>
	P.U. SECO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )	P.U. DEL AGUA (Kg/m <sup>3</sup> )	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DEL A.G.	VACÍOS A.G. SECO COMPACTADO
GRADACIÓN 02	1522.69	998.00	2.62	41.85

VCA<sub>DRC</sub>: Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado

$\gamma_s$ : Peso Unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado (Kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$ : Peso Unitario del agua (998 Kg/m<sup>3</sup>)

G<sub>ca</sub>: Gravedad Específica Bulk del agregado grueso

$$VCA_{DRC} = \left( \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \right) 100$$

Para Gradación 02

$$VCA_{DRC} = \frac{2.62 * 998.0 - 1522.69}{2.62 * 998.0} = 41.85 \%$$



Tabla 104: Cálculo de Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) para comparación de Parámetros Volumétricos con diferentes agentes estabilizantes

GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE							
<b>DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFALTICO AL 6.5%</b>							
	MATERIAL	% PESO TOTAL AGREGADO	6.5 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA				
A	AGREGADO GRUESO	75.00%	70.13%				
B	AGREGADO FINO	15.00%	14.03%				
C	FILLER	10.00%	9.35%				
D	CEMENTO ASFALTICO	>6%	6.50%				
	TOTAL	106%	100.00%				
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad específica bulk</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad específica aparente</p>							
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS							
	MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	RESULTADO			
		$G_{sb}$	$G_{sa}$				
A	GRADACIÓN 02	2.62	2.72	2.67			
B	AGREGADO FINO	2.60	2.70	2.65			
C	FILLER	2.85	2.85	2.85			
D	ASFALTO	0	1.017	1.017			
GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE							
		A	B	C	$G_{sa}$ asfalto	Gmm	
	% DE ASFALTO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar del cemento	Gravedad Esp. Teor. Máxima RICE	
	SMA-FNCA	6.5	2.67	2.65	2.85	1.017	2.427
	SMA-FCC	6.5	2.67	2.65	2.85	1.017	2.427

FNCA = Fibra Natural de Caña de azúcar.

FCC = Fibra de Celulosa Comercial

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el agregado fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ Para el filler.}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$



- G<sub>sb</sub>: Gravedad Específica Bulk
- G<sub>sa</sub>: Gravedad Específica Aparente

Contenido de asfalto de 6.5%, para Fibra de Celulosa Comercial

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.13\%}{\frac{2.62 + 2.72}{2}} + \frac{14.03\%}{\frac{2.60 + 2.70}{2}} + \frac{9.35\%}{\frac{2.85 + 2.85}{2}}}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{6.5\%}{1.017} + \frac{70.13\%}{2.67} + \frac{14.03\%}{2.65} + \frac{9.35\%}{2.85}} = 2.427 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 105: Cálculo de Gravedad Específica Bulk de mezclas compactadas diferentes agentes estabilizantes

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS	
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS	
$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$	
Donde:	<ul style="list-style-type: none"> <li>G<sub>mb</sub> Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada</li> <li>W<sub>D</sub> Peso del espécimen al aire</li> <li>W<sub>SSD</sub> Peso del espécimen en su condición SSD en el aire</li> <li>W<sub>sub</sub> Peso del espécimen sumergido</li> </ul>

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Específica Bulk del espécimen
CFCC-01	1142.3	653.3	1148.2	2.308
CFCC-02	1083.4	628.9	1090.30	2.348
CFCC-03	1146.5	660.3	1152.4	2.330
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.329</b>
CFNCA-01	1212	697.8	1215.50	2.34
CFNCA-02	1186.80	677.2	1192.00	2.31
CFNCA-03	1153.5	662.9	1157.6	2.33
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.326</b>

- G<sub>mb</sub>: Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada
- W<sub>D</sub>: Peso del espécimen al aire
- W<sub>SSD</sub>: Peso del espécimen en su condición SSD en el aire
- W<sub>sub</sub>: Peso del espécimen sumergido

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

Gravedad Especifica Bulk CFCC-01 (Con Fibra de Celulosa Comercial)

$$(G_{mb}) = \frac{1142.3}{1148.2 - 653.3} = 2.308$$

Tabla 106: Cálculo de los Vacíos y Comparación de la gradación óptima para agente estabilizante

CALCULO DE VACÍOS							
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA mezcla) se calculan con las siguientes ecuaciones:							
$V_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; \quad VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \quad \text{y} \quad VMA = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$							
Donde: Ps            porcentaje de agregado en mezcla PCA          porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla Gmm        gravedad específica teórica máxima de la mezcla Gmb        gravedad específica bulk de la mezcla Gsb        gravedad específica bulk de la combinación de agregados Gca        gravedad específica bulk del agregado grueso							
	PS	PCA	Gmm	Gmb	Gsb	Gca	
	% Agregado en Mezcla	% Peso de AG en Mezcla	Grav. Espe. Teor. Máxima de la Mezcla	Grav. Espec. Bulk de la Mezcla	Grav. Esp. Bulk Combinación de Agregados	Grav. Esp. Bulk del AG	
SMA-FNCA	93.50%	70.125%	2.427	2.326	2.64	2.62	
SMA-FCC	93.50%	70.125%	2.427	2.329	2.64	2.62	
	Va	VCA mezcla	VMA				
	% Vacíos al aire	% Vacíos AG en mezcla	% Vacíos Agregado Mineral				
SMA-FNCA	4.175	37.834	17.674				
SMA-FCC	4.068	37.764	17.581				
COMPARACIÓN DE LA GRADACIÓN OPTIMA PARA AGENTE ESTABILIZANTE							
	VA (%)		VMA (%)		COMPARACIÓN		
	OBTENIDO	REQUERIDO	OBTENIDO	MIN	VCA mezcla	VCA drc	VCA-VCA drc
SMA-FNCA	4.175	4	17.674	17	37.834	41.85	CUMPLE
SMA-FCC	4.068	4	17.581	17	37.764	41.85	CUMPLE

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{ca}} \right) * P_{CA}$$

Donde:

VCA<sub>mezcla</sub>: Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla.

G<sub>ca</sub>: Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.

G<sub>mb</sub>: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

P<sub>CA</sub>: Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla.



VCA Para SMA-FCC

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{2.329}{2.62} \right) * 70.125\% = 37.764 \%$$

$$VMA = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right) * P_s$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$G_{sb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la combinación de Agregados.

$P_s$ : Porcentaje de Agregado en la mezcla.

VMA Para SMA-FCC

$$VMA = 100 - \left( \frac{2.329}{2.64} \right) * 93.50\% = 17.581 \%$$

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

Donde:

$V_a$ : Porcentaje de Vacíos de aire en Mezclas Compactadas.

$G_{mm}$ : Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$V_a$  Para SMA-FCC

$$V_a = \left( 1 - \frac{2.329}{2.427} \right) * 100 = 4.068 \%$$

### Análisis de la Prueba

Se elaboraron briquetas compactas de mezcla asfáltica para cada agente estabilizante, con la Gradación 02 (Gradación Optima), con un contenido de asfalto de 6.5% (% de asfalto optimo) y con agente estabilizante (Fibra de Celulosa Comercial y Fibra Natural de Caña de Azúcar) al 0.35 %, en base a esto se evaluaron los parámetros volumétricos de los especímenes compactados, determinando el % de vacíos de aire (% $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral

(VMA), vacíos de agregado grueso en mezcla ( $VCA_{MEZCLA}$ ) y vacíos en el agregado grueso en la condición seco ( $VCA_{DRC}$ ). (Ver Tabla 118)

### 3.6.2.6 Ensayo de Estabilidad Y Flujo Marshall

Tabla 107: Cálculo de Ensayo de Estabilidad y Flujo para especímenes con Fibra de Celulosa Comercial.

ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL																							
ESTABILIDAD MARSHALL																							
MUESTRAS	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	DIÁMETRO APROX DEL ESPÉCIMEN	ALTURA APROX. DEL ESPÉCIMEN N	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN	FACTOR DE CORRECCIÓN DE ESTABILIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO																
	Kg	cm	cm	cm <sup>3</sup>		Kg	Kg																
CFCC 04	774.72	10.33	6.54	547.30	0.89	689.5008	689.64088																
CFCC 05	680.45	10.30	5.89	490.11	1.09	741.6905																	
CFCC 06	778	10.29	6.52	542.14	0.93	723.54																	
CFCC 07	707.46	10.30	6.44	536.33	0.96	679.1616																	
CFCC 08	660.55	10.16	6.42	520.68	0.93	614.3115																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">FLUJO MARSHALL</th> <th rowspan="2"></th> </tr> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CFCC 04</td> <td>6.25</td> <td rowspan="5">5.57</td> </tr> <tr> <td>CFCC 05</td> <td>5.40</td> </tr> <tr> <td>CFCC 06</td> <td>6.38</td> </tr> <tr> <td>CFCC 07</td> <td>4.50</td> </tr> <tr> <td>CFCC 08</td> <td>5.33</td> </tr> </tbody> </table>								FLUJO MARSHALL			MUESTRA	FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)	CFCC 04	6.25	5.57	CFCC 05	5.40	CFCC 06	6.38	CFCC 07	4.50	CFCC 08	5.33
FLUJO MARSHALL																							
MUESTRA	FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)																						
CFCC 04	6.25	5.57																					
CFCC 05	5.40																						
CFCC 06	6.38																						
CFCC 07	4.50																						
CFCC 08	5.33																						

Tabla 108: Cálculo de Ensayo de Estabilidad y Flujo para especímenes con Fibra Natural de Caña de Azúcar

ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A. CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR																							
ESTABILIDAD MARSHALL																							
MUESTRAS	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	DIÁMETRO APROX DEL ESPÉCIMEN	ALTURA APROX. DEL ESPÉCIMEN	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN	FACTOR DE CORRECCIÓN DE	ESTABILIDAD CORREGIDA	ESTABILIDAD CORREGIDA PROMEDIO																
	Kg	cm	cm	cm <sup>3</sup>		Kg	Kg																
CFNCA 04	895.57	10.15	6.83	551.96	0.89	797.0573	688.0717																
CFNCA 05	683.94	10.26	6.54	540.90	0.93	636.0642																	
CFNCA 06	603.99	10.16	6.56	531.43	0.96	579.8304																	
CFNCA 07	801.53	10.16	6.56	531.17	0.96	769.4688																	
CFNCA 08	707.46	10.35	6.38	536.45	0.93	657.9378																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">FLUJO MARSHALL</th> <th rowspan="2"></th> </tr> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CFCC 04</td> <td>5.50</td> <td rowspan="5">5.15</td> </tr> <tr> <td>CFCC 05</td> <td>5.25</td> </tr> <tr> <td>CFCC 06</td> <td>4.50</td> </tr> <tr> <td>CFCC 07</td> <td>5.50</td> </tr> <tr> <td>CFCC 08</td> <td>5.00</td> </tr> </tbody> </table>								FLUJO MARSHALL			MUESTRA	FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)	CFCC 04	5.50	5.15	CFCC 05	5.25	CFCC 06	4.50	CFCC 07	5.50	CFCC 08	5.00
FLUJO MARSHALL																							
MUESTRA	FLUJO 0.01 pulg (0.25 mm)																						
CFCC 04	5.50	5.15																					
CFCC 05	5.25																						
CFCC 06	4.50																						
CFCC 07	5.50																						
CFCC 08	5.00																						



$$\text{Prom. Diametro de los especimenes} = \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4}{4}$$

Para CFCC 04

$$\text{Prom. Diametro de los especimenes} = \frac{10.34 + 10.31 + 10.33 + 10.32}{4} = 10.33 \text{ cm}$$

$$\text{Prom. Altura de los especimenes} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

Para CFCC 04

$$\text{Prom. Diametro de los especimenes} = \frac{6.53 + 6.52 + 6.54 + 6.57}{4} = 6.54 \text{ cm}$$

$$\text{Corrección de estabilidad Marshall} = \text{Estabilidad} * \text{Factor de corrección}$$

Para CFCC 04

$$\text{Corrección de estabilidad} = 774.72 * 0.89 = 689.50 \text{ Kg}$$

### **Análisis de la Prueba**

Se elaboraron 5 probetas de mezcla asfáltica compactado para cada agente estabilizante (10 en total), con la gradación 02 (Gradación Optima), con un contenido de asfalto de 6.5% (% de asfalto optimo) y con agente estabilizante (Fibra de Celulosa Comercial y Fibra Natural de Caña de Azúcar) al 0.35%, y los valores obtenidos para el ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall se aproximan al valor sugerido (basado en la experiencia) establecido en las especificaciones técnicas de mezclas SMA Para diseño Marshall NAPA 2002.



### 3.6.2.7 Ensayo De Resistencia De Mezclas Asfálticas Compactadas Al Daño Inducido Por Humedad

Tabla 109 Gravedad específica bulk de la combinación de agregados para ensayo de tracción indirecta

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas, el valor de la gravedad específica promedio se calcula:					
$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$					
Donde:					
G		Gravedad específica promedio			
G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , ..., G <sub>n</sub>		Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n			
P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , ..., P <sub>n</sub>		Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (G <sub>sb</sub> )=G <sub>ca</sub>					
		<b>G<sub>sb</sub> AGREGADO GRUESO</b>	<b>G<sub>sb</sub> AGREGADO FINO</b>	<b>G<sub>sb</sub> FILLER</b>	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO</b>
	<b>GRADACIÓN 02</b>	2.62	2.60	2.85	2.64

Tabla 110 Gravedad específica teórica máxima para ensayo de tracción indirecta – para Fibra de Celulosa Comercial

GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
<b>DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFALTICO AL 6.5%</b>						
	<b>MATERIAL</b>	<b>% PESO TOTAL AGREGADO</b>	<b>6.5 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA</b>			
	A	AGREGADO GRUESO	75.00%			
	B	AGREGADO FINO	15.00%			
	C	FILLER	10.00%			
	D	CEMENTO ASFALTICO	>6%			
		<b>TOTAL</b>	<b>106%</b>			
			<b>100.00%</b>			
En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:						
$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$						
Siendo:						
A = $\frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$ , para el agregado grueso						
B = $\frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$ , para el agregado fino						
C = $\frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$ , para el filler						
Donde:						
G <sub>sb</sub>		Gravedad específica bulk				
G <sub>sa</sub>		Gravedad específica aparente				
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS						
	<b>MATERIAL</b>	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA BULK</b>	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	<b>RESULTADO</b>		
		G <sub>sb</sub>	G <sub>sa</sub>			
	A	GRADACIÓN 02	2.62	2.72		
	B	AGREGADO FINO	2.60	2.70		
	C	FILLER	2.85	2.85		
	D	ASFALTO	0	1.017		
				1.017		
GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>G<sub>sa</sub> asfalto</b>	<b>G<sub>mm</sub></b>
	<b>% DE ASFALTO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>FILLER</b>	<b>Grav. Esp. Apar del cemento</b>	<b>Gravedad Esp. Teor. Máxima RICE</b>
	SMA-FNCA	6.5	2.67	2.65	2.85	1.017
	SMA-FCC	6.5	2.67	2.65	2.85	1.017

Tabla 111 Gravedad específica teórica máxima para ensayo de tracción indirecta – para Fibra Natural de caña de Azucar

GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
<b>DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFALTICO AL 6.5%</b>						
	MATERIAL	% PESO TOTAL AGREGADO	6.5 % PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA			
A	AGREGADO GRUESO	75.00%	70.13%			
B	AGREGADO FINO	15.00%	14.03%			
C	FILLER	10.00%	9.35%			
D	CEMENTO ASFALTICO	>6%	6.50%			
	TOTAL	106%	100.00%			
<p>En ausencia de datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{asfalto}}{G_{sa \text{asfalto}}} + \frac{\% \text{grueso}}{A} + \frac{\% \text{fino}}{B} + \frac{\% \text{filler}}{C}}$ <p>Siendo:</p> $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado grueso}$ $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado fino}$ $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el filler}$ <p>Donde:</p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad específica bulk</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad específica aparente</p>						
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS						
	MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	RESULTADO		
		$G_{sb}$	$G_{sa}$			
A	GRADACIÓN 02	2.62	2.72	2.67		
B	AGREGADO FINO	2.60	2.70	2.65		
C	FILLER	2.85	2.85	2.85		
D	ASFALTO	0	1.017	1.017		
GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA RICE						
		A	B	C	$G_{sa}$ asfalto	$G_{mm}$
	% DE ASFALTO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	FILLER	Grav. Esp. Apar del cemento	Gravedad Esp. Teor. Máxima RICE
SMA-FNCA	6.5	2.67	2.65	2.85	1.017	2.427

Tabla 112 Gravedad específica Bulk de las muestras compactadas para ensayo de tracción indirecta – para Fibra de Celulosa Comercial

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS				
$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$				
Donde:				
$G_{mb}$	Gravedad Especifica Bulk de la muestra compactada			
$W_D$	Peso del espécimen al aire			
$W_{SSD}$	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire			
$W_{sub}$	Peso del espécimen sumergido			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
MUESTRAS	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Especifica Bulk del espécimen
CFCC 09	1142.3	657.3	1148.2	2.327
CFCC 10	1083.4	623.9	1090.30	2.323
CFCC 11	1146.5	660.3	1152.4	2.330
CFCC 12	1169.3	672.3	1174.5	2.328
CFCC 13	1131	648.7	1136.8	2.317
CFCC 14	1199.1	691.6	1206.6	2.328

Tabla 113 Gravedad específica Bulk de las muestras compactadas para ensayo de tracción indirecta – para Fibra Natural de Caña de Azucar

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS				
$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$				
Donde:				
$G_{mb}$	Gravedad Especifica Bulk de la muestra compactada			
$W_D$	Peso del espécimen al aire			
$W_{SSD}$	Peso del espécimen en su condición SSD en el aire			
$W_{sub}$	Peso del espécimen sumergido			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS				
	WD	WSUB	WSSD	Gmb
	Peso al aire (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso en su condición SSD en el aire (gr)	Gravedad Especifica Bulk del espécimen
CFNCA-09	1168.5	670.7	1172.70	2.328
CFNCA-10	1170.20	673.3	1176.90	2.324
CFNCA-11	1189.00	680	1192.00	2.322
CFNCA-12	1159.20	664.4	1163.70	2.322
CFNCA-13	1179.40	675.7	1185.20	2.315
CFNCA-14	1185.7	680.6	1192.5	2.316

Tabla 114 Cálculo de Vacíos para seleccionar subgrupos para ensayo de susceptibilidad a la humedad – para Fibra de Celulosa Comercial

CALCULO DE VACÍOS MUESTRAS CON FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL			
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA mezcla) se calculan con las siguientes ecuaciones:			
$V_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) ; \quad VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \quad \text{y} \quad VMA = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$			
Donde:			
Ps	porcentaje de agregado en mezcla		
PCA	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla		
Gmm	gravedad específica teórica máxima de la mezcla		
Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla		
Gsb	gravedad específica bulk de la combinación de agregados		
Gca	gravedad específica bulk del agregado grueso		
	<b>Gmm</b>	<b>Gmb</b>	<b>Va</b>
	Grav. Espe. Teor. Máxima de la Mezcla	Grav. Espec. Bulk de la Mezcla	% Vacíos al aire
CFCC 09	2.427	2.327	4.14
CFCC 10	2.427	2.323	4.31
CFCC 11	2.427	2.330	4.02
CFCC 12	2.427	2.328	4.08
CFCC 13	2.427	2.317	4.54
CFCC 14	2.427	2.328	4.08
	<b>SUB GRUPO SECO</b>	<b>SUBGRUPO HÚMEDO</b>	
<b>MUESTRAS</b>	CFCC 09	CFCC 11	
	CFCC 10	CFCC 12	
	CFCC 14	CFCC 13	
<b>PROMEDIO DE % Va</b>	<b>4.18</b>	<b>4.21</b>	

Tabla 115 Cálculo de vacíos para seleccionar subgrupos para ensayo de susceptibilidad a la humedad  
– para Fibra Natural de Caña de Azúcar

CALCULO DE VACÍOS MUESTRAS CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR			
El porcentaje de vacíos de aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos de agregado grueso en mezcla (VCA mezcla) se calculan con las siguientes ecuaciones:			
$V_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad ; \quad VCA_{mezcla} = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{ca}} P_{CA} \right) \quad y \quad VMA = 100 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \right)$			
Donde:			
Ps	porcentaje de agregado en mezcla		
PCA	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla		
Gmm	gravedad específica teórica máxima de la mezcla		
Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla		
Gsb	gravedad específica bulk de la combinación de agregados		
Gca	gravedad específica bulk del agregado grueso		
	Gmm	Gmb	Va
	Grav. Espe. Teor. Máxima de la Mezcla	Grav. Espec. Bulk de la Mezcla	% Vacíos al aire
CFNCA-09	2.427	2.328	4.11
CFNCA-10	2.427	2.324	4.27
CFNCA-11	2.427	2.322	4.33
CFNCA-12	2.427	2.322	4.36
CFNCA-13	2.427	2.315	4.64
CFNCA-14	2.427	2.316	4.58
	SUB GRUPO SECO	SUBGRUPO HÚMEDO	
MUESTRAS	CFNCA-10	CFNCA-09	
	CFNCA-11	CFNCA-12	
	CFNCA-14	CFNCA-13	
PROMEDIO DE % Va	4.39	4.37	

Tabla 116 Cálculo de ensayo de tracción indirecta – para Fibra de Celulosa Comercial



 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 						
<b>TESIS : “ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR, CUSCO 2018.”</b>						
<b>ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD</b>						
<b>NORMA MTC E 522</b>						
<b>TESISTAS:</b>		Bladimir Alessander Farfan Valverde			FECHA: 16/04/2019	
		Rafer Josue Flores Collantes				
<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>MATERIAL:</b>		Mezclas Asfálticas S.M.A. Con Fibra de Celulosa Comercial (CFCC)				
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS S.M.A CON FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL</b>						
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS		D	A	P	$St=(2000 \cdot P \cdot 9.8 / (\pi \cdot A \cdot D))$	St Promedio
		DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN	ALTURA DEL ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA	ESFUERZO A LA TENSIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
		mm	mm	Kg	Kpa	kpa
Condición Seca	CFCC 09	101.75	65.4	448.47	420.68	436.88
	CFCC 10	103	58.85	484.91	499.35	
	CFCC 14	101.575	69.2	439.86	390.61	
Condición Húmeda	CFCC 11	102.9	62.875	403.06	388.87	398.77
	CFCC 12	103	64.4	423.45	398.47	
	CFCC 13	101.625	64.225	427.62	408.96	
<b>RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TSR)</b>						
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA		St		TSR		% MIN. PARA SMA
		ESFUERZO A LA TENSIÓN		COEFICIENTE TSR		
		(Kpa)		(%)		(%)
Condición Seca		436.88		91.28 %		70.00 %
Condición Húmeda		398.77				



Tabla 117 Cálculo de ensayo de tracción indirecta – para Fibra Natural de Caña de Azúcar

CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS		D	A	P	St=(2000*P*9.8/(Pi*A*D)	Promedio
		DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN	ALTURA DEL ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA	ESFUERZO A LA TENSIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
		mm	mm	Kg	Kpa	kpa
Condición Seca	CFNCA-10	102.775	65.6	407.14	376.94	374.16
	CFNCA-11	101.75	66.175	398.98	369.87	
	CFNCA-14	103.475	64.725	403.06	375.65	
Condición Húmeda	CFNCA-09	101.625	67.525	333.44	303.30	331.62
	CFNCA-12	102.75	63.4	358.00	343.04	
	CFNCA-13	103.175	65.7	378.49	348.53	

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TSR)			
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS SMA	St	TSR	% MIN. PARA SMA
	ESFUERZO A LA TENSIÓN (Kpa)	COEFICIENTE TSR (%)	(%)
Condición Seca	374.16	88.63 %	70.00 %
Condición Húmeda	331.62		

$$Prom. \text{ Diametro de los especimenes} = \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4}{4}$$

Para CFNCA-10

$$Prom. \text{ Diametro de los especimenes} = \frac{102.6 + 102.9 + 102.7 + 102.9}{4} = 102.775 \text{ mm}$$

$$Prom. \text{ Altura de los especimenes} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

Para CFNCA-10

$$Prom. \text{ Diametro de los especimenes} = \frac{65.6 + 65.6 + 65.7 + 65.5}{4} = 65.6 \text{ mm}$$

$$Esfuerzo \text{ a la tensión (St)} = \frac{2000 * Carga \text{ Maxima (P)} * 9.8}{\pi * altura \text{ prob. (t)} * diametro \text{ prob. (D)}}$$

Para CFNCA-10

$$\text{Esfuerzo a la tensión (St)} = \frac{2000 * 407.14 * 9.8}{\pi * 65.6 * 102.775} = 376.94 \text{ Kpa}$$

$$\text{Razon del Esfuerzo a Tensión (TSR)} = \frac{S_2}{S_1} * 100$$

Donde:

S1: Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo seco, KPa.

S2: Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo Humedo, KPa.

Para Fibra Natural de caña de Azucar

$$\text{Razon del Esfuerzo a Tensión (TSR)} = \frac{331.62}{374.16} * 100 = 88.63\%$$

**Análisis de la Prueba**

Se elaboraron 6 especímenes asfálticos para cada agente estabilizante (12 en total), con la gradación 02 (Gradación Optima), con un contenido de asfalto de 6.5% (% de asfalto optimo) y con agente estabilizante (Fibra de Celulosa Comercial y Fibra Natural de caña de Azucar) al 0.35%, y los valores obtenidos para %TSR del ensayo de Resistencia de Mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad cumple con el requerimiento establecido en las especificaciones técnicas de mezclas SMA Para diseño Marshall NAPA 2002

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Control de calidad de los Componentes de la Mezcla

#### 4.1.1. Control de calidad del Agregado Grueso

##### A) Tabla de Resultados

Tabla 118: Resultados del control de calidad del agregado grueso

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO GRUESO				
ENSAYO	METODO	AGREGADO	DATOS OBTENIDOS	REQUERIMIENTOS MINIMOS
Abrasion de los angeles % perdida	AASHTO T96 MTC E207	Grueso	21.29 %	30 % MAX
Chatas y Alargadas, % 1 a 3	ASTM D4791 MTC E223	1/2"	0.98 %	20 % MAX
		3/8"	4.92 %	
Absorcion, %	AASHTO T85 MTC E206	GRUESO	1.41 %	2 % MAX
Durabilidad, % Sulfato de Magnesio	AASHTO T104 MTC E209	GRUESO	1.39 %	20 % MAX
Caras fracturadas, % una cara	ASTM D5821 MTC E210	1/2"	100.00 %	100 % MIN
% Dos caras		3/8"	100.00 %	90 % MIN

##### B) Análisis de Resultados de la tabla

Los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el control de calidad de los agregados gruesos de la cantera de Caicay – Sector Paucartambo, cumplen satisfactoriamente con los requisitos de calidad para el Agregado Grueso AASHTO MP8.

### C) Resultados y análisis de cada ensayo para control de calidad de Agregados Gruesos

#### C.1) Ensayo de Abrasión Los Ángeles

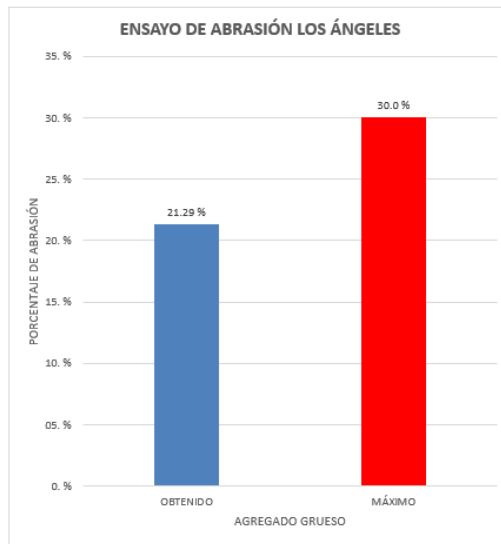


Figura 100: Resultado del ensayo de Abrasión los Ángeles

#### Análisis

El resultado del ensayo de Abrasión Los Ángeles del Agregado Grueso es de 21.29%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 30% máximo.

#### C.2) Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas

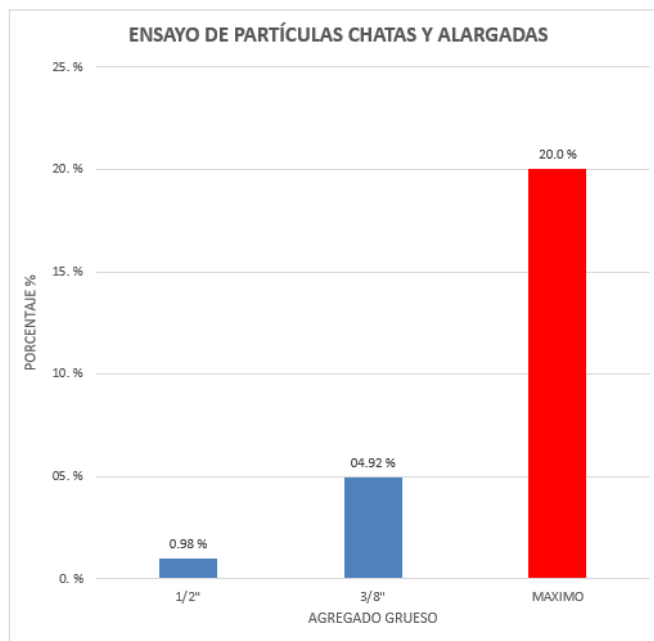


Figura 101: Resultado del ensayo de partículas chatas y alargadas

### Análisis

El resultado del ensayo de Partículas Chatas y Alargadas (relación 3 a 1) del Agregado Grueso, 1/2” y 3/8”, es de 0.98% y 4.92% respectivamente, los cuales cumplen con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 20% máximo.

### C.3) Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

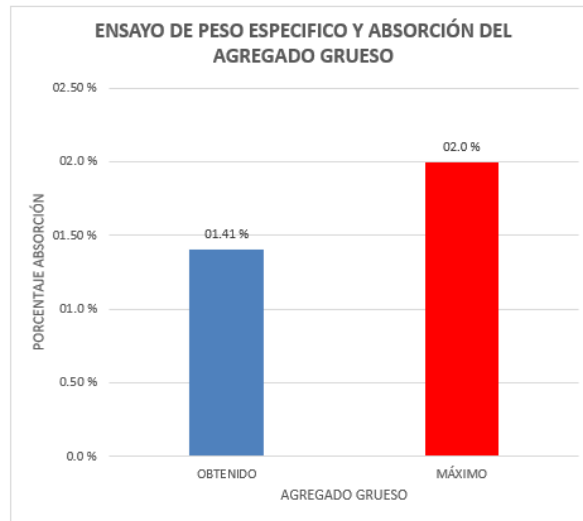


Figura 102: Resultado del ensayo de Absorción

### Análisis

El resultado del ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso, da como resultado de porcentaje de Absorción 1.41% respectivamente, los cuales cumplen con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 2% máximo.

### C.4) Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Grueso

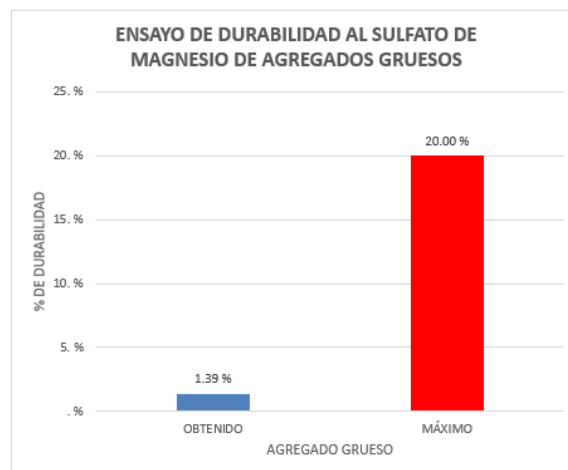


Figura 103: Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

### Análisis

El resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Grueso es de 1.39%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 20% máximo.

### C.5) Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas

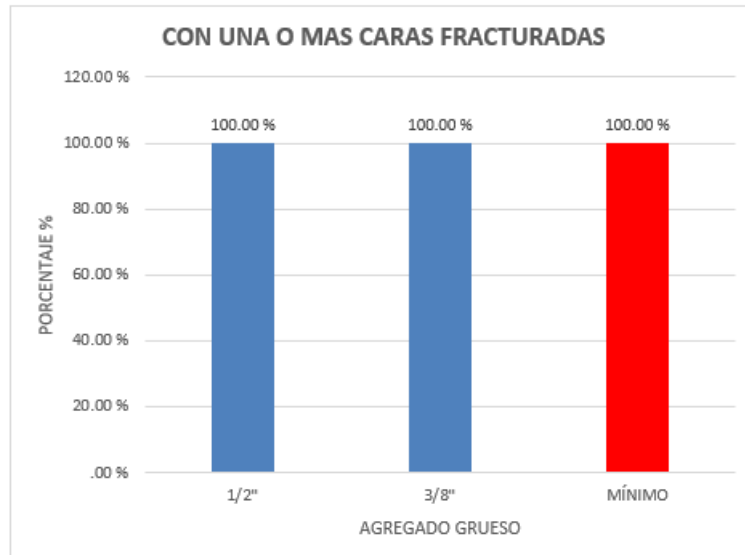


Figura 104: Resultado del ensayo de caras fracturadas – con una o más caras fracturadas

### Análisis

El resultado del ensayo para determinar el porcentaje de Caras Fracturada del Agregado Grueso, 1/2" y 3/8", para una o más caras, es de 100.00% y 100% respectivamente, , por lo tanto ambos cumplen con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 100% min.



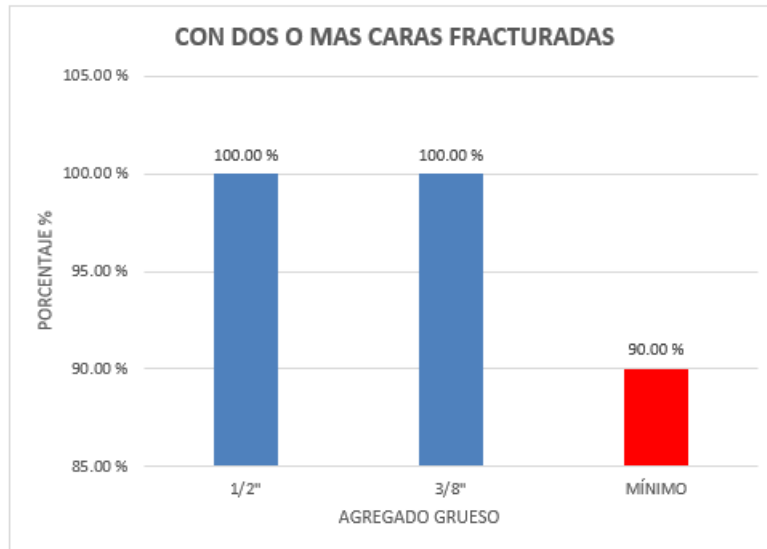


Figura 105: Resultado del ensayo de caras fracturadas – con dos o más caras fracturadas

**Análisis**

El resultado del ensayo para determinar el porcentaje de Caras Fracturada del Agregado Grueso, 1/2” y 3/8”, para dos o más caras, es de 100.00% y 100.00% respectivamente, los cuales cumplen con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 90% min.

**4.1.2. Control de calidad del Agregado Fino**

**A) Tabla de Resultados**

Tabla 119: Resultados del control de calidad del agregado fino

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO				
ENSAYO	METODO	AGREGADO	DATOS OBTENIDOS	REQUERIMIENTOS MINIMOS
Durabilidad, % Sulfato de Magnesio	AASHTO T104 MTC E209	FINO	1.97 %	20 % MAX
Angularidad, %	AASHTO TP33 MTC 222	FINO	45.1 %	45 % min
Limite Liquido, %	AASHTO T89 MTC E110	FINO	22.95 %	25 % MAX
Indice de Plasticidad	AASHTO T90 MTC E110	FINO	N.P.	N.P.

**B) Análisis de resultados de la tabla**

Los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el control de calidad del agregado fino de la Cantera Caicay – Sector Paucartambo, cumplen satisfactoriamente con los requisitos de calidad para el Agregado Fino AASHTO MP8.

### B.1) Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Fino

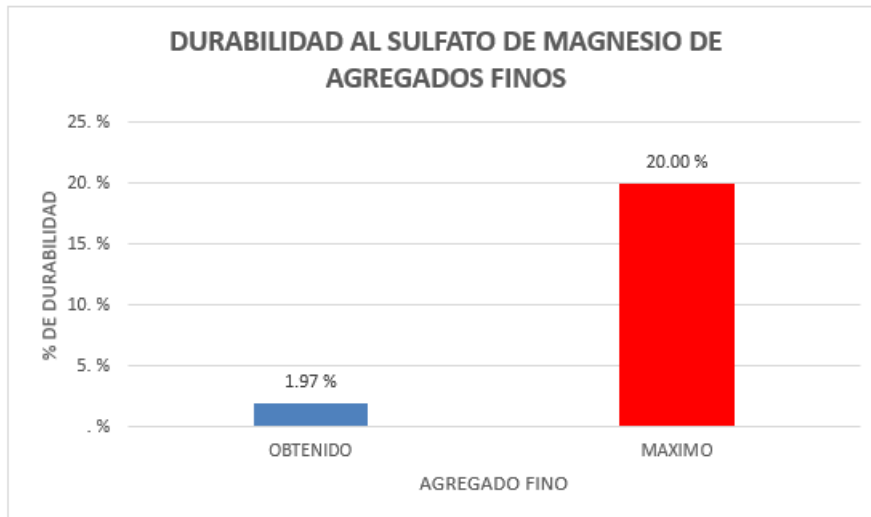


Figura 106: Resultado del ensayo de durabilidad

#### Análisis

El resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Fino es de 1.97%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 20% máximo.

### B.2) Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Fino

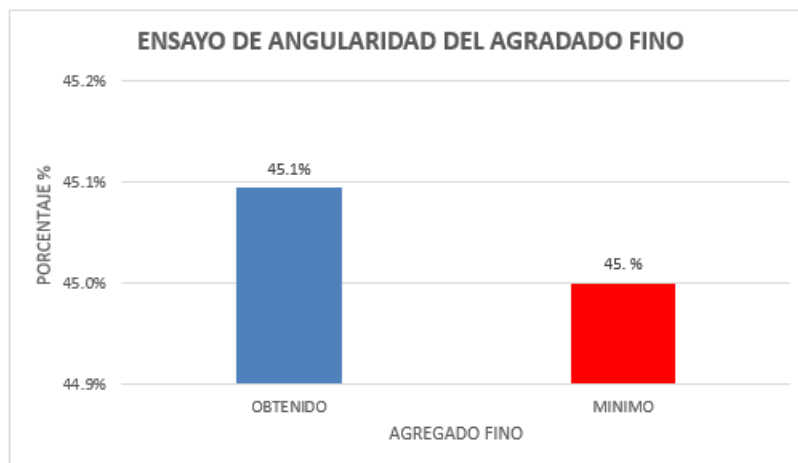


Figura 107: Resultado del ensayo de Angularidad de finos

#### Análisis

El resultado del ensayo de Angularidad de Finos es de 45.1%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma AASHTO MP8 que es de 45% mínimo.

### B.3) Ensayo de Limite de consistencia del Agregado Fino

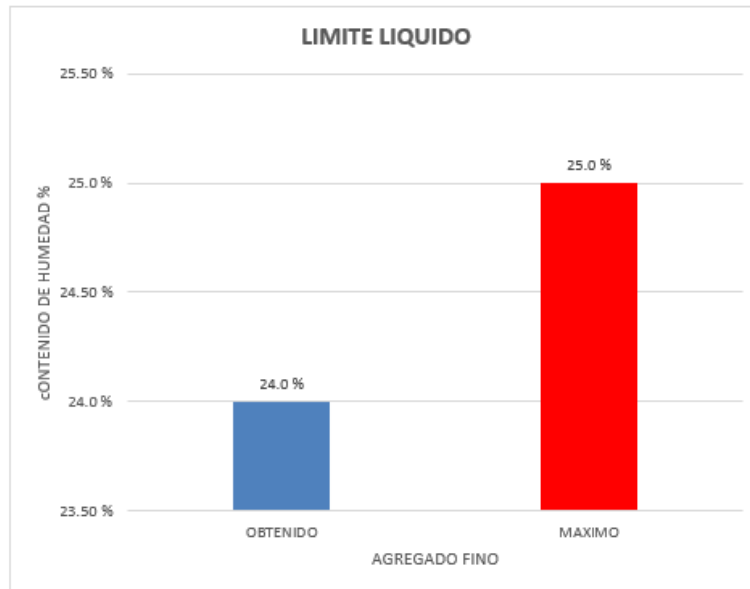


Figura 108: Resultado del ensayo de Límite Líquido

#### Análisis

En el ensayo de Límites de Consistencia, para el Limite Liquido el resultado es de 23.56 %, el cual cumple con el requerimiento de ensayo que es de 25% máximo, Para el Índice de Plasticidad no se pudo realizar el ensayo por lo tanto No Presenta Plasticidad (NP), ambos resultados cumplen con la norma AASHTO MP8

## 4.2. Control de Calidad de las Mezclas Asfálticas SMA

### 4.2.1. Diseño SMA

#### 4.2.1.1. Gradación Óptima

##### a) Resultado de la Gradación Óptima

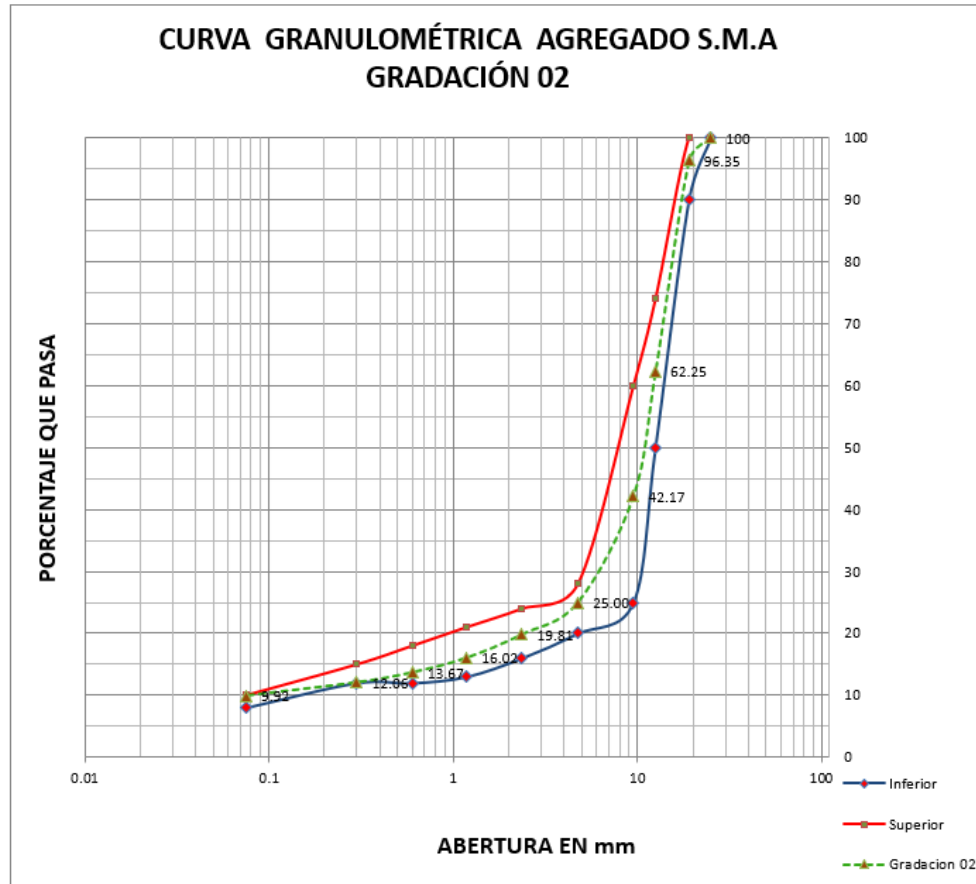


Figura 109: Curva granulométrica de la Gradación Óptima

##### b) Análisis del Resultado

Para la selección de la Gradación Óptima se eligió la Gradación 02, en la cual la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de diseño para un TMN 19mm (3/4”), además de que cumple con los requerimientos de elección de la gradación óptima para un valor de  $\%V_a \sim 4$ , un valor de  $\%VMA \geq 17\%$  y un valor de  $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$ : (Ver Tabla 94: Cálculo de los vacíos y elección de la gradación óptima)

#### 4.2.1.2 Contenido de Asfalto Óptimo

##### a) Resultados del Contenido de Asfalto Óptimo

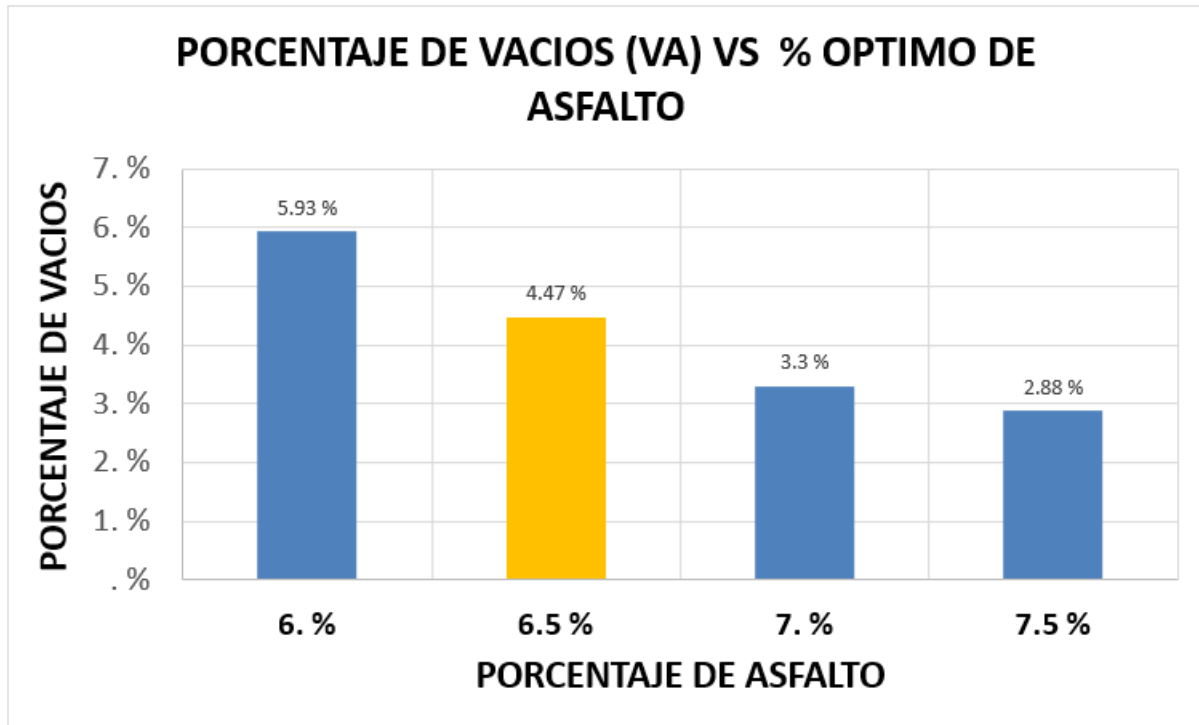


Figura 110: Porcentaje de vacíos (% VA) en función del % de asfalto en la mezcla

### Análisis del resultado

Para la selección del contenido de asfalto óptimo se eligió la Gradación 02, en la cual la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de diseño para un TMN 19mm (3/4”), y se evaluaron contenidos de asfalto a 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5% además de que se buscó que cumpla con un valor aproximado a %Va~4 siendo el porcentaje de de 6.5% como valor de contenido óptimo de asfalto.

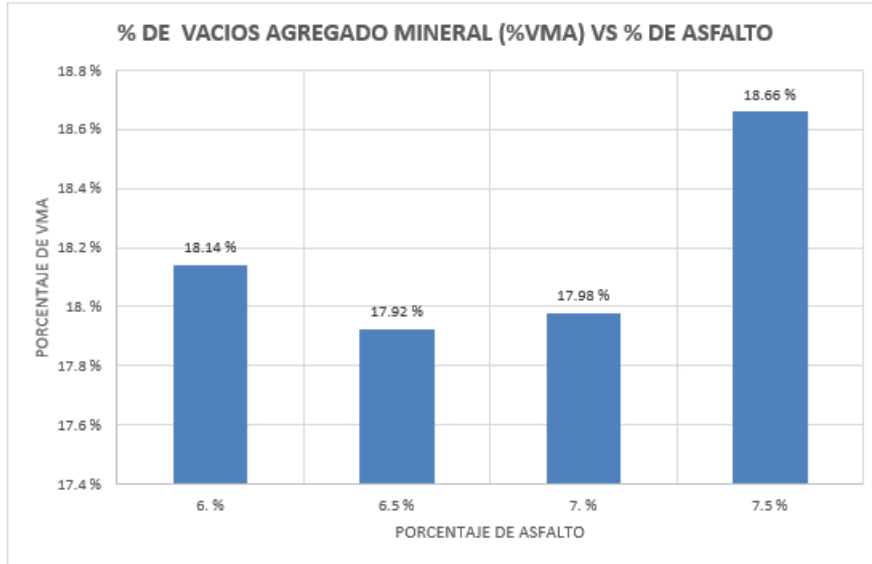


Figura 111: Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VMA) en función del % de asfalto en la mezcla

### Análisis del resultado

Para la selección del contenido de asfalto óptimo se eligió la Gradación 02, en la cual la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de diseño para un TMN 19mm (3/4”), y se evaluaron contenidos de asfalto a 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5% además de que se buscó que cumpla con un valor de %VMA  $\geq 17\%$  el cual mediante una línea hacia el contenido óptimo de asfalto de 6.5% confirmo que él % VMA es mayor que 17%

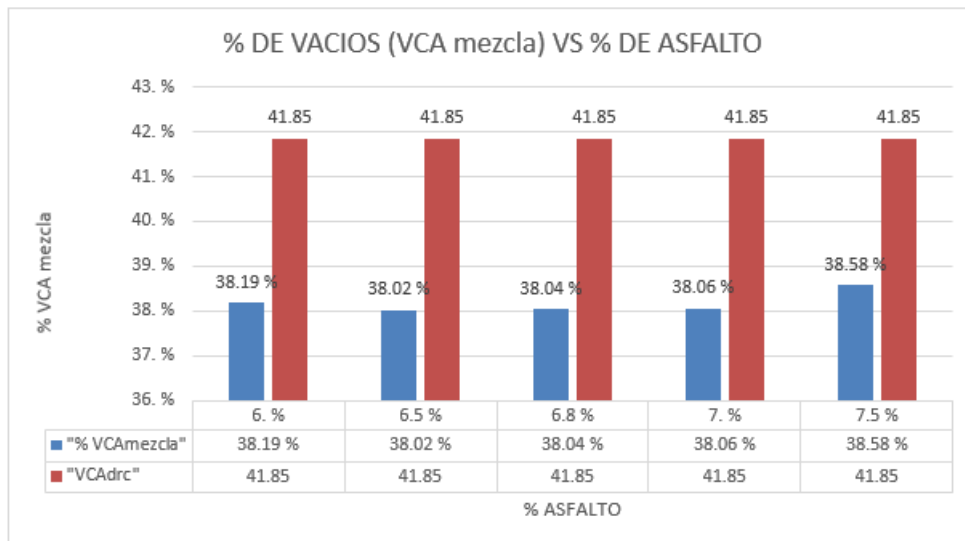


Figura 112: Porcentaje de vacíos de agregado grueso en mezcla (% VCAmezcla) en función del % de asfalto en la mezcla



## Análisis del resultado

Para la selección del contenido de asfalto óptimo se eligió la Gradación 02, en la cual la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de diseño para un TMN 19mm (3/4”), y se evaluaron contenidos de asfalto a 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5% además de que se buscó que cumpla con un valor de  $VCA_{MEZCLA} < VCA_{DRC}$  el cual mediante una línea hacia el contenido óptimo de asfalto de 6.5% confirmo que el  $VCA_{MEZCLA}$  es menor  $VCA_{DRC}$ .

## 4.2.2. Propiedades Fisico-Mecanicas

### 4.2.2.1 Ecurrimiento

#### a) Resultados de Ecurrimiento

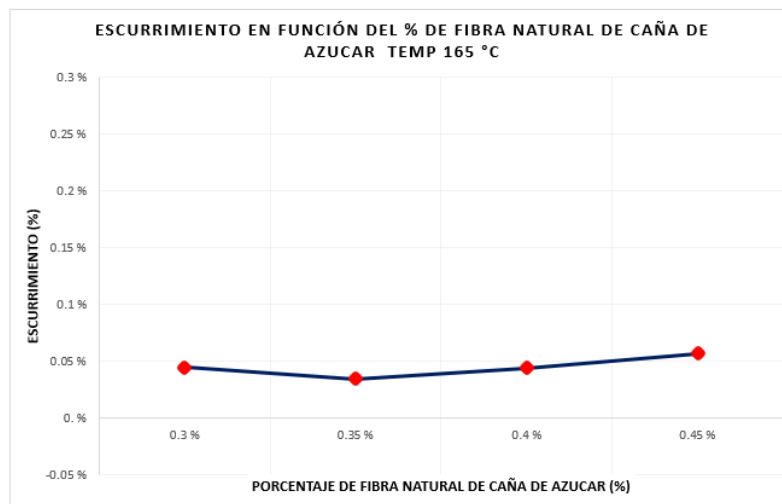


Figura 113: Ecurrimiento en función del % de Fibra Natural de caña de Azúcar – a 165°C

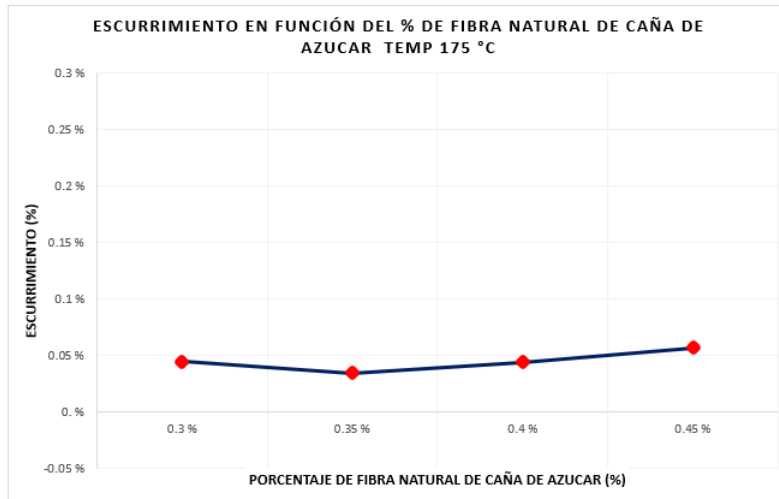


Figura 114: Escurrecimiento en función del % de Fibra Natural de caña de Azúcar – a 175°C

### Análisis del resultado

El ensayo de Escurrecimiento con Fibra Natural de caña de Azúcar se determinaron los porcentajes al 0.3%, 0.35%, 0.4% y 0.45% teniendo como base la normativa NAPA 2002 y dos temperaturas (165°C y 175°C), considerando el porcentaje de fibra, que tenga el menor porcentaje de escurrecimiento.

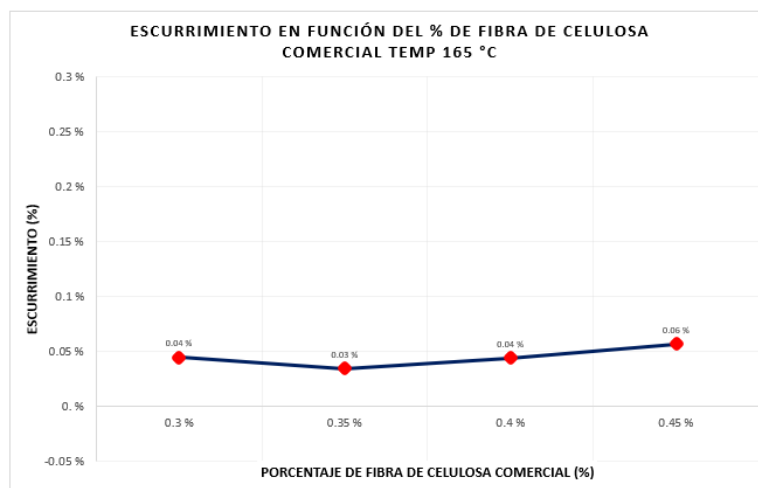


Figura 115: Escurrecimiento en función del % de la Fibra de Celulosa Comercial – a 165°C

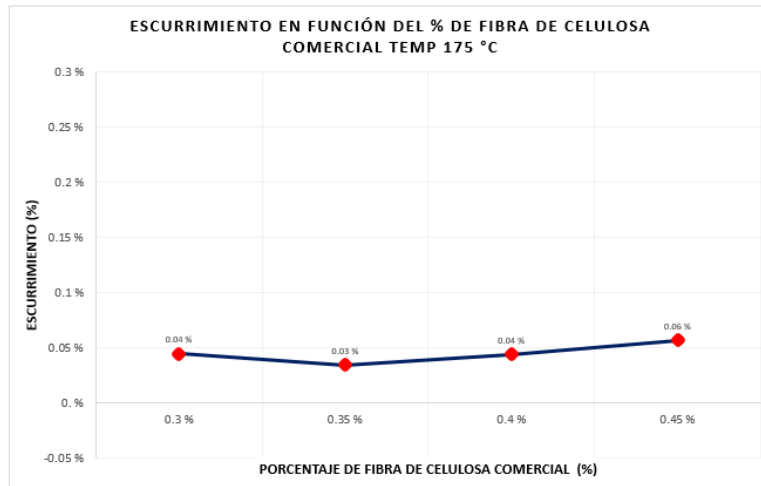


Figura 116: Escurrimiento en función del % de la Fibra de Celulosa Comercial – a 175°C

**Análisis del resultado**

En el ensayo de Escurrimiento con Fibra de Celulosa Comercial se determinaron los porcentajes al 0.3%, 0.35%, 0.4% y 0.45% teniendo como base la normativa NAPA 2002 y dos temperaturas (165°C y 175°C), considerando el porcentaje de fibra, que tenga el menor porcentaje de escurrimiento.

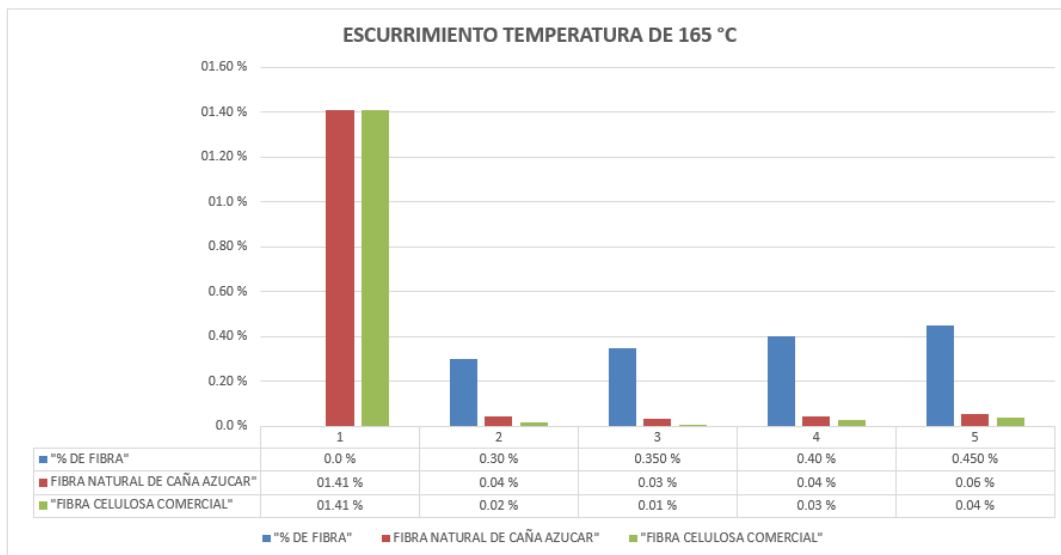


Figura 117: Escurrimiento de mezclas asfálticas SMA – 165°C

**Análisis del resultado**

Las muestras con mezcla asfáltica con fibra de celulosa comercial y con Fibra natural de caña de azúcar, presentaron porcentajes bajos de escurrimiento frente a una temperatura de 165°C incluso en un porcentaje de adición de agente estabilizante mínima (0.3% del peso total), siendo estos resultados de 0.02% de escurrimiento para fibra de celulosa comercial y 0.04% de

escurrimiento con Fibra natural de caña de azúcar, mientras que para la muestra ensayada a 165°C sin fibra deo un escurrimiento de 1.41%; estando estos valores de escurrimiento para mezclas asfálticas con estabilizante, dentro de los límites permitidos según NAPA 2002.

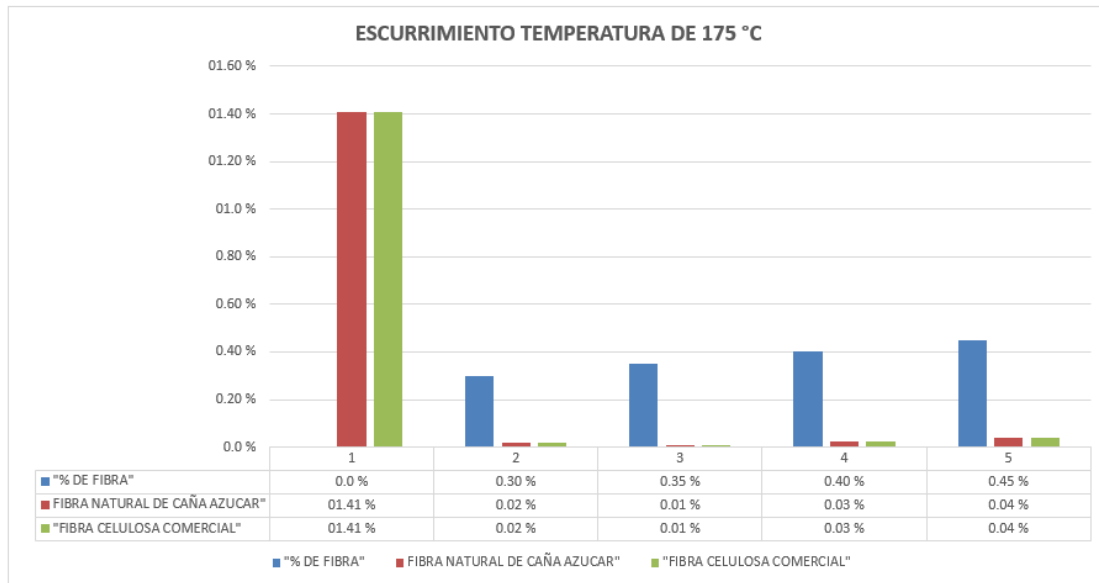


Figura 118: Escurrimiento de mezclas asfálticas SMA – 175°C

### Análisis del resultado

Las muestras con mezcla asfáltica con fibra de celulosa comercial y con Fibra natural de caña de azúcar, presentaron porcentajes bajos de escurrimiento frente a una temperatura de 175°C incluso en un porcentaje de adición de agente estabilizante mínima (0.3% del peso total), siendo estos resultados de 0.02% de escurrimiento para fibra de celulosa comercial y 0.02% de escurrimiento con Fibra natural de caña de azúcar, mientras que para la muestra ensayada a 175°C sin fibra deo un escurrimiento de 1.41%; estando estos valores de escurrimiento para mezclas asfálticas con estabilizante, dentro de los límites permitidos según NAPA 2002.

#### 4.2.2.2 Parámetros Volumétricos

##### a) Resultados de Parámetros Volumétricos

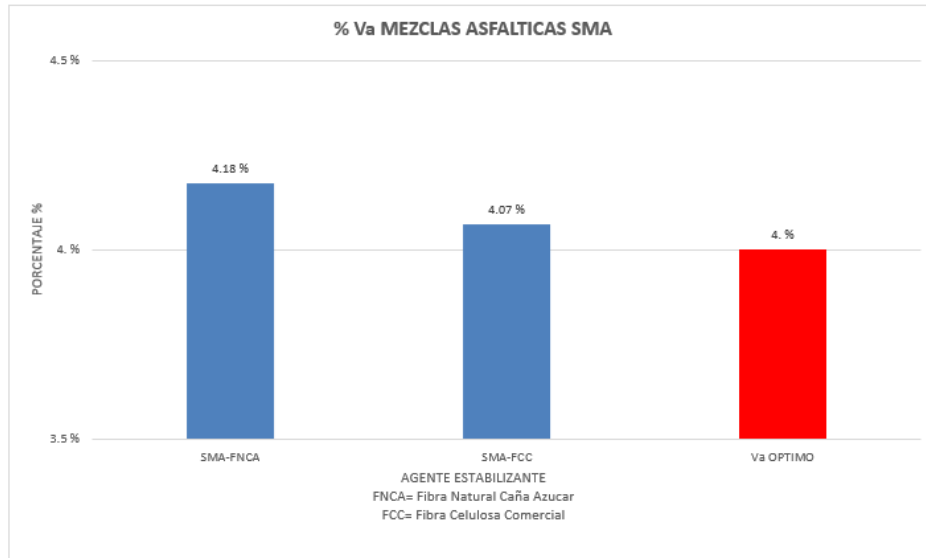


Figura 119: Porcentaje Va de mezclas asfálticas SMA

### Análisis del resultado

Los Porcentajes de Va de Mezclas Asfálticas SMA para Fibra de Celulosa Comercial y Celulosa Fibra natural de caña de azúcar son 4.07% y 4.18% respectivamente, estos valores se encuentran próximos uno al otro y quedan cerca al % Va Óptimo de 4%

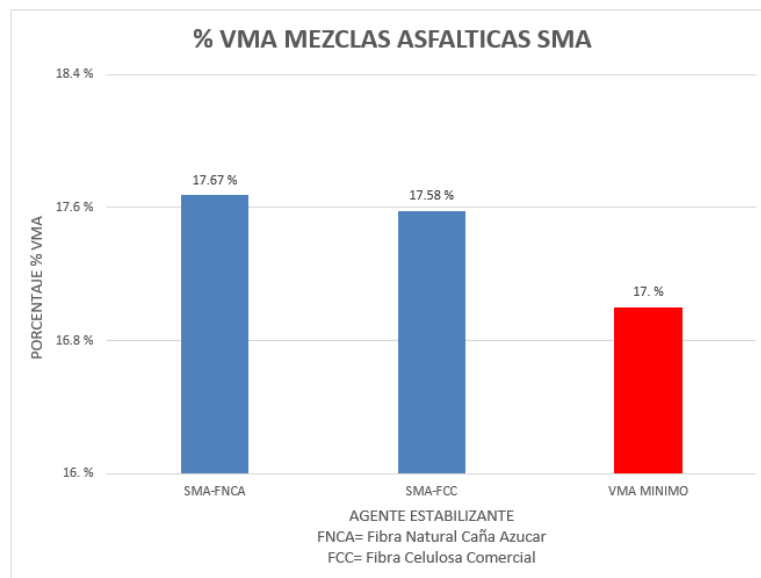


Figura 120: % VMA de mezclas asfálticas SMA

### Análisis del resultado

Los % VMA de Mezclas Asfálticas SMA para fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar son 17.58% y 17.67% respectivamente, estos valores se aproximan uno al otro y cumplen con  $\%VMA \geq 17\%$

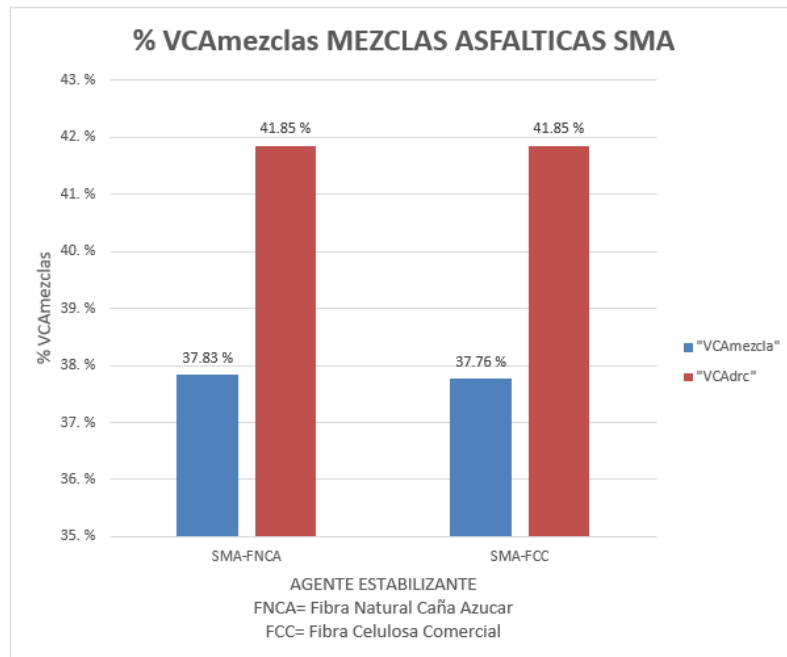


Figura 121: Porcentaje  $VCA_{MEZCLA}$  mezclas asfálticas SMA

### Análisis del resultado

Los %  $VCA_{mezcla}$  de Mezclas Asfálticas SMA para fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar son 37.76% y 37.83% respectivamente, estos valores se aproximan uno al otro y son menores al valor de  $VCA_{drc} = 41.85\%$

#### 4.2.2.3 Estabilidad y Flujo Marshall

##### a) Resultados de Estabilidad y Flujo Marshall

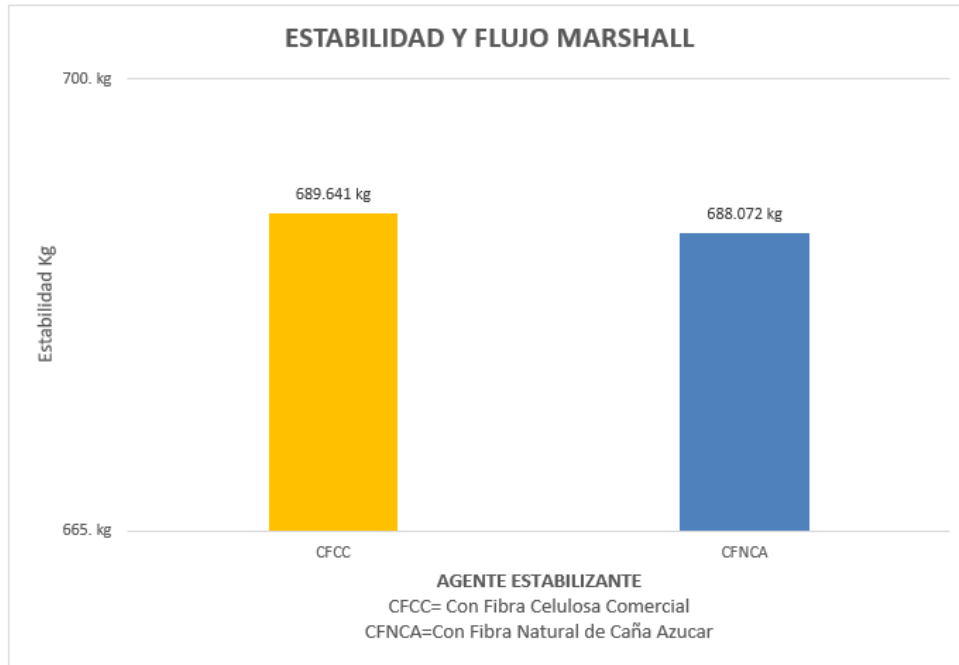


Figura 122: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas SMA

### Análisis del resultado

En el ensayo de Estabilidad Marshall de las Mezclas Asfálticas con fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar se tiene como resultados 689.641 Kg Y 688.072 Kg, estos resultados se aproximan mutuamente.

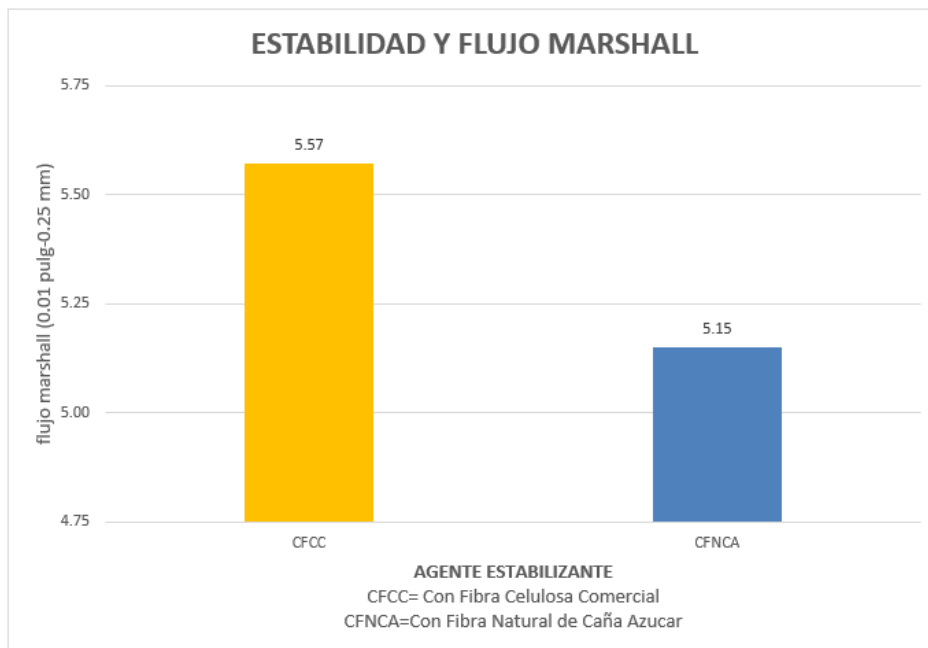


Figura 123: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas SMA

### Análisis del resultado





Para el ensayo el Flujo Marshall de las Mezclas Asfálticas con fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar tienen como resultados de 5.57 y 5.15 y estos resultado se aproximan.

#### 4.2.2.4 Resistencia De Mezclas Asfálticas Compactadas Al Daño Inducido Por Humedad

##### a) Resultados de Resistencia De Mezclas Asfálticas Compactadas Al Daño Inducido Por Humedad

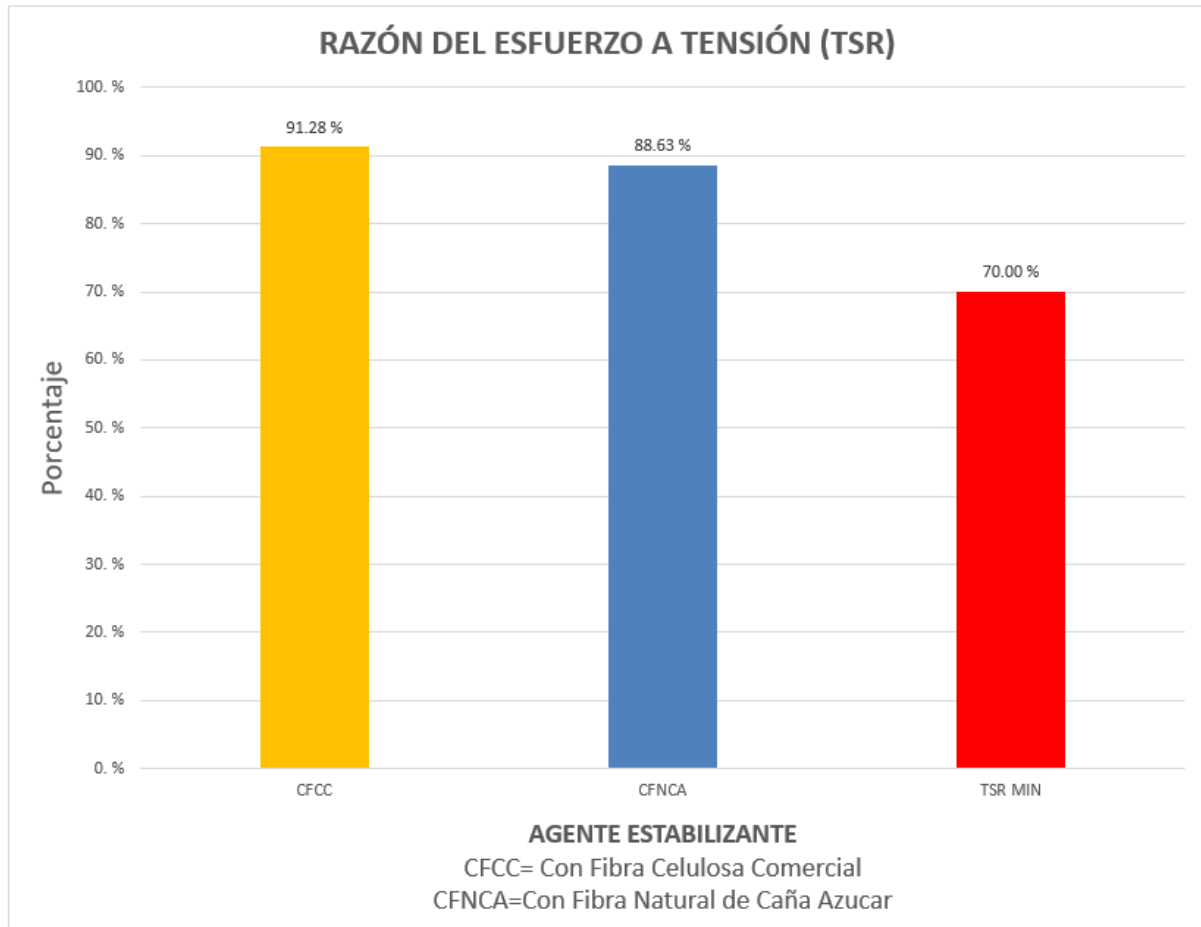


Figura 124: Razón del esfuerzo a tensión (TSR) de mezclas asfálticas SMA

##### Análisis del resultado

Las Razón del Esfuerzo a Tensión (TSR) de las mezclas asfálticas SMA elaboradas con fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar salen 91.28% y 88.63% respectivamente, siendo estos valores semejantes y ambos superando el mínimo de 70%.

Tabla 120: Propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas SMA con Fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS						
ENSAYO	METODO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION	FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL	FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZUCAR	RESULTADOS SIMILAR
ESCURRIMIENTO	AASHTO D6390	% DE ESCURRIMIENTO	165°C	0.01 %	0.03 %	SI
			175°C	0.01 %	0.01 %	SI
PARAMETROS VOLUMETRICOS	AASHTO T166 AASHTO T19	% DE VACIOS	%Va	4.07 %	4.18 %	SI
			%VMA	17.58 %	17.67 %	SI
			%VCA Mezcla	37.76 %	37.83 %	SI
ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL	MTC E504 ASTM D1559	ESTABILIDAD Y FLUJO	ESTABILIDAD (Kg)	689.64 Kg	688.07 Kg	SI
			FLUJO	5.57	5.15	SI
SUCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD	AASHTO T283 MTC E522	RAZON DEL REFUERZO	%TSR	91.28 %	88.63 %	SI

Tabla 121: Variacion de datos de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas SMA con Fibra de celulosa comercial y Fibra natural de caña de azúcar

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS							
ENSAYO	METODO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION	FIBRA DE CELULOSA COMERCIAL	FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZUCAR	RESULTADOS SIMILAR	VARIACION DE DATOS
ESCURRIMIENTO	AASHTO D6390	% DE ESCURRIMIENTO	165°C	0.01 %	0.03 %	SI	74.93 %
			175°C	0.01 %	0.01 %	SI	0.31 %
PARAMETROS VOLUMETRICOS	AASHTO T166 AASHTO T19	% DE VACIOS	%Va	4.07 %	4.18 %	SI	2.57 %
			%VMA	17.58 %	17.67 %	SI	0.52 %
			%VCA Mezcla	37.76 %	37.83 %	SI	0.18 %
ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL	MTC E504 ASTM D1559	ESTABILIDAD Y FLUJO	ESTABILIDAD (Kg)	689.64 Kg	688.07 Kg	SI	0.23 %
			FLUJO	5.57	5.15	SI	8.19 %
SUCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD	AASHTO T283 MTC E522	RAZON DEL REFUERZO	%TSR	91.28 %	88.63 %	SI	2.98 %
						PROMEDIO	2.14 %



## CAPITULO V: DISCUSIÓN

### **Discusión N° 01: ¿Por qué se seleccionó el Agregado Grueso y Fino de la cantera de Caicay– Sector Paucartambo?**

Debido a que estos materiales son utilizados y recomendados por la calidad de sus agregados lo cual le atribuye características de calidad al ser utilizado en mezclas asfálticas, cabe indicar el cuidado con el que se seleccionan los agregados y la granulometría de los mismos por lo que son ampliamente utilizados y recomendados por CONCRETOS PRIMAVERA, además de haber sido ya utilizados en obras en la ciudad del Cusco.

### **Discusión N° 02: ¿Cómo se garantiza el control de calidad de los agregados constituyentes para el diseño de mezclas asfálticas SMA?**

Se garantiza en la utilización de normas internacionales utilizadas por otros países como Europa, Estados Unidos y Canada, siendo la norma NAPA la más completa con la que se contó, por lo cual se pudo establecer los controles de la calidad de los agregados con las normas NAPA y AASHTO, obteniendo resultados óptimos que cumplieron con los requerimientos exigidos de las normativas.

### **Discusión N° 03: ¿Por qué se eligió la Fibra Natural de caña de azúcar como agente estabilizante para mezclas asfálticas SMA?**

Debido a experiencias ya utilizados por otros países como Brasil y Colombia, teniendo el bagazo de caña de azúcar como producto de desecho de la industria azucarera, teniendo también en nuestro país abundancia de este material y de bajo costo y al encontrarse un alto porcentaje de celulosa entre sus componentes orgánicos es una alternativa a la celulosa comercial.

### **Discusión N° 04: ¿Por qué se escogió el 0.35% para ambos agentes estabilizantes?**

En el caso de la fibra de celulosa comercial la normativa NAPA y otros estudios recomiendan trabajar con un 0.3% como mínimo del agente estabilizante, para poder controlar el escurrimiento en la mezcla asfáltica. Se tiene antecedentes de estudios hechos en otros países con fibra natural de caña de azúcar, pero no para nuestra región y se decidió trabajar con una mezcla asfáltica que contenga un 0.35% de fibra natural de caña de azúcar por los resultados en la prueba de escurrimiento.

**Discusión N° 05: ¿Cómo se eligió el proceso de elaboración de la fibra natural de caña de azúcar?**

Se tomo como modelo al encontrar en otros estudios de otros países una molienda mecánica para homogenizar el tamaño de la fibra natural, para así poder tener una dispersión homogénea de la fibra natural, en la mezcla asfáltica.

Se utilizo un molino de granos para la molienda del bagazo de caña de azucar.

.

**Discusión N° 06: ¿Por qué se eligió la combinación de agregados de 75% A.G., 15% A.F. y 10% Filler?**

Al encontrarse adecuado según la norma NAPA en la curva granulométrica requerida para SMA con un TMN de 19mm.se tomo como parámetro esta disposición de agregados.

**Discusión N° 07: ¿Cuál es el ensayo más representativo para mezclas asfálticas SMA?**

El ensayo más representativo para este tipo de mezclas asfálticas es el ensayo de escurrimiento debido a que las mezclas asfálticas tipo SMA tienen un gran porcentaje de asfalto en comparación a otras mezclas, es por esta razón el uso necesario de un agente estabilizante que evite el escurrimiento, es por ello que este ensayo nos permite determinar el porcentaje de agente estabilizador a utilizar en el diseño de SMA en la mezcla asfáltica.

**Discusión N° 08: ¿Cuál es la diferencia entre la fibra de celulosa comercial y la fibra natural de caña de azúcar en el proceso de mezclado?**

En el proceso de mezclado se observó que la fibra de celulosa comercial se distribuye homogéneamente por toda la mezcla debido a su característica de pelet lo cual facilitaría la homogeneidad en toda la mezcla. La distribución de la fibra natural de caña de azúcar, no tuvo dificultad debido a la homogeneidad del tamaño de partículas de fibra al ser tamizado antes de su uso.

**Discusión N° 09: ¿Por qué el agente estabilizante (Fibra de Celulosa comercial o Fibra natural de caña de azúcar) evita el escurrimiento de la mezcla?**

Debido a que las fibras de celulosa poseen una estructura filamentososa que ofrece una alta flexibilidad debido a esto resiste los enormes esfuerzos y sus fibras estén entrelazadas como una malla y así evitar el escurrimiento del asfalto.



**Discusión N° 10: ¿Por qué se consideró las temperaturas de 165°C y 175°C para el ensayo de escurrimiento?**

la Planta de Asfaltos de la Municipalidad del Cusco se trabaja a una temperatura de producción en promedio de 165°C y la norma ASTM D6390 indica que para el ensayo de escurrimiento se trabaja con la temperatura de producción en planta + 10°C.

**Discusión N° 11: ¿Cuáles son los aportes de la Investigación de la presente tesis?**

Conocer más de una tecnología que viene dando buenos resultados a nivel internacional, carreteras en el resto de Europa y últimamente en Estados Unidos y Canadá, dando solución a problemas de tránsitos pesados y climas fríos, por ser una alternativa de uso a uno de los componentes más importantes de las mezclas asfálticas SMA como es el agente estabilizante de celulosa, siendo la fibra de caña una alternativa por ser de fácil obtención y de bajo costo se incentiva también al desarrollo de nuevas investigaciones experimentando con otro tipo de fibras y materiales que contengan celulosa.



## GLOSARIO

**AASHTO:** Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials).

**ABRASIÓN:** Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

**ABSORCIÓN:** Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

**ADHERENCIA:** Capacidad de dos materiales para unirse formando una capa sólida.

**AGENTE ESTABILIZANTE:** Aditivo de origen orgánico, mineral o sintético que minimiza el escurrimiento de asfalto en las mezclas asfálticas.

**AGREGADO ANGULAR:** Agregados que poseen bordes bien definidos formados por la intersección de caras planas rugosas.

**AGREGADO BIEN GRADADO:** Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral y que se encuentra centrado a una curva granulométrica “huso” especificada.

**AGREGADO DE GRADACIÓN ABIERTA:** Agregado que contiene poco o ningún relleno mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado son relativamente grandes.

**AGREGADO FINO:** Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N°4 (4.75 mm) y contiene finos.

**AGREGADO GRUESO:** Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4.75 mm).

**AGREGADO:** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:** Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

**ARENA:** Partículas de roca que pasan la malla N°4 (4.75 mm) y son retenidas por la malla N°200.

**ASFALTO MODIFICADO:** Producto de la incorporación de un polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y geológicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad.





**ASFALTO:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.

**ASTM:** Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials).

**BASE:** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. La base es parte de la estructura de un pavimento.

**CANTERA:** Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

**CANTO RODADO:** Fragmento de roca que al ser transportado a lo largo del tiempo por el flujo de agua ha adquirido formas no angulares y superficie lisa.

**CARRETERA:** Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**CEMENTO ASFÁLTICO:** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a la calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.

**CEMENTO PORTLAND:** Es un producto obtenido por la pulverización del Clinker Portland con la adición eventual de yeso natural.

**COHESIÓN:** La propiedad de un material que le permite ser resistente sin estar confinado, aun después de haber sido secado al aire, y que no se desintegra cuando es sumergido.

**COMPACTACIÓN:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.

**CONTENIDO DE HUMEDAD:** Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente.

**CURADO:** Proceso total desde el estado inicial hasta el estado final en el que el agua ha sido totalmente eliminada y el asfalto ha desarrollado totalmente sus propiedades ligantes.

**CURVA GRANULOMÉTRICA:** Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados.



**DEFORMACIÓN PERMANENTE:** Se refiere a la deformación plástica del HMA bajo cargas repetidas. Esta deformación permanente puede ser en forma de flujo (flujo plástico en la zona cercana a las huellas) o consolidación (compactación adicional de HMA después de la construcción). La angularidad y la textura áspera de los agregados ayudaran a reducir la deformación permanente.

**DRAINDOWN:** Esguccionamiento.

**ENSAYO MARSHALL:** Procedimiento para el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

**ESCURRIMIENTO:** Determinación de la porción de la mezcla (finos y ligante) que se separa y fluye escurriéndose de la mezcla.

**ESTABILIDAD:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

**FIBRA DE CELULOSA:** Producto de origen vegetal y renovable, proveniente de la madera y otras especies vegetales con pared celular.

**FILLER:** Producto mineral finamente dividido del que al menos el 6.5% pasa por el tamiz N° 200. Material proveniente por lo general de la caliza pulverizada, polvos de roca, cal hidratada, cemento Portland, y ciertos depósitos naturales de material fino, empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla o como mejorador de adherencia.

**GAP – GRADED:** Mezclas de granulometría incompletas.

**GRADOS DE PENETRACIÓN:** Sistema de Clasificación de los cementos asfálticos basado en la penetración a una temperatura de 25°C. Existen grados patrones de clasificación tales: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

**GRANULOMETRÍA:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

**GRAVA:** Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

**IMPERMEABILIDAD:** Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

**LIGANTE:** Es un compuesto adhesivo que ligan o mantienen unidos dos elementos.

**LIMITE LIQUIDO:** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.



**LIMITE PLÁSTICO:** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.

**MALLA:** Abertura cuadrada de un tamiz.

**MEZCLA ASFÁLTICA:** Material utilizado en la construcción de pavimentos, formado por una combinación de agregados pétreos y un producto asfáltico, de suerte que las partículas queden cubiertas de manera homogénea por este. La mezcla se realiza de forma mecánica, bien en una planta fija o móvil, debiendo ser transportada después a la obra, donde se extiende y compacta, o bien puede ser elaborada directamente en la vía.

**MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones

**NAPA:** National Asphalt Pavement Association (Asociación Nacional del Pavimento Asfáltico)

**OPEN – GRADED:** Mezclas abiertas o porosas.

**PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS:** Relaciones Volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados.

**PAVIMENTO:** Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

**PEN 85/100:** Cemento Asfáltico de penetración 85 – 100 mm.

**PESO ESPECÍFICO:** Numero que representa la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua a 4°C.

**SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD:** deterioro de la capacidad estructural de la mezcla causada por la presencia de agua en estado líquido o gaseoso al interior de su microestructura

**SMA:** Stone Mastic Asphalt o Stone Matrix Asphalt, tipo de mezcla asfáltica de gradación incompleta. Se caracteriza por su alto contenido en áridos gruesos y su distribución en un esqueleto de estructura controlada.

**SUBBASE:** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

**TRABAJABILIDAD:** La facilidad con que las mezclas de pavimentación y de otras obras de infraestructura vial pueden ser colocadas y compactadas.

**TRACCIÓN INDIRECTA:** Compresión de probetas cilíndricas, que produce un esfuerzo horizontal a lo largo del eje vertical y uno de compresión a lo largo del diámetro horizontal.

**VOLUMEN DE VACÍOS:** Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.



### NOMENCLATURA

<b>FNCA</b>	Fibra Natural de caña de Azúcar
<b>FCC</b>	Fibra de Celulosa Comercial
<b>HMA</b>	Hot Mix Asphalt (Mezcla Asfáltica en Caliente)
<b>SMA</b>	Stone Mastic Asphalt o Stone Matrix Asphalt (Asfalto con Matriz de Piedra)
<b>TM</b>	Tamaño Máximo del agregado
<b>TMN</b>	Tamaño Máximo Nominal del agregado
<b>Va</b>	Vacíos de Aire
<b>VCAdrc</b>	Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado.
<b>VCAMEzcla</b>	Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla
<b>VMA</b>	Vacíos en el Agregado Mineral



## CONCLUSIONES

### CONCLUSIÓN N°1:

Se demuestra la afirmación de la hipótesis General: “Las propiedades físico - mecánicas de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, es similar respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay”, ya que las propiedades físico mecánicas son similares en ambos tipos de mezclas asfálticas para cada tipo de ensayo como se muestra en la Tabla 120 Pág. 266. Los resultados obtenidos son muy parecidos a los resultados de mezclas asfálticas con fibra de celulosa comercial se puede utilizar el uso fibra natural de caña de azúcar como un agente estabilizante para las mezclas asfálticas SMA.

### CONCLUSIÓN N°2:

Se demuestra la SubHipótesis N°1 la cual dice: “Los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, es similar respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay.” Con valores de %Va de 4.07%, %VMA de 17.58% y %VCA<sub>MEZCLA</sub> de 37.76 < VCA<sub>DRC</sub> de 41.85; para una mezcla asfáltica SMA con Fibra de Celulosa comercial como agente estabilizante; como valores de %Va de 4.175%, %VMA de 17.674% y %VCA<sub>MEZCLA</sub> de 37.834 < VCA<sub>DRC</sub> de 41.85; para una mezcla asfáltica SMA con fibra natural de caña de azúcar. (Ver Tabla 120 Pág. 266, Figura 119 Pág. 261, Figura 120 Pág. 261, Figura 121 Pag. 262)

### CONCLUSIÓN N°3:

Se demuestra la SubHipótesis N°2 la cual dice: “La sensibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, es similar respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay.” Ya que los valores obtenidos en el ensayo de susceptibilidad a la humedad, para fibra de celulosa comercial %TSR=91.28% y fibra natural de caña de azúcar %TSR=88.63%., los valores se toman como óptimos debido a que ambos superan el 70% de %TSR (Ver Tabla 120 Pág. 266, Figura 124 Pág. 265)

**CONCLUSIÓN N°4:**

Se demuestra la SubHipótesis N°3 la cual dice: “La estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, es similar respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay.” Ya que los valores estabilidad y el flujo para mezclas asfálticas con Fibra de Celulosa Comercial son 689.641 Kg y 5.57 mm respectivamente y los valores estabilidad y el flujo para mezclas asfálticas con fibra natural de caña de azúcar es 688.07 Kg y 5.15 mm respectivamente. (Ver Tabla 120 Pág. 266, Figura 122 Pág. 263, Figura 123 Pág. 263)

**CONCLUSIÓN N°5:**

Se demuestra la SubHipótesis N°4 la cual dice: “El escurrimiento de asfalto de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, es similar respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay”; los valores de escurrimiento para 165°C y 175°C de la mezcla asfáltica elaborada con 0.35% de contenido en peso de Fibra de celulosa Comercial son 0.01% y 0.01% respectivamente y los valores de escurrimiento para 165°C y 175°C de la mezcla asfáltica elaborada con 0.35% de contenido en peso de fibra natural de caña de azúcar son 0.03% y 0.01% respectivamente. (Ver.Tabla 120 Pág. 266, Figura 113, Pag. 257, Figura 114, Pag. 258, Figura 115 Pag. 258, Figura 116 Pág. 259, Figura 117 Pág 259, Figura 118 Pág. 260)



## RECOMENDACIONES.

### RECOMENDACIÓN N° 01:

En la presente tesis se analizó una mezcla asfáltica SMA utilizando agregados gruesos y finos de la cantera de Caicay– Sector Paucartambo, Asfalto PEN 85/100, y Cemento Portland IP como filler. El porcentaje de Asfalto y Filler son de consideración para las Mezclas Asfálticas SMA, se recomienda la utilización de asfalto modificado con polímeros para aumentar las propiedades Físico – Mecánicas de las Mezclas Asfálticas SMA.

### RECOMENDACIÓN N° 02:

El ensayo más relevante para Mezclas Asfálticas SMA que se realizó en el Laboratorio de Suelos, Materiales, Concreto y Asfalto de la Escuela profesional de Ingeniería Civil - UAC, es el ensayo de Ecurrimiento. Se recomienda el análisis de las Mezclas Asfálticas SMA utilizando el equipo de la Rueda de Hamburgo, para determinar la Vida Útil de una carpeta asfáltica tipo SMA.

### RECOMENDACIÓN N° 03:

Se realizó el Análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de Mezclas Asfálticas SMA utilizando como agente estabilizante con fibra de Celulosa comercial con respecto a Mezclas Asfálticas SMA con Fibra natural de caña de azúcar. Por lo cual se recomienda la comparación y análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de Mezclas Asfálticas SMA con otro tipo de agente estabilizador con distinta composición de celulosa.

### RECOMENDACIÓN N° 04:

El agente estabilizante es el componente de las Mezclas Asfálticas SMA que evita el escurrimiento, y en la investigación se trabajó fibra de tipo orgánico o vegetal. Por lo cual se recomienda la evaluación de Mezclas Asfálticas SMA con distintos tipos de agentes estabilizantes, como es el caso de otras fibras orgánicas, fibras de origen mineral o fibras de origen sintético, determinando sus características con la mezcla y su incidencia en las propiedades Físico – Mecánicas.





## REFERENCIAS

- AASHTO. (s.f.). *Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage*. Washington D.C.: AASHTO.
- Agrotiempo. (25 de 03 de 2018). *Agroindustria de caña de Azúcar*. Obtenido de Agroindustria de caña de Azúcar: <http://site.agrotiempo.com/nosotros/>
- ASEFMA. (2012). *Diseño de mezclas SMA como capa de rodadura e intermedia, para su empleo en España*. Madrid: VII Jornada Nacional de ASEFMA .
- ASEFMA. (2013). *Fibras de celulosa aditivadas para mezclas tipo SMA con propiedades mejoradas*. Madrid: VIII Jornada Nacional ASEFMA.
- Asphalt Institute. (2001). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Lexington: Asphalt Institute.
- ASTM International. (2012). *Standar Test Method for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*. Washington D.C.: ASTM Int'l.
- Bejarano López, J. F., & Caicedo Garcia, C. F. (2017). *Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica tipo mdc-19 con fibra natural de caña de azúcar*. Colombia: Programa de Ingeniería Civil.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación: Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales. 3era Edición*. Bogotá: Pearson Education.
- Blazejowski, K. (2011). *Stone Matrix Asphalt - Theory and Practice*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Bustamante Rivera, E. F. (2017). *Análisis comparativo entre Mezclas Asfálticas Convencionales y Mezclas Bituminosas Stone Mastic Asphalt (SMA), elaboradas con materiales de la provincia de Loja*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Colares do Vale, A., Dal Toé Casagrande, M., & Barbosa Soares, J. (2007). *VIABILIDADE DAS FIBRAS DE COCO EM MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO SMA SEGUINDO METODOLOGIA SUPERPAVE*. Fortaleza: Editorial Universidade Federal do Ceará.
- da Silva Campos, E. (2009). *"Curso de Preparación de la Pasta" Apostila Revisão 01*. Porto Alegre: Eucalyptus Online Book & Newsletter.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación. Cuarta Edición*. México: McGraw-Hill.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación. Quinta Edición*. Mexico: McGraw-Hill.



- ICG. (2009). *Pavimentos - Autores varios, Selección de principales artículos (Resultados Experimentales del Comportamiento de Mezclas Asfálticas S.M.A. y Superpave)*. 3ra Edición. Lima: Fondo Editorial ICG.
- Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M., Sánchez Blanco, V., & del Val, M. Á. (2004). *"Ingeniería de Carreteras" Volumen II*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Marçal Martins de Reis, R., Bariani Bernucci, L., del Águila Rodríguez, P., Shiroma, S., & Lamaro Zanon, A. (S.F.). *REVESTIMIENTO ASFÁLTICO TIPO SMA PARA ALTO DESEMPENHO EM VIAS DE TRÁFEGO PESADO*. 1era Edición. São Paulo: Editorial de la Universidade de São Paulo.
- Menéndez Acurio, J. R. (2016). *"Ingeniería de Pavimentos" Tomo I: Materiales*. 5ta Edición. Lima: Instituto de la Cosntrucción y Gerencia - ICG}.
- Minaya Gonzáles, S., & Ordoñez Huaman, A. (2001). *"Manual de Laboratorio Ensayos para Pavimentos" Volumen I*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minaya Gonzáles, S., & Ordoñez Huaman, A. (2001). *"Manual de Laboratorio Ensayos para Pavimentos" Volumen I*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minaya Gonzáles, S., & Ordóñez Huaman, A. (2003). *Superpave y el Diseño de Mezclas Asfálticas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minaya Gonzales, S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Segunda Edición*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minaya Gonzales, S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Segunda Edición*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *"Manual de Carreteras EG-2013" Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *"Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E110 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E203 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E204 - Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E205 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E206 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E207 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E209 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E210 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E222 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E223 - Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E504 - Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MTC E522 - Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guia Didáctica*. Neiva: UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS PROGRAMA DE COMUNICACIÓN SOCIAL Y PERIODISMO.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño. Segunda Edición*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- NAPA - National Asphalt Pavement Association. (2002). *Designing and Constructing SMA Mixtures*. Maryland: NAPA - National Asphalt Pavement Association.
- ONTARIO PROVINCIAL STANDARD SPECIFICATION. (2006). *Material specification for Superpave and Stone Mastic Asphalt Mixtures*. Toronto: OPSS 1151.
- Parades Matta, E. V. (2009). *Comportamiento Mecánico de las Mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Preciado Bolívar, C. A., & Sierra Martínez, C. E. (2013). *Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas SMA*. Bogotá: Pontificie Universidad Javeriana.



Rios Delgado, W. I. (2012). *"Análisis y Propuesta de carpeta asfáltica con la tecnología Stone Mastic Asphalt (S.M.A.) en la ciudad del Cusco - 2012"*. Cusco: Ingeniería Civil.

Sanchez Sabogal, F. (2009). *Curso Básico de Diseño de Pavimentos. Módulo 9 Revestimientos Bituminosos. Mezclas S.M.A.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sardi, L., & Mónica, E. (2007). *"Fabricación de pasta de celulosa" Aspectos técnicos y contaminación ambiental.* Buenos Aires: Universidad de Palermo.

Subirós Ruiz, F. (2000). *El Cultivo de la Caña de Azúcar.* Puerto Rico: EUNED.

Universidad Mayor de San Simón. (S.F). *Manual Completo Diseño de Pavimentos.* Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.



# ANEXOS



ANEXO 1: Matriz de consistencia

TEMA: "ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CARPETA ASFÁLTICA CON LA TECNOLOGÍA (S.M.A) MODIFICADA CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZÚCAR, CUSCO 2018."							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTOS	FUENTE
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Independientes			Instrumentos para control de calidad de agregados  Instrumentos para diseño de mezcla tipo S.M.A.  Instrumentos para cuantificación la magnitud de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla de tipo S.M.A(Modificado) y la mezcla de tipo S.M.A (patron)	"Especificaciones Técnicas Generales para la Contrucción de Carreteras" EG-2013(MTC)  "Manual de Ensayo de Materiales" EM(MTC)  Diseño del Stone Mastic Asphalt AASHTO PP 41-02
¿Cuál es la diferencia de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay?	Evaluar comparativamente las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay	Las propiedades físico - mecánicas de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, con respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de bagaso de caña de azúcar, serán similares.	X: Mezcla Asfáltica S.M.A con Aditivo Estabilizador	X1: Fibra de Celulosa Comercial. X2: Fibra de Celulosa Elaborada con Fibra Natural de Caña de Azúcar.	X1: Porcentaje en peso de fibra de celulosa comercial (%) X2: -Porcentaje en peso de fibra de celulosa natural elaborados con bagaso de caña de azúcar. Porcentaje (%)		
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Sub Hipótesis	Variables Dependientes				
1.-¿Cómo difieren los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay?	1.-Evaluar la diferencia de los parámetros volumétricos entre una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay.	1.-Los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, es similar a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial.	Y: Propiedades Físico - Mecánicas	Y1: Parametros Volumetricos	Para Y1: Valores de Densidad (gr/cm3)	Formato 01 : Ensayo de Densidad	AASHTO T-209
2.-¿Cómo difiere la sensibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay?	2.-Determinar la diferencia de la sensibilidad a la humedad entre una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay.	2.-La sensibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar es similar a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial.		Y2: Sensibilidad a la Humedad	Para Y2: Valores de traccion indirecta (Kpa)	Formato 02 : Ensayo de Mezclas Asfálticas compactadas al daño inducido por humedad (TSR)	AASHTO T-305 AASHTO MP8-07 ASTMD-6390 ASTMD-1553
3.-¿Cómo difiere la estabilidad y el flujo de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay?	3.-Determinar la diferencia de la estabilidad y el flujo entre una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay	3.-La estabilidad y el flujo de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar es similar a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial.		Y3: Estabilidad y Flujo Marshall	Para Y3: Flujo (0.01pulg) Estabilidad(Kg)	Formato 03: Ensayo de Flujo y Estabilidad Marshall	MTC E-504
4.-¿Cómo difiere el escurrimiento de asfalto de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay?	4.-Analizar la diferencia en el escurrimiento de asfalto entre una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar, respecto a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial, utilizando agregados de la cantera de Caicay.	4.-El escurrimiento de asfalto de una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra natural de caña de azúcar es similar a una mezcla asfáltica S.M.A. con fibra de celulosa comercial.		Y4: Escurrimiento	Para Y4: Porcentaje de Escurrimiento (%)	Formato 04 : Ensayo de Escurrimiento	AASHTO T-283  MTC E-522