



Tabla 97

Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Natural malla #40.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15		ENSAYO DE LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111)	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.		
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Cantera:	Cunyac		
Ubicación:	Cusco		
Material:	Arena Natural		
Muestra:	Pasante malla #40		
DATOS DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara(gr)			
Peso de suelo seco + tara(gr)			
Peso de tara(gr)			
Peso de suelo seco(gr)			
Peso de suelo humedo(gr)			
Peso de agua(gr)			
Contenido de humedad			
Numero de golpes			
LL aproximado			
Límite Plástico	No Presenta		
Índice de Plasticidad	No Presenta		
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)	NP		
Requerimiento por norma: CE.010 Pav. Urbanos (%)	NP		
CUMPLE??	SI CUMPLE		



Tabla 98

Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Natural malla #200.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15		ENSAYO DE LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111)		
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.			
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020	
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo			
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Cunyac			
Ubicación:	Cusco			
Material:	Arena Natural			
Muestra:	Pasante malla #200			
DATOS DE LA MUESTRA				
DESCRIPCION	1	2	3	
Peso de suelo humedo + tara(gr)				
Peso de suelo seco + tara(gr)				
Peso de tara(gr)				
Peso de suelo seco(gr)				
Peso de suelo humedo(gr)				
Peso de agua(gr)				
Contenido de humedad				
Numero de golpes				
LL aproximado				
Límite Plástico	No Presenta			
Índice de Plasticidad	No Presenta			
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%) .	NP			
Requerimiento por norma: CE.010 Pav. Urbanos (%) .	NP			
CUMPLE??	SI CUMPLE			

b) Análisis de la prueba

Luego de realizar el ensayo, se pudo verificar que tanto la Arena Triturada como la Arena Natural, no presentan límite plástico ni índice de plasticidad, por lo cual si cumple con las especificaciones y requerimientos establecidos por la norma.



3.6.1.12. Equivalente de Arena de Arena Triturada y Arena Natural

c) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 99

Procesamiento de datos del Ensayo de Equivalente de Arena para Arena Triturada y Arena Natural.

INGEOMAT
INGENIERIA Y MATERIALES E.I.R.L.

CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

Urb. B Eden Lole C-3, San Sebastian - Cusco, Tel: 270342, Cel: 974279249, Movistar: 98990111, RPM: 491990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"

Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CUNYAC

Fecha: NOVIEMBRE, 2021

Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

CANTERA	CUNYAC
ALTITUD	3270 msnm

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO MTC E-114

MUESTRA ARENA NATURAL

Identificación Equipos Utilizados:

Tamiz 5 mm	
Agitador Mecánico	
Sifón	
Probeta Graduada	
Pisón	

MUESTRAS GEMELAS

ENSAYO 1		ENSAYO 2	
TIEMPO SEDIMENTACION min	20	TIEMPO SEDIMENTACION min	20
NIVEL ARCILLA mm	10.32	NIVEL ARCILLA mm	10.21
NIVEL ARENA mm	8.9	NIVEL ARENA mm	8.8

% de arena con respecto a la arcilla **86.24%** % de arena con respecto a la arcilla **86.19%**

% PROMEDIO DE ARENA CON RESPECTO A LA ARCILLA	87.00%
% TOLERANCIA	0.05%

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 70.00% min

CUMPLE???? **SI**

MUESTRA ARENA TRITURADA

Identificación Equipos Utilizados:

Tamiz 5 mm	
Agitador Mecánico	
Sifón	
Probeta Graduada	
Pisón	

MUESTRAS GEMELAS

ENSAYO 1		ENSAYO 2	
TIEMPO SEDIMENTACION min	20	TIEMPO SEDIMENTACION min	20
NIVEL ARCILLA mm	10.11	NIVEL ARCILLA mm	10.08
NIVEL ARENA mm	8.6	NIVEL ARENA mm	8.6

% de arena con respecto a la arcilla **85.06%** % de arena con respecto a la arcilla **85.32%**

% PROMEDIO DE ARENA CON RESPECTO A LA ARCILLA	86.00%
% TOLERANCIA	0.25%

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 70.00% min

CUMPLE???? **SI**



d) Análisis de la prueba

- **Arena Natural**

Los resultados de éste ensayo, indican que la arena natural tiene un porcentaje promedio de equivalente de arena de 86.22%, lo cual indica que sí cumple con los requerimientos especificados para agregado fino del manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, el cual especifica que para el ensayo de equivalente de arena, se requiere para zonas con altitud mayor a 3000 m.s.n.m un 70% como mínimo de equivalente de arena, por lo cual el material es apto para la fabricación de mezclas asfálticas.

- **Arena Triturada**

Los resultados de éste ensayo, indican que la arena triturada tiene un porcentaje promedio de equivalente de arena de 85.19%, lo cual indica que sí cumple con los requerimientos especificados para agregado fino del manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, el cual especifica que para el ensayo de equivalente de arena, se requiere para zonas con altitud mayor a 3000 m.s.n.m un 70% como mínimo de equivalente de arena, por lo cual el material es apto para la fabricación de mezclas asfálticas.



3.6.2. Análisis de datos de las mezclas asfálticas.

3.6.2.1. Elaboración de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 (MTC E504)

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba.

Tabla 100

Dosificación de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 08		BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INENIERÍA CIVIL 							
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.						
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo					FECHA:	
Laboratorio:	INGEMAT						
DATOS DE LAS BRIQUETAS							
PESO APROX. POR BRIQUETA	1300.00 gr						
% DE ASFALTO	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	
CANTIDAD DE BRIQUETAS	4.00 und	4.00 und	4.00 und	4.00 und	4.00 und	4.00 und	4.00 und
PESO TOTAL DE AGREGADO	1248.00 gr	1241.50 gr	1235.00 gr	1228.50 gr	1222.00 gr	1215.50 gr	
TAMIZ	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)
1/2"	5.56	69.42 gr	69.05 gr	68.69 gr	68.33 gr	67.97 gr	67.61 gr
3/8"	18.65	232.73 gr	231.52 gr	230.31 gr	229.10 gr	227.89 gr	226.67 gr
#4	11.56	144.30 gr	143.55 gr	142.80 gr	142.05 gr	141.29 gr	140.54 gr
#10	17.77	221.78 gr	220.63 gr	219.47 gr	218.32 gr	217.16 gr	216.01 gr
#40	20.92	261.07 gr	259.71 gr	258.35 gr	256.99 gr	255.63 gr	254.27 gr
#80	9.60	119.82 gr	119.19 gr	118.57 gr	117.94 gr	117.32 gr	116.70 gr
#200	11.37	141.85 gr	141.12 gr	140.38 gr	139.64 gr	138.90 gr	138.16 gr
% FILLER (CEMENTO PORTLAND)	4.57	57.03 gr	56.73 gr	56.43 gr	56.14 gr	55.84 gr	55.54 gr
PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO		52.00 gr	58.50 gr	65.00 gr	71.50 gr	78.00 gr	84.50 gr
PESO TOTAL DE BRIQUETA		1300.00 gr	1300.00 gr	1300.00 gr	1300.00 gr	1300.00 gr	1300.00 gr

- Los pesos de cemento asfáltico para cada % se calculan de la siguiente manera:

$$Peso\ de\ Cemento\ Asfáltico = \%asfalto * peso\ por\ briqueeta$$

- El peso total del agregado para cada % se calcula de la siguiente manera:

$$P_{total\ del\ agregado} = P.\ por\ briqueeta - P.\ de\ cemento\ asfáltico.$$

- Los pesos retenidos en cada malla se calculan de la siguiente manera:

$$P.\ Retenido\ por\ malla = \frac{\%Retenido * Peso\ total\ del\ agregado_{para\ c/\% \ de\ asfalto}}{100}$$



b) Análisis de la prueba.

Los resultados de la dosificación nos dan los valores exactos en gramos, de los pesos retenidos de los agregados y pesos del contenido asfáltico a tomar en consideración para la elaboración de las briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

3.6.2.2. Elaboración de briquetas de mezcla asfáltica modificada con Nanosílice (MTC E504)

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba.

Tabla 101

Dosificación de briquetas de mezcla asfáltica modificada con Nanosílice.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 09		BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28 MODIFICADAS CON NANOSÍLICE					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".						
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo				FECHA:		
Laboratorio:	INGEMAT						
DATOS DE LAS BRIQUETAS							
PESO APROX. POR BRIQUETA		1300.00 gr					
% OPTIMO DE ASFALTO		5.40%					
% DE NANOSÍLICE		0.50%	1.50%	3.00%	4.50%	6.00%	7.50%
CANTIDAD DE BRIQUETAS		4	4	4	4	4	4
PESO TOTAL DE AGREGADO		1229.80	1229.80	1229.80	1229.80	1229.80	1229.80
TAMIZ	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)
1/2"	5.56	68.40 gr	68.40 gr	68.40 gr	68.40 gr	68.40 gr	68.40 gr
3/8"	18.65	229.34 gr	229.34 gr	229.34 gr	229.34 gr	229.34 gr	229.34 gr
#4	11.56	142.20 gr	142.20 gr	142.20 gr	142.20 gr	142.20 gr	142.20 gr
#10	17.77	218.55 gr	218.55 gr	218.55 gr	218.55 gr	218.55 gr	218.55 gr
#40	20.92	257.26 gr	257.26 gr	257.26 gr	257.26 gr	257.26 gr	257.26 gr
#80	9.60	118.07 gr	118.07 gr	118.07 gr	118.07 gr	118.07 gr	118.07 gr
#200	11.37	139.79 gr	139.79 gr	139.79 gr	139.79 gr	139.79 gr	139.79 gr
% FILLER (CEMENTO PORTLAND)	4.57	56.19 gr	56.19 gr	56.19 gr	56.19 gr	56.19 gr	56.19 gr
PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO		70.20 gr	70.20 gr	70.20 gr	70.20 gr	70.20 gr	70.20 gr
PESO DE NANOSÍLICE		0.35 gr	1.05 gr	2.11 gr	3.16 gr	4.21 gr	5.27 gr
PESO TOTAL DE BRIQUETA		1300.35 gr	1301.05 gr	1302.11 gr	1303.16 gr	1304.21 gr	1305.27 gr

- Los pesos de cemento asfáltico para cada % se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Peso de Cemento Asfáltico} = \% \text{ óptimo de asfalto} * \text{peso por briketa}$$

- Los pesos de Nanosílice para cada % se calculan de la siguiente manera;

$$\text{Peso de Nanosílice} = \% \text{ Nanosílice} * \text{peso de cemento asfáltico}$$



- El peso total del agregado para cada % se calcula de la siguiente manera:

$$P. total del agregado = P. por briqueta - P. de cemento asfáltico.$$

- Los pesos retenidos en cada malla se calculan de la siguiente manera:

$$P. Retenido por malla = \frac{\%Retenido * Peso total del agregado_{para c/\% de asfalto}}{100}$$

b) Análisis de la prueba.

Los resultados de la dosificación nos dan los valores exactos en gramos, de los pesos retenidos de los agregados, pesos del contenido asfáltico y pesos del Nanosílice a tomar en consideración para la elaboración de las briquetas de mezcla asfáltica modificada con Nanosílice.

3.6.2.3. Peso Específico de Briquetas de Mezcla Asfáltica BETUTEK PG 70-28 y Mezcla Asfáltica modificada con Nanosílice (MTC E514)

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba.

Tabla 102

Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28 de B1 a B12.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEK PG 70-28

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm ³		Gravedad Específica Aparente		2.73 gr/cm ³		Gravedad Específica Bulk		2.57 gr/cm ³		Promedio Gsa y Gsb		2.65 gr/cm ³		
Densidad de cemento	2.80 gr/cm ³		Combinación de Agregados												
		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3					
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12		
N° de Probeta		4.00%				4.50%				5.00%					
% de Asfalto		4.00%				4.50%				5.00%					
Altura Prom. (mm)		70.45	70.57	70.43	69.82	68.49	68.30	72.75	67.99	67.98	67.92	68.09	68.11		
% Filler		4.39%				4.36%				4.34%					
% Agregado Combinado		91.61%				91.14%				90.66%					
Peso Seco en Aire (g)		1287	1292	1293	1285	1287	1289	1286	1288	1291	1287	1291	1294		
Peso Sumergido (g)		722	727	728	731	734	736	730	741	743	739	740	741		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1290	1294	1297	1290	1289	1290	1292	1290	1293	1289	1293	1296		
Gmb (Gravedad Específica Bulk)		2.27	2.28	2.27	2.30	2.32	2.33	2.29	2.35	2.35	2.34	2.33	2.33		
Densidad (g/m ³)		2.26	2.27	2.27	2.29	2.31	2.32	2.28	2.34	2.34	2.33	2.33	2.32		
Densidad Prom. (g/m ³)		2.27				2.31				2.33					
Fluidez (0.25 mm)															
Fluidez Media (0.25 mm)															
Dial (Divisiones)															
Factor de Corrección por volumen															
Estabilidad (KN)															
Estabilidad Corregida (KN)															
Estabilidad Media (KN) corregida															
Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm)															
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)															
Promedio VTM															
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)															
Promedio VAM															
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)															
Promedio VFA															



Tabla 103

Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28 de B13 a B24.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEK PG 70-28"
Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3	Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb	
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3					2.73 gr/cm3				2.57 gr/cm3				2.65 gr/cm3	
		Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6					
Nº de Probeta		B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24		
% de Asfalto		5.50%				6.00%				6.50%					
Altura Prom. (mm)		68.04	67.55	68.17	68.07	66.94	67.00	67.21	67.14	69.53	68.14	67.95	67.81		
% Filler		4.32%				4.30%				4.27%					
% Agregado Combinado		90.18%				89.71%				89.23%					
Peso Seco en Aire (g)		1291	1296	1291	1292	1286	1292	1297	1297	1291	1294	1294	1293		
Peso Sumergido (g)		744	750	742	747	742	747	749	751	746	745	746	744		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1291	1297	1292	1293	1286	1293	1298	1297	1291	1294	1294	1294		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.36	2.37	2.35	2.37	2.36	2.37	2.36	2.38	2.37	2.36	2.36	2.35		
Densidad (g/m3)		2.35	2.36	2.34	2.36	2.36	2.36	2.36	2.37	2.36	2.35	2.35	2.34		
Densidad Prom. (g/m3)		2.35				2.36				2.35					
Fluidez (0.25 mm)															
Fluidez Media (0.25 mm)															
Dial (Divisiones)															
Factor de Correccion por volumen															
Estabilidad (KN)															
Estabilidad Corregida (KN)															
Estabilidad Media (KN) corregida															
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)															
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)															
Promedio VTM															
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)															
Promedio VAM															
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)															
Promedio VFA															

Tabla 104

Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica modificadas con Nanosilice de BN1 a BN12.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEK PG 70-28"
Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3	Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb	
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3					2.73 gr/cm3				2.57 gr/cm3				2.65 gr/cm3	
Densidad del nanosilice	1.03 gr/cm3														
		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3					
Nº de Probeta		BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6	BN7	BN8	BN9	BN10	BN11	BN12		
% de Asfalto (óptimo)		5.40%				5.40%				5.40%					
% NANOSILICE (respecto al asfalto)		0.50%				1.50%				3.00%					
Altura Prom. (mm)		66.76	66.84	67.28	66.71	66.77	66.59	66.77	67.11	66.81	67.31	67.47	67.08		
Diametro (mm)		101.43	101.58	101.56	101.60	101.53	101.56	101.40	101.62	101.57	101.41	101.61	101.62		
Volumen (mm3)		539.43	541.64	544.94	540.80	540.53	539.39	539.20	544.20	541.29	543.66	547.11	544.05		
% Filler		4.32%				4.32%				4.32%					
% Agregado Combinado		90.25%				90.20%				90.12%					
Peso Seco en Aire (g)		1287	1286	1287	1290	1286	1287	1290	1291	1286	1291	1287	1292		
Peso Sumergido (g)		742	745	741	748	742	748	752	749	746	750	743	747		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1289	1287	1288	1290	1287	1287	1290	1292	1285	1291	1288	1292		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.35	2.37	2.35	2.38	2.36	2.39	2.40	2.38	2.39	2.39	2.36	2.37		
Densidad (g/m3)		2.35	2.37	2.35	2.37	2.35	2.38	2.39	2.37	2.38	2.38	2.35	2.36		
Densidad Prom. (g/m3)		2.36				2.37				2.37					
Fluidez (0.25 mm)															
Fluidez Media (0.25 mm)															
Dial (Divisiones)															
Factor de Correccion por volumen															
Estabilidad (KN)															
Estabilidad Corregida (KN)															
Estabilidad Media (KN) corregida															
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)															
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)															
Promedio VTM															
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)															
Promedio VAM															
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)															
Promedio VFA															



Tabla 105

Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica modificadas con Nanosílice de BN13 a BN24.



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3 - San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RFM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEK PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

		Diseño Marshall - MAC												Fecha: 20/11/2021	
Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3														
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3														
Densidad del nanosilíce	1.03 gr/cm3														
		Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb	
						2.73 gr/cm3				2.57 gr/cm3				2.65 gr/cm3	
		Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6					
Nº de Probeta		BN13	BN14	BN15	BN16	BN17	BN18	BN19	BN20	BN21	BN22	BN23	BN24		
% de Asfalto (óptimo)		5.40%				5.40%				5.40%					
% NANOSILICE (respecto al asfalto)		4.50%				6.00%				7.50%					
Altura Prom. (mm)		66.73	66.67	67.43	68.20	67.60	66.94	66.74	67.94	67.45	67.18	67.01	67.81		
Diametro (mm)		101.50	101.51	101.66	101.44	101.66	101.35	101.59	101.50	101.59	101.43	101.52	101.54		
Volumen (mm3)		539.94	539.52	547.27	551.14	548.65	539.98	540.94	549.73	546.71	542.73	542.42	549.04		
% Filler		4.31%				4.31%				4.31%					
% Agregado Combinado		90.05%				89.97%				89.89%					
Peso Seco en Aire (g)		1292	1285	1287	1288	1293	1289	1290	1286	1289	1290	1291	1290		
Peso Sumergido (g)		750	745	742	737	740	747	747	736	739	735	738	734		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1292	1285	1288	1290	1294	1289	1290	1287	1290	1291	1291	1290		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.38	2.38	2.36	2.33	2.33	2.38	2.38	2.33	2.34	2.32	2.33	2.32		
Densidad (g/m3)		2.38	2.37	2.35	2.32	2.33	2.37	2.37	2.33	2.33	2.31	2.33	2.31		
Densidad Prom. (g/m3)		2.36				2.35				2.32					
Fluidez (0.25 mm)															
Fluidez Media (0.25 mm)															
Dial (Divisiones)															
Factor de Correccion por volumen															
Estabilidad (KN)															
Estabilidad Corregida (KN)															
Estabilidad Media (KN) corregida															
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)															
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)															
Promedio VTM															
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)															
Promedio VAM															
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)															
Promedio VFA															

Tabla 106

Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas con óptimo porcentaje de Asfalto y Nanosílice.



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3 - San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RFM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEK PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

		Diseño Marshall - MAC												Fecha: 20/11/2021	
Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3														
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3														
Densidad del nanosilíce	1.03 gr/cm3														
		Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb	
						2.72668 gr/cm3				2.57266 gr/cm3				2.64967 gr/cm3	
		Muestras con % Optimo de Asfalto				Muestras con % Optimo de Nanosilíce									
Nº de Probeta		B1	B2	B3	B4	BN1	BN2	BN3	BN4						
% de Asfalto (óptimo)		5.40%				5.40%									
% NANOSILICE (respecto al asfalto)						6.36%									
% NANOSILICE (respecto a la briqueta)						0.34%									
% TOTAL DE LIGANTE						5.74%									
Altura Prom. (mm)		65.92	66.84	69.15	67.23	67.18	68.26	67.13	68.28						
Diametro (mm)		101.44	101.23	101.66	101.51	101.63	101.66	101.61	101.51						
Volumen (mm3)		532.75	537.86	561.23	544.09	544.94	554.00	544.26	552.49						
% Filler		4.32%				4.31%									
% Agregado Combinado		90.28%				89.95%									
Peso Seco en Aire (g)		1287.00	1291.00	1286.00	1295.00	1291.00	1288.00	1295.00	1296.00						
Peso Sumergido (g)		747.00	746.00	727.00	748.00	745.00	734.00	750.00	754.00						
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1288.00	1291.00	1288.00	1296.00	1292.00	1290.00	1295.00	1297.00						
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.38	2.37	2.29	2.36	2.36	2.32	2.38	2.39						
Densidad (g/m3)		2.37	2.36	2.29	2.36	2.35	2.31	2.37	2.38						
Densidad Prom. (g/m3)		2.34				2.35									



- **Fila Gmb:** Se anotan los resultados de Gravedad específica Bulk.

$$Gmb = \frac{Ps}{P_{sss} - P_{sum}}$$

Donde:

Gmb: Gravedad Específica Bulk

Ps: Peso seco en el aire de las briquetas.

P_{sss}: Peso saturado superficialmente seco de las briquetas.

Psum: Peso sumergido de las briquetas.

- **Fila Densidad:** Se anotan los resultados de la Densidad de los especímenes de Mezcla Asfáltica.

$$Densidad = Gmb * \delta_w$$

Donde:

Gmb: Gravedad Específica Bulk.

δ_w : Densidad del agua a 25°

b) Análisis de la prueba.

- **Briquetas BETUTEC PG 70-28.**

Los resultados de Gravedad Especifica Bulk y Densidad sirven para elaborar los gráficos para calcular el óptimo contenido de asfalto de las briquetas BETUTEC PG 70-28 siguiendo los requerimientos indicados en la norma EG – 2013.

- **Briquetas Modificadas con Nanosílice.**

Los resultados de Gravedad Especifica Bulk y Densidad sirven para elaborar los gráficos para calcular el óptimo contenido de asfalto de las briquetas modificadas con Nanosílice, siguiendo los requerimientos indicados en la norma EG – 2013.

- **Briquetas con contenido óptimo de Asfalto y Nanosílice.**

Los resultados de Gravedad Especifica Bulk y Densidad de las briquetas elaboradas con el contenido óptimo de asfalto y contenido óptimo de nanosílice respecto al peso de del ligante, nos muestran que cumplen con la norma EG – 2013.

3.6.2.4. Análisis de Resistencia de mezclas bituminosas BETUTEC PG 70-28 y de mezclas bituminosas modificadas con Nanosílice empleando el aparato Marshall (MTC E 504).



a) **Procesamiento o Cálculos de la prueba.**

Tabla 107

Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B1 a B12.



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco. Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28*
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3	Combinación de Agregados											
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3	Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb			
		2.73 gr/cm3											
		Muestra 1			Muestra 2				Muestra 3				
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Nº de Probeta		4.00%				4.50%				5.00%			
% de Asfalto													
Altura Prom. (mm)		70.45	70.57	70.43	69.82	68.49	68.30	72.75	67.99	67.98	67.92	68.09	68.11
% Filler		4.39%				4.36%				4.34%			
% Agregado Combinado		91.61%				91.14%				90.66%			
Peso Seco en Aire (g)		1287	1292	1293	1285	1287	1289	1286	1288	1291	1287	1291	1294
Peso Sumergido (g)		722	727	728	731	734	736	730	741	743	739	740	741
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1290	1294	1297	1290	1289	1290	1292	1290	1293	1289	1293	1296
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.27	2.28	2.27	2.30	2.32	2.33	2.29	2.35	2.35	2.34	2.33	2.33
Densidad (g/m3)		2.26	2.27	2.27	2.29	2.31	2.32	2.28	2.34	2.34	2.33	2.33	2.32
Densidad Prom. (g/m3)		2.27				2.31				2.33			
Fluidez (0.25 mm)		4.80	7.53	7.40	4.73	6.50	5.85	6.43	6.00	5.93	7.03	5.25	7.80
Fluidez Media (0.25 mm)		6.11											
Dial (Divisiones)		1139.30	1064.10	1445.00	1466.60	1365.30	1417.00	1279.00	1524.00	1137.10	1458.90	1162.50	1399.00
Factor de Correccion por volumen		0.86	0.86	0.86	0.86	0.89	0.89	0.81	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
Estabilidad (KN)		25.09	23.47	31.59	32.05	29.90	31.00	28.07	33.25	25.04	31.88	25.58	30.62
Estabilidad Corregida (KN)		21.57	20.19	27.17	27.56	26.61	27.59	22.74	29.60	22.28	28.38	22.77	27.25
Estabilidad Media (KN) corregida		24.12				26.63				25.17			
Relación Estabilidad/Flujo		4.02				4.38				3.95			
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)													
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)													
Promedio VTM													
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)													
Promedio VAM													
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)													
Promedio VFA													

Tabla 108

Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B13 a B24.



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco. Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28*
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3	Combinación de Agregados											
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3	Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb			
		2.73 gr/cm3											
		Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6			
		B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24
Nº de Probeta		5.50%				6.00%				6.50%			
% de Asfalto													
Altura Prom. (mm)		68.04	67.55	68.17	68.07	66.94	67.00	67.21	67.14	69.53	68.14	67.95	67.81
% Filler		4.32%				4.30%				4.27%			
% Agregado Combinado		90.18%				89.71%				89.23%			
Peso Seco en Aire (g)		1291	1296	1291	1292	1286	1292	1297	1297	1291	1294	1294	1293
Peso Sumergido (g)		744	750	742	747	742	747	749	751	746	745	746	744
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1291	1297	1292	1293	1286	1293	1298	1297	1291	1294	1294	1294
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.36	2.37	2.35	2.37	2.36	2.37	2.36	2.38	2.37	2.36	2.36	2.35
Densidad (g/m3)		2.35	2.36	2.34	2.36	2.36	2.36	2.36	2.37	2.36	2.35	2.35	2.34
Densidad Prom. (g/m3)		2.35				2.36				2.35			
Fluidez (0.25 mm)		10.55	7.00	10.58	6.53	11.20	10.68	10.23	10.88	13.40	11.50	13.60	15.02
Fluidez Media (0.25 mm)		8.66											
Dial (Divisiones)		1181.90	1330.70	1115.40	1455.20	1196.80	1084.20	1111.40	998.00	847.20	899.00	854.20	1004.50
Factor de Correccion por volumen		0.89	0.89	0.89	0.89	0.93	0.93	0.93	0.93	0.86	0.89	0.89	0.89
Estabilidad (KN)		26.00	29.17	24.57	31.80	26.32	23.90	24.49	22.05	18.79	19.91	18.94	22.19
Estabilidad Corregida (KN)		23.14	25.96	21.87	28.31	24.47	22.23	22.77	20.51	16.16	17.72	16.86	19.75
Estabilidad Media (KN) corregida		24.82				22.50				17.62			
Relación Estabilidad/Flujo		2.92				2.14				1.34			
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)													
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)													
Promedio VTM													
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)													
Promedio VAM													
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)													
Promedio VFA													



Tabla 109

Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas modificadas con Nanosíllice de BNI a BN12.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

		Diseño Marshall - MAC												Fecha: 20/11/2021	
		Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente 2.73 gr/cm3				Gravedad Especifica Bulk 2.57 gr/cm3				Promedio Gsa y Gsb 2.65 gr/cm3	
		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3					
		BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6	BN7	BN8	BN9	BN10	BN11	BN12		
Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3														
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3														
Densidad del nanosíllice	1.03 gr/cm3														
Nº de Probeta		5.40%				5.40%				5.40%					
% de Asfalto (óptimo)		0.50%				1.50%				3.00%					
% NANOSÍLICE (respecto al asfalto)															
Altura Prom. (mm)		66.76	66.84	67.28	66.71	66.77	66.59	66.77	67.11	66.81	67.31	67.47	67.08		
Diametro (mm)		101.43	101.58	101.56	101.60	101.53	101.56	101.40	101.62	101.57	101.41	101.61	101.62		
Volumen (mm3)		539.43	541.64	544.94	540.80	540.53	539.39	539.20	544.20	541.29	543.66	547.11	544.05		
% Filler		4.32%				4.32%				4.32%					
% Agregado Combinado		90.25%				90.20%				90.12%					
Peso Seco en Aire (g)		1287	1286	1287	1290	1286	1287	1290	1291	1286	1291	1287	1292		
Peso Sumergido (g)		742	745	741	748	742	748	752	749	746	750	743	747		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1289	1287	1288	1290	1287	1287	1290	1292	1285	1291	1288	1292		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.35	2.37	2.35	2.38	2.36	2.39	2.40	2.38	2.39	2.39	2.36	2.37		
Densidad (g/m3)		2.35	2.37	2.35	2.37	2.35	2.38	2.39	2.37	2.38	2.38	2.35	2.36		
Densidad Prom. (g/m3)		2.36				2.37				2.37					
Fluidez (0.25 mm)		9.75	4.30	14.18	8.50	15.48	7.95	12.10	12.28	14.80	14.33	18.00	18.85		
Fluidez Media (0.25 mm)		9.18				11.95				16.49					
Dial (Divisiones)		1162.10	1296.70	1570.70	1588.10	1738.80	1491.70	1607.50	1850.20	1925.00	1685.90	1576.20	1626.50		
Factor de Correccion por volumen		0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.89	0.93		
Estabilidad (KN)		25.57	28.45	34.24	34.60	37.75	32.57	35.01	40.07	41.62	36.65	34.35	35.41		
Estabilidad Corregida (KN)		23.78	26.45	31.84	32.18	35.11	30.29	32.56	37.27	38.71	34.08	30.57	32.93		
Estabilidad Media (KN) corregida		28.56				33.81				34.07					
Relación Estabilidad/Flujo		3.17				2.88				2.11					
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)															
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)															
Promedio VTM															
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)															
Promedio VAM															
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)															
Promedio VFA															

Tabla 110

Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas modificadas con Nanosíllice de BN13 a BN24.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

		Diseño Marshall - MAC												Fecha: 20/11/2021	
		Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente 2.73 gr/cm3				Gravedad Especifica Bulk 2.57 gr/cm3				Promedio Gsa y Gsb 2.65 gr/cm3	
		Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6					
		BN13	BN14	BN15	BN16	BN17	BN18	BN19	BN20	BN21	BN22	BN23	BN24		
Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3														
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3														
Densidad del nanosíllice	1.03 gr/cm3														
Nº de Probeta		5.40%				5.40%				5.40%					
% de Asfalto (óptimo)		4.50%				6.00%				7.50%					
% NANOSÍLICE (respecto al asfalto)															
Altura Prom. (mm)		66.73	66.67	67.43	68.20	67.60	66.94	66.74	67.94	67.45	67.18	67.01	67.81		
Diametro (mm)		101.50	101.51	101.66	101.44	101.66	101.35	101.59	101.50	101.59	101.43	101.52	101.54		
Volumen (mm3)		539.94	539.52	547.27	551.14	548.65	539.98	540.94	549.73	546.71	542.73	542.42	549.04		
% Filler		4.31%				4.31%				4.31%					
% Agregado Combinado		90.05%				89.97%				89.89%					
Peso Seco en Aire (g)		1292	1285	1287	1288	1293	1289	1290	1286	1289	1290	1291	1290		
Peso Sumergido (g)		750	745	742	737	740	747	747	736	739	735	738	734		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1292	1285	1288	1290	1294	1289	1290	1287	1290	1291	1291	1290		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.38	2.38	2.36	2.33	2.33	2.36	2.38	2.33	2.34	2.32	2.33	2.32		
Densidad (g/m3)		2.38	2.37	2.35	2.32	2.33	2.37	2.37	2.33	2.33	2.31	2.33	2.31		
Densidad Prom. (g/m3)		2.36				2.35				2.32					
Fluidez (0.25 mm)		20.00	19.50	11.23	12.50	12.75	20.50	8.75	15.38	8.00	7.45	13.85	10.00		
Fluidez Media (0.25 mm)		15.81				14.34				9.83					
Dial (Divisiones)		1731.60	1976.90	1566.20	1965.00	1976.20	1730.80	1880.10	1986.90	1925.00	1915.00	1876.00	1685.00		
Factor de Correccion por volumen		0.93	0.93	0.89	0.89	0.89	0.93	0.93	0.89	0.89	0.93	0.93	0.89		
Estabilidad (KN)		37.60	42.69	34.14	42.45	42.68	37.59	40.69	42.90	41.62	41.41	40.61	36.63		
Estabilidad Corregida (KN)		34.97	39.70	30.39	37.78	37.98	34.96	37.84	38.18	37.04	38.51	37.76	32.60		
Estabilidad Media (KN) corregida		35.71				37.24				36.48					
Relación Estabilidad/Flujo		2.30				2.65				3.79					
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)															
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)															
Promedio VTM															
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)															
Promedio VAM															
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)															
Promedio VFA															



Tabla 111

Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas con óptimo porcentaje de Asfalto y Nanosilice.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28* Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Densidad de asfalto		1.02 gr/cm3						
Densidad de cemento		2.80 gr/cm3						
Densidad del nanosilice		1.03 gr/cm3						
Diseño Marshall - MAC								
Fecha: 20/11/2021								
Combinación de Agregados		Gravedad Especifica Aparente	Gravedad Especifica Bulk					
		2.72668 gr/cm3	2.57266 gr/cm3					
		Promedio Gsa y Gsb						
		2.64967 gr/cm3						
Nº de Probeta	Muestras con % Optimo de Asfalto				Muestras con % Optimo de Nanosilice			
	B1	B2	B3	B4	BN1	BN2	BN3	BN4
% de Asfalto (óptimo)	5.40%				5.40%			
% NANOSILICE (respecto al asfalto)	-				6.36%			
% NANOSILICE (respecto a la briqueta)	-				0.34%			
% TOTAL DE LIGANTE	-				5.74%			
Altura Prom. (mm)	65.92	66.84	69.15	67.23	67.18	68.26	67.13	68.28
Diametro (mm)	101.44	101.23	101.66	101.51	101.63	101.66	101.61	101.51
Volumen (mm3)	532.75	537.86	561.23	544.09	544.94	554.00	544.26	552.49
% Filler	4.32%				4.31%			
% Agregado Combinado	90.28%				89.95%			
Peso Seco en Aire (g)	1287.00	1291.00	1288.00	1295.00	1291.00	1288.00	1295.00	1296.00
Peso Sumergido (g)	747.00	746.00	727.00	748.00	745.00	734.00	750.00	754.00
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)	1288.00	1291.00	1288.00	1296.00	1292.00	1290.00	1295.00	1297.00
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)	2.38	2.37	2.29	2.36	2.36	2.32	2.38	2.39
Densidad (g/m3)	2.37	2.36	2.29	2.36	2.35	2.31	2.37	2.38
Densidad Prom. (g/m3)	2.34				2.35			
Fluidez (0.25 mm)	9.63	7.53	8.85	7.35	9.80	8.43	10.25	8.50
Fluidez Media (0.25 mm)	8.34				9.24			
Dial (Divisiones)	1490.90	1251.50	1367.70	1213.80	1935.10	1813.30	1735.50	1800.50
Factor de Coreccion por volumen	0.96	0.93	0.86	0.93	0.93	0.89	0.93	0.89
Estabilidad (KN)	32.56	27.48	29.95	26.68	41.83	39.31	37.69	39.04
Estabilidad Corregida (KN)	31.26	25.56	25.76	24.81	38.90	34.98	35.05	34.74
Estabilidad Media (KN) corregida	26.85				35.92			

- **Cálculo de Estabilidad:** Se calcula la carga máxima a la que llega cada briqueta transformando las divisiones del dial de la siguiente manera:

$$Divisiones = A + B * Estabilidad_{LBF} + C * Estabilidad_{LBF}^2$$

Coefficientes según certificado de calibración de la máquina Marshall.

A: 0.0509929

B: 0.1962114

C: 0.000001

$$Estabilidad \text{ sin corregir}_{KN} = Estabilidad_{LBF} * 0.004444882$$

- **Corrección de la Estabilidad:** Se multiplican los valores de estabilidad calculados por el factor de corrección de estabilidad dado por la norma MTC 2016.

$$Estabilidad \text{ Corregida} = Estabilidad \text{ sin corregir}_{KN} * F.c.$$

F.c.: Factor de corrección de estabilidad.



- **Cálculo del Flujo:** Se toman en cuenta los valores de las lecturas del dial que mide la deformación de la briqueta en el ensayo de resistencia Marshall y se calcula de la siguiente manera:

$$Flujo_{mm} = Divisiones_{flujo} * 0.25$$

b) Análisis de la prueba.

- **Briquetas BETUTEC PG 70-28.**

Los resultados de Estabilidad y Flujo sirven para elaborar los gráficos para calcular el óptimo contenido de asfalto de las briquetas BETUTEC PG 70-28 siguiendo los requerimientos indicados en la norma EG – 2013.

- **Briquetas Modificadas con Nanosílice.**

Los resultados de Estabilidad y Flujo sirven para elaborar los gráficos para calcular el óptimo contenido de Nanosílice de las briquetas modificadas siguiendo los requerimientos indicados en la norma EG – 2013.

- **Briquetas con contenido óptimo de Asfalto y Nanosílice.**

Los resultados de Estabilidad y Flujo de las briquetas elaboradas con el contenido óptimo de asfalto y contenido óptimo de nanosílice respecto al peso de del ligante, nos muestran que cumplen con la norma EG – 2013. Y nos permiten realizar el análisis comparativo de las características entre ambas mezclas asfálticas.



3.6.2.5. Parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba.

Tabla 112

Procesamiento de datos de Parámetros Volumétricos de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B1 a B12.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28* Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3				Gravedad Especifica Aparente		Gravedad Especifica Bulk		Promedio Gsa y Gsb					
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3		Combinacion de Agregados		2.73 gr/cm3		2.57 gr/cm3		2.65 gr/cm3					
			Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
			B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Nº de Probeta	4.00%													
% de Asfalto	4.00%													
Altura Prom. (mm)	70.45	70.57	70.43	69.82	68.49	68.30	72.75	67.99	67.98	67.92	68.09	68.11		
% Filler	4.39%													
% Agregado Combinado	91.61%													
Peso Seco en Aire (g)	1287	1292	1293	1285	1287	1289	1286	1288	1291	1287	1291	1294		
Peso Sumergido (g)	722	727	728	731	734	736	730	741	743	739	740	741		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)	1290	1294	1297	1290	1289	1290	1292	1290	1293	1289	1293	1296		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)	2.27	2.28	2.27	2.30	2.32	2.33	2.29	2.35	2.35	2.34	2.33	2.33		
Densidad (g/m3)	2.26	2.27	2.27	2.29	2.31	2.32	2.28	2.34	2.34	2.33	2.33	2.32		
Densidad Prom. (g/m3)	2.27													
Fluidez (0.25 mm)	4.80	7.53	7.40	4.73	6.50	5.85	6.43	6.00	5.93	7.03	5.25	7.80		
Fluidez Media (0.25 mm)	6.11													
Dial (Divisiones)	1139.30	1064.10	1445.00	1466.60	1365.30	1417.00	1279.00	1524.00	1137.10	1458.90	1162.50	1399.00		
Factor de Correccion por volumen	0.86	0.86	0.86	0.86	0.89	0.89	0.81	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89		
Estabilidad (KN)	25.09	23.47	31.59	32.05	29.90	31.00	28.07	33.25	25.04	31.88	25.58	30.62		
Estabilidad Corregida (KN)	21.57	20.19	27.17	27.56	26.61	27.59	22.74	29.60	22.28	28.38	22.77	27.25		
Estabilidad Media (KN) corregida	24.12													
Relación Estabilidad/Flujo	4.02													
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)	2.50													
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)	9.22	8.71	8.96	7.90	6.40	6.08	7.63	5.30	4.54	4.84	5.06	5.18		
Promedio VTM	8.70													
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)	15.45	14.97	15.20	14.22	13.92	13.63	15.06	12.91	13.32	13.59	13.79	13.90		
Promedio VAM	14.96													
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)	40.31	41.83	41.07	44.42	54.05	55.39	49.31	58.96	65.91	64.40	63.31	62.73		
Promedio VFA	41.91													

Tabla 113

Procesamiento de datos de Parámetros Volumétricos de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B13 a B24.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28* Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3				Gravedad Especifica Aparente		Gravedad Especifica Bulk		Promedio Gsa y Gsb					
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3		Combinacion de Agregados		2.73 gr/cm3		2.57 gr/cm3		2.65 gr/cm3					
			Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6			
			B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24
Nº de Probeta	5.50%													
% de Asfalto	5.50%													
Altura Prom. (mm)	68.04	67.55	68.17	68.07	66.94	67.00	67.21	67.14	69.53	68.14	67.95	67.81		
% Filler	4.32%													
% Agregado Combinado	90.18%													
Peso Seco en Aire (g)	1291	1296	1291	1292	1286	1292	1297	1297	1291	1294	1294	1293		
Peso Sumergido (g)	744	750	742	747	742	747	749	751	746	745	746	744		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)	1291	1297	1292	1293	1286	1293	1298	1297	1291	1294	1294	1294		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)	2.36	2.37	2.35	2.37	2.36	2.37	2.36	2.38	2.37	2.36	2.36	2.35		
Densidad (g/m3)	2.35	2.36	2.34	2.36	2.36	2.36	2.36	2.37	2.36	2.35	2.35	2.34		
Densidad Prom. (g/m3)	2.35													
Fluidez (0.25 mm)	10.55	7.00	10.58	6.53	11.20	10.68	10.23	10.88	13.40	11.50	13.60	15.02		
Fluidez Media (0.25 mm)	8.66													
Dial (Divisiones)	1181.90	1330.70	1115.40	1455.20	1196.80	1084.20	1111.40	998.00	847.20	899.00	854.20	1004.50		
Factor de Correccion por volumen	0.89	0.89	0.89	0.89	0.93	0.93	0.93	0.93	0.86	0.89	0.89	0.89		
Estabilidad (KN)	26.00	29.17	24.57	31.80	26.32	23.90	24.49	22.05	18.79	19.91	18.94	22.19		
Estabilidad Corregida (KN)	23.14	25.96	21.87	28.31	24.47	22.23	22.77	20.51	16.16	17.72	16.86	19.75		
Estabilidad Media (KN) corregida	24.82													
Relación Estabilidad/Flujo	2.92													
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)	2.44													
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)	3.31	2.93	3.83	3.05	2.44	2.34	2.50	1.96	1.52	2.01	1.83	2.26		
Promedio VTM	3.28													
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)	13.31	12.97	13.78	13.08	13.62	13.54	13.68	13.21	13.91	14.34	14.18	14.56		
Promedio VAM	13.28													
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)	75.15	77.40	72.18	76.65	82.13	82.72	81.75	85.15	89.07	85.97	87.08	84.45		
Promedio VFA	75.35													



Tabla 114

Procesamiento de datos de Parámetros Volumétricos de briquetas modificadas con Nanosilice de BN1 a BN12.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERASMORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

		Diseño Marshall - MAC												Fecha: 20/11/2021	
		Combinacion de Agregados				Gravedad Especifica Aparente 2.73 gr/cm3				Gravedad Especifica Bulk 2.57 gr/cm3				Promedio Gsa y Gsb 2.65 gr/cm3	
		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3					
		BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6	BN7	BN8	BN9	BN10	BN11	BN12		
Nº de Probeta															
% de Asfalto (óptimo)		5.40%												5.40%	
% NANOSÍLICE (respecto al asfalto)		0.50%												3.00%	
Altura Prom. (mm)		66.76	66.84	67.28	66.71	66.77	66.59	66.77	67.11	66.81	67.31	67.47	67.08		
Diametro (mm)		101.43	101.58	101.56	101.60	101.53	101.56	101.40	101.62	101.57	101.41	101.61	101.62		
Volumen (mm ³)		539.43	541.64	544.94	540.80	540.53	539.39	539.20	544.20	541.29	543.66	547.11	544.05		
% Filler		4.32%				4.32%				4.32%					
% Agregado Combinado		90.25%				90.20%				90.12%					
Peso Seco en Aire (g)		1287	1286	1287	1290	1286	1287	1290	1291	1286	1291	1287	1292		
Peso Sumergido (g)		742	745	741	748	742	748	752	749	746	750	743	747		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1289	1287	1288	1290	1287	1287	1290	1292	1285	1291	1288	1292		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.35	2.37	2.35	2.38	2.36	2.39	2.40	2.38	2.39	2.39	2.36	2.37		
Densidad (g/m ³)		2.35	2.37	2.35	2.37	2.35	2.38	2.39	2.37	2.38	2.38	2.35	2.36		
Densidad Prom. (g/m ³)		2.36				2.37				2.37					
Fluidez (0.25 mm)		9.75	4.30	14.18	8.50	15.48	7.95	12.10	12.28	14.80	14.33	18.00	18.85		
Fluidez Media (0.25 mm)		9.18				11.95				16.49					
Dial (Divisiones)		1162.10	1296.70	1570.70	1588.10	1738.80	1491.70	1607.50	1850.20	1925.00	1685.90	1576.20	1626.50		
Factor de Correccion por volumen		0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.89	0.93		
Estabilidad (KN)		25.57	28.45	34.24	34.60	37.75	32.57	35.01	40.07	41.62	36.65	34.35	35.41		
Estabilidad Corregida (KN)		23.78	26.45	31.84	32.18	35.11	30.29	32.56	37.27	38.71	34.08	30.57	32.93		
Estabilidad Media (KN) corregida		28.56				33.81				34.07					
Relación Estabilidad/Flujo		3.17				2.88				2.11					
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)		2.44				2.44				2.44					
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)		3.76	2.95	3.76	2.65	3.42	2.26	1.85	2.68	2.23	2.21	3.23	2.85		
Promedio VTM		3.28				2.55				2.63					
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)		13.51	12.78	13.51	12.51	13.31	12.27	11.91	12.65	12.42	12.40	13.31	12.98		
Promedio VAM		13.08				12.53				12.78					
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)		72.14	76.90	72.14	78.82	74.33	81.55	84.42	78.79	82.07	82.19	75.76	78.03		
Promedio VFA		75.00				79.77				79.51					

Tabla 115

Procesamiento de datos de Parámetros Volumétricos de briquetas modificadas con Nanosilice de BN13 a BN24.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERASMORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

		Diseño Marshall - MAC												Fecha: 20/11/2021	
		Combinacion de Agregados				Gravedad Especifica Aparente 2.73 gr/cm3				Gravedad Especifica Bulk 2.57 gr/cm3				Promedio Gsa y Gsb 2.65 gr/cm3	
		Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6					
		BN13	BN14	BN15	BN16	BN17	BN18	BN19	BN20	BN21	BN22	BN23	BN24		
Nº de Probeta															
% de Asfalto (óptimo)		5.40%												5.40%	
% NANOSÍLICE (respecto al asfalto)		4.50%												7.50%	
Altura Prom. (mm)		66.73	66.67	67.43	68.20	67.60	66.94	66.74	67.94	67.45	67.18	67.01	67.81		
Diametro (mm)		101.50	101.51	101.66	101.44	101.66	101.35	101.59	101.50	101.59	101.43	101.52	101.54		
Volumen (mm ³)		539.94	539.52	547.27	551.14	548.65	539.98	540.94	549.73	546.71	542.73	542.42	549.04		
% Filler		4.31%				4.31%				4.31%					
% Agregado Combinado		90.05%				89.97%				89.89%					
Peso Seco en Aire (g)		1292	1285	1287	1288	1293	1289	1290	1286	1289	1290	1291	1290		
Peso Sumergido (g)		750	745	742	737	740	747	747	736	739	735	738	734		
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)		1292	1285	1288	1290	1294	1289	1290	1287	1290	1291	1291	1290		
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)		2.38	2.38	2.36	2.33	2.33	2.38	2.38	2.33	2.34	2.32	2.33	2.32		
Densidad (g/m ³)		2.38	2.37	2.35	2.32	2.33	2.37	2.37	2.33	2.33	2.31	2.33	2.31		
Densidad Prom. (g/m ³)		2.36				2.35				2.32					
Fluidez (0.25 mm)		20.00	19.50	11.23	12.50	12.75	20.50	8.75	15.38	8.00	7.45	13.85	10.00		
Fluidez Media (0.25 mm)		15.81				14.34				9.83					
Dial (Divisiones)		1731.60	1976.90	1566.20	1965.00	1976.20	1730.80	1880.10	1986.90	1925.00	1915.00	1876.00	1685.00		
Factor de Correccion por volumen		0.93	0.93	0.89	0.89	0.89	0.93	0.93	0.89	0.89	0.93	0.93	0.89		
Estabilidad (KN)		37.60	42.69	34.14	42.45	42.68	37.59	40.69	42.90	41.62	41.41	40.61	36.63		
Estabilidad Corregida (KN)		34.97	39.70	30.39	37.78	37.98	34.96	37.84	38.18	37.04	38.51	37.76	32.60		
Estabilidad Media (KN) corregida		35.71				37.24				36.48					
Relación Estabilidad/Flujo		2.30				2.65				3.79					
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)		2.44				2.43				2.43					
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)		2.20	2.37	3.29	4.44	4.13	2.31	2.42	4.13	3.79	4.58	3.99	4.58		
Promedio VTM		3.08				3.25				4.24					
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)		12.57	12.72	13.54	14.57	14.47	12.85	12.94	14.47	14.34	15.05	14.52	15.05		
Promedio VAM		13.35				13.68				14.74					
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)		82.50	81.38	75.70	69.52	71.44	82.00	81.32	71.44	73.57	69.55	72.52	69.55		
Promedio VFA		77.28				76.55				71.30					



Tabla 116

Procesamiento de datos de Parámetros Volumétricos de briquetas con óptimo porcentaje de Asfalto y Nanosilíce.

Densidad de asfalto		1.02 gr/cm3		Gravedad Especifica Aparente		2.72668 gr/cm3 <th colspan="2">Gravedad Especifica Bulk</th> <td colspan="2">2.57266 gr/cm3 <th colspan="2">Promedio Gsa y Gsb</th> <td colspan="2">2.64967 gr/cm3</td> </td>		Gravedad Especifica Bulk		2.57266 gr/cm3 <th colspan="2">Promedio Gsa y Gsb</th> <td colspan="2">2.64967 gr/cm3</td>		Promedio Gsa y Gsb		2.64967 gr/cm3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Densidad de cemento		2.80 gr/cm3		Combinación de Agregados																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Densidad del nanosilíce		1.03 gr/cm3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<p>INGEOMAT INGENIERIA, GEOTECNIA Y MATERIALES E.I.R.L.</p> <p>CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA. LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES. Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111</p> <p>Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28" Muestra: CANTERASMORROBLANCO-CUNYAC Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Diseño Marshall - MAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Fecha: 20/11/2021																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nº de Probeta</th> <th colspan="4">Muestras con % Óptimo de Asfalto</th> <th colspan="4">Muestras con % Óptimo de Nanosilíce</th> </tr> <tr> <th>B1</th> <th>B2</th> <th>B3</th> <th>B4</th> <th>BN1</th> <th>BN2</th> <th>BN3</th> <th>BN4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% de Asfalto (óptimo)</td> <td colspan="4">5.40%</td> <td colspan="4">5.40%</td> </tr> <tr> <td>% NANOSILICE (respecto al asfalto)</td> <td colspan="4">-</td> <td colspan="4">6.36%</td> </tr> <tr> <td>% NANOSILICE (respecto a la briqueta)</td> <td colspan="4">-</td> <td colspan="4">0.34%</td> </tr> <tr> <td>% TOTAL DE LIGANTE</td> <td colspan="4">-</td> <td colspan="4">5.74%</td> </tr> <tr> <td>Altura Prom. (mm)</td> <td>65.92</td> <td>66.84</td> <td>69.15</td> <td>67.23</td> <td>67.18</td> <td>68.26</td> <td>67.13</td> <td>68.28</td> </tr> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>101.44</td> <td>101.23</td> <td>101.66</td> <td>101.51</td> <td>101.63</td> <td>101.66</td> <td>101.61</td> <td>101.51</td> </tr> <tr> <td>Volumen (mm3)</td> <td>532.75</td> <td>537.86</td> <td>561.23</td> <td>544.09</td> <td>544.94</td> <td>554.00</td> <td>544.26</td> <td>552.49</td> </tr> <tr> <td>% Filler</td> <td colspan="4">4.32%</td> <td colspan="4">4.31%</td> </tr> <tr> <td>% Agregado Combinado</td> <td colspan="4">90.28%</td> <td colspan="4">89.95%</td> </tr> <tr> <td>Peso Seco en Aire (g)</td> <td>1287.00</td> <td>1291.00</td> <td>1286.00</td> <td>1295.00</td> <td>1291.00</td> <td>1288.00</td> <td>1295.00</td> <td>1296.00</td> </tr> <tr> <td>Peso Sumergido (g)</td> <td>747.00</td> <td>746.00</td> <td>727.00</td> <td>748.00</td> <td>745.00</td> <td>734.00</td> <td>750.00</td> <td>754.00</td> </tr> <tr> <td>Peso Saturado Superficialmente Seco (g)</td> <td>1288.00</td> <td>1291.00</td> <td>1288.00</td> <td>1296.00</td> <td>1292.00</td> <td>1290.00</td> <td>1295.00</td> <td>1297.00</td> </tr> <tr> <td>Gmb (Gravedad Especifica Bulk)</td> <td>2.38</td> <td>2.37</td> <td>2.29</td> <td>2.36</td> <td>2.36</td> <td>2.32</td> <td>2.38</td> <td>2.39</td> </tr> <tr> <td>Densidad (g/m3)</td> <td>2.37</td> <td>2.36</td> <td>2.29</td> <td>2.36</td> <td>2.35</td> <td>2.31</td> <td>2.37</td> <td>2.38</td> </tr> <tr> <td>Densidad Prom. (g/m3)</td> <td colspan="4">2.34</td> <td colspan="4">2.35</td> </tr> <tr> <td>Fluidez (0.25 mm)</td> <td>9.63</td> <td>7.53</td> <td>8.85</td> <td>7.35</td> <td>9.80</td> <td>8.43</td> <td>10.25</td> <td>8.50</td> </tr> <tr> <td>Fluidez Media (0.25 mm)</td> <td colspan="4">8.34</td> <td colspan="4">9.24</td> </tr> <tr> <td>Dial (Divisiones)</td> <td>1490.90</td> <td>1251.50</td> <td>1367.70</td> <td>1213.80</td> <td>1935.10</td> <td>1813.30</td> <td>1735.50</td> <td>1800.50</td> </tr> <tr> <td>Factor de Correccion por volumen</td> <td>0.96</td> <td>0.93</td> <td>0.86</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> <td>0.89</td> <td>0.93</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad (KN)</td> <td>32.56</td> <td>27.48</td> <td>29.95</td> <td>26.68</td> <td>41.83</td> <td>39.31</td> <td>37.69</td> <td>39.04</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad Corregida (KN)</td> <td>31.26</td> <td>25.56</td> <td>25.76</td> <td>24.81</td> <td>38.90</td> <td>34.98</td> <td>35.05</td> <td>34.74</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad Media (KN) corregida</td> <td colspan="4">26.85</td> <td colspan="4">35.92</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)</td> <td colspan="4">2.44</td> <td colspan="4">2.43</td> </tr> <tr> <td>VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)</td> <td>2.68</td> <td>3.09</td> <td>6.22</td> <td>3.33</td> <td>3.03</td> <td>4.82</td> <td>2.37</td> <td>1.93</td> </tr> <tr> <td>Promedio VTM</td> <td colspan="4">3.83</td> <td colspan="4">3.04</td> </tr> <tr> <td>VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)</td> <td>12.52</td> <td>12.90</td> <td>15.71</td> <td>13.10</td> <td>13.53</td> <td>15.13</td> <td>12.94</td> <td>12.55</td> </tr> <tr> <td>Promedio VAM</td> <td colspan="4">13.56</td> <td colspan="4">13.54</td> </tr> <tr> <td>VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)</td> <td>78.60</td> <td>76.01</td> <td>60.39</td> <td>74.62</td> <td>77.84</td> <td>68.15</td> <td>81.70</td> <td>84.60</td> </tr> <tr> <td>Promedio VFA</td> <td colspan="4">72.40</td> <td colspan="4">78.02</td> </tr> <tr> <td>Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)</td> <td colspan="4">3.283</td> <td colspan="4">3.962</td> </tr> <tr> <td>Pba</td> <td>2.24 %</td> <td>2.24 %</td> <td>2.24 %</td> <td>2.24 %</td> <td>2.25 %</td> <td>2.25 %</td> <td>2.25 %</td> <td>2.25 %</td> </tr> <tr> <td>Promedio Pba</td> <td colspan="4">2.24 %</td> <td colspan="4">2.25 %</td> </tr> <tr> <td>Pbe</td> <td>3.28%</td> <td>3.28%</td> <td>3.28%</td> <td>3.28%</td> <td>3.62%</td> <td>3.62%</td> <td>3.62%</td> <td>3.62%</td> </tr> <tr> <td>Promedio Pbe</td> <td colspan="4">3.28%</td> <td colspan="4">3.62%</td> </tr> </tbody> </table>																Nº de Probeta	Muestras con % Óptimo de Asfalto				Muestras con % Óptimo de Nanosilíce				B1	B2	B3	B4	BN1	BN2	BN3	BN4	% de Asfalto (óptimo)	5.40%				5.40%				% NANOSILICE (respecto al asfalto)	-				6.36%				% NANOSILICE (respecto a la briqueta)	-				0.34%				% TOTAL DE LIGANTE	-				5.74%				Altura Prom. (mm)	65.92	66.84	69.15	67.23	67.18	68.26	67.13	68.28	Diámetro (mm)	101.44	101.23	101.66	101.51	101.63	101.66	101.61	101.51	Volumen (mm3)	532.75	537.86	561.23	544.09	544.94	554.00	544.26	552.49	% Filler	4.32%				4.31%				% Agregado Combinado	90.28%				89.95%				Peso Seco en Aire (g)	1287.00	1291.00	1286.00	1295.00	1291.00	1288.00	1295.00	1296.00	Peso Sumergido (g)	747.00	746.00	727.00	748.00	745.00	734.00	750.00	754.00	Peso Saturado Superficialmente Seco (g)	1288.00	1291.00	1288.00	1296.00	1292.00	1290.00	1295.00	1297.00	Gmb (Gravedad Especifica Bulk)	2.38	2.37	2.29	2.36	2.36	2.32	2.38	2.39	Densidad (g/m3)	2.37	2.36	2.29	2.36	2.35	2.31	2.37	2.38	Densidad Prom. (g/m3)	2.34				2.35				Fluidez (0.25 mm)	9.63	7.53	8.85	7.35	9.80	8.43	10.25	8.50	Fluidez Media (0.25 mm)	8.34				9.24				Dial (Divisiones)	1490.90	1251.50	1367.70	1213.80	1935.10	1813.30	1735.50	1800.50	Factor de Correccion por volumen	0.96	0.93	0.86	0.93	0.93	0.89	0.93	0.89	Estabilidad (KN)	32.56	27.48	29.95	26.68	41.83	39.31	37.69	39.04	Estabilidad Corregida (KN)	31.26	25.56	25.76	24.81	38.90	34.98	35.05	34.74	Estabilidad Media (KN) corregida	26.85				35.92				Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)	2.44				2.43				VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)	2.68	3.09	6.22	3.33	3.03	4.82	2.37	1.93	Promedio VTM	3.83				3.04				VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)	12.52	12.90	15.71	13.10	13.53	15.13	12.94	12.55	Promedio VAM	13.56				13.54				VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)	78.60	76.01	60.39	74.62	77.84	68.15	81.70	84.60	Promedio VFA	72.40				78.02				Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	3.283				3.962				Pba	2.24 %	2.24 %	2.24 %	2.24 %	2.25 %	2.25 %	2.25 %	2.25 %	Promedio Pba	2.24 %				2.25 %				Pbe	3.28%	3.28%	3.28%	3.28%	3.62%	3.62%	3.62%	3.62%	Promedio Pbe	3.28%				3.62%			
Nº de Probeta	Muestras con % Óptimo de Asfalto				Muestras con % Óptimo de Nanosilíce																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	B1	B2	B3	B4	BN1	BN2	BN3	BN4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
% de Asfalto (óptimo)	5.40%				5.40%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
% NANOSILICE (respecto al asfalto)	-				6.36%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
% NANOSILICE (respecto a la briqueta)	-				0.34%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
% TOTAL DE LIGANTE	-				5.74%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Altura Prom. (mm)	65.92	66.84	69.15	67.23	67.18	68.26	67.13	68.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Diámetro (mm)	101.44	101.23	101.66	101.51	101.63	101.66	101.61	101.51																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Volumen (mm3)	532.75	537.86	561.23	544.09	544.94	554.00	544.26	552.49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
% Filler	4.32%				4.31%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
% Agregado Combinado	90.28%				89.95%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Peso Seco en Aire (g)	1287.00	1291.00	1286.00	1295.00	1291.00	1288.00	1295.00	1296.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Peso Sumergido (g)	747.00	746.00	727.00	748.00	745.00	734.00	750.00	754.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Peso Saturado Superficialmente Seco (g)	1288.00	1291.00	1288.00	1296.00	1292.00	1290.00	1295.00	1297.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Gmb (Gravedad Especifica Bulk)	2.38	2.37	2.29	2.36	2.36	2.32	2.38	2.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Densidad (g/m3)	2.37	2.36	2.29	2.36	2.35	2.31	2.37	2.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Densidad Prom. (g/m3)	2.34				2.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Fluidez (0.25 mm)	9.63	7.53	8.85	7.35	9.80	8.43	10.25	8.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Fluidez Media (0.25 mm)	8.34				9.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Dial (Divisiones)	1490.90	1251.50	1367.70	1213.80	1935.10	1813.30	1735.50	1800.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Factor de Correccion por volumen	0.96	0.93	0.86	0.93	0.93	0.89	0.93	0.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Estabilidad (KN)	32.56	27.48	29.95	26.68	41.83	39.31	37.69	39.04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Estabilidad Corregida (KN)	31.26	25.56	25.76	24.81	38.90	34.98	35.05	34.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Estabilidad Media (KN) corregida	26.85				35.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm)	2.44				2.43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
VTM (Vacíos Totales de la Mezcla)	2.68	3.09	6.22	3.33	3.03	4.82	2.37	1.93																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Promedio VTM	3.83				3.04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
VAM (Vacíos en el Agregado Mineral)	12.52	12.90	15.71	13.10	13.53	15.13	12.94	12.55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Promedio VAM	13.56				13.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)	78.60	76.01	60.39	74.62	77.84	68.15	81.70	84.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Promedio VFA	72.40				78.02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	3.283				3.962																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Pba	2.24 %	2.24 %	2.24 %	2.24 %	2.25 %	2.25 %	2.25 %	2.25 %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Promedio Pba	2.24 %				2.25 %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Pbe	3.28%	3.28%	3.28%	3.28%	3.62%	3.62%	3.62%	3.62%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Promedio Pbe	3.28%				3.62%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

- Cálculo de Gravedad Especifica Teórica Máxima (Gmm):

$$Gmm = \frac{1}{\frac{\%asfalto}{Pe Asfalto} + \frac{\%grueso}{A} + \frac{\%fino}{B} + \frac{\%filler}{C}}$$

Donde:

Pe Asfalto: Peso Específico del asfalto.

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

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

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



- **Cálculo de Vacíos Totales de la Mezcla (VTM):**

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

Donde:

VTM= Vacíos Totales de la Mezcla.

Gmb= Gravedad Específica Bulk.

Gmm= Gravedad Específica Teórica Máxima.

- **Cálculo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM):**

$$VAM = \left(1 - \frac{G_{mb}(1 - P_b)}{G_{sb}}\right) * 100$$

Donde:

VAM= Vacíos en el Agregado Mineral.

Gmb= Gravedad Específica Bulk.

Pb= Porcentaje de Asfalto

Gsb= Gravedad Específica seca Bulk combinada.

- **Cálculo de Vacíos llenos de Asfalto (VFA):**

$$VFA = \left(\frac{VMA - VTM}{VMA}\right) * 100$$

Donde:

VFA= Vacíos llenos de Asfalto

VAM= Vacíos en el Agregado Mineral.

VTM= Vacíos totales de la Mezcla.



b) Análisis de la prueba.

- **Briquetas BETUTEC PG 70-28.**

Los resultados de los parámetros volumétricos, en este caso el Gmm, VTM, VAM Y VFA, nos sirven para elaborar los gráficos para calcular el óptimo contenido de Nanosílice de las briquetas modificadas siguiendo los requerimientos indicados en la norma EG – 2013.

- **Briquetas Modificadas con Nanosílice.**

Los resultados de los parámetros volumétricos, en este caso el Gmm, VTM, VAM Y VFA, nos sirven para elaborar los gráficos para calcular el óptimo contenido de Nanosílice de las briquetas modificadas siguiendo los requerimientos indicados en la norma EG – 2013.

- **Briquetas con contenido óptimo de Asfalto y Nanosílice.**

Los resultados de los parámetros volumétricos, en este caso el Gmm, VTM, VAM, VFA, Pba y Pbe de las briquetas elaboradas con el contenido óptimo de asfalto y contenido óptimo de nanosílice respecto al peso de del ligante, nos muestran que cumplen con la norma EG – 2013. Y nos permiten realizar el análisis comparativo de las características entre ambas mezclas asfálticas.

3.6.2.6. Análisis de los resultados del Ensayo Marshall de briquetas BETUTEC PG 70-28

a) Procesamiento y diagramas de la prueba.

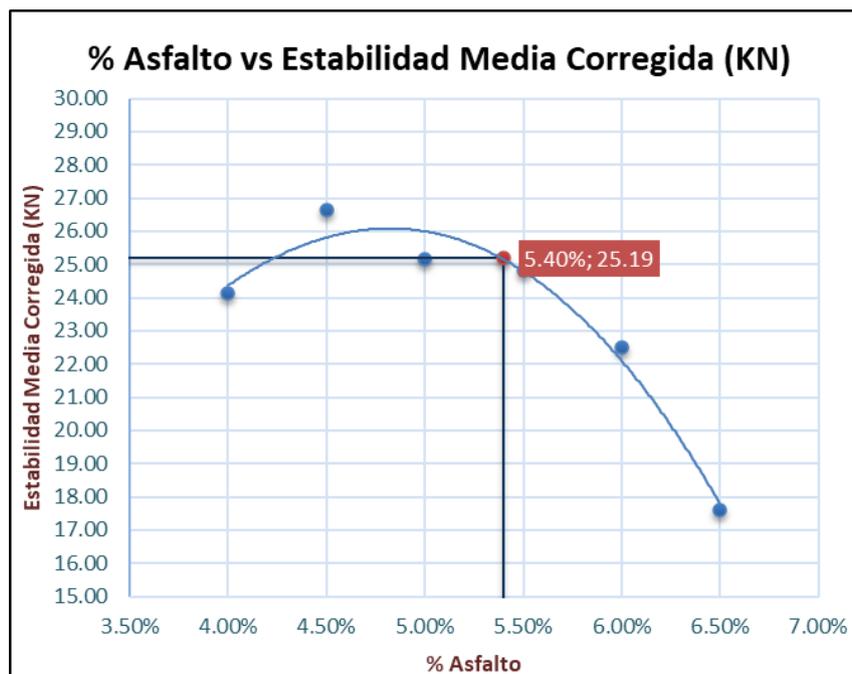


Figura 109: % Asfalto vs Estabilidad Media Corregida.

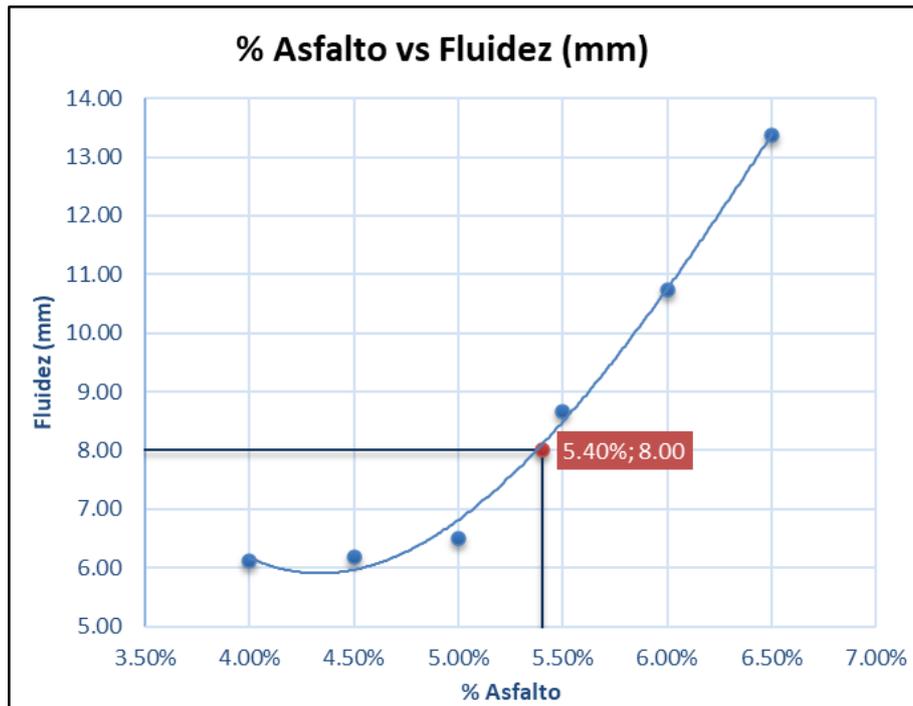


Figura 110: % Asfalto vs Fluidez (mm).

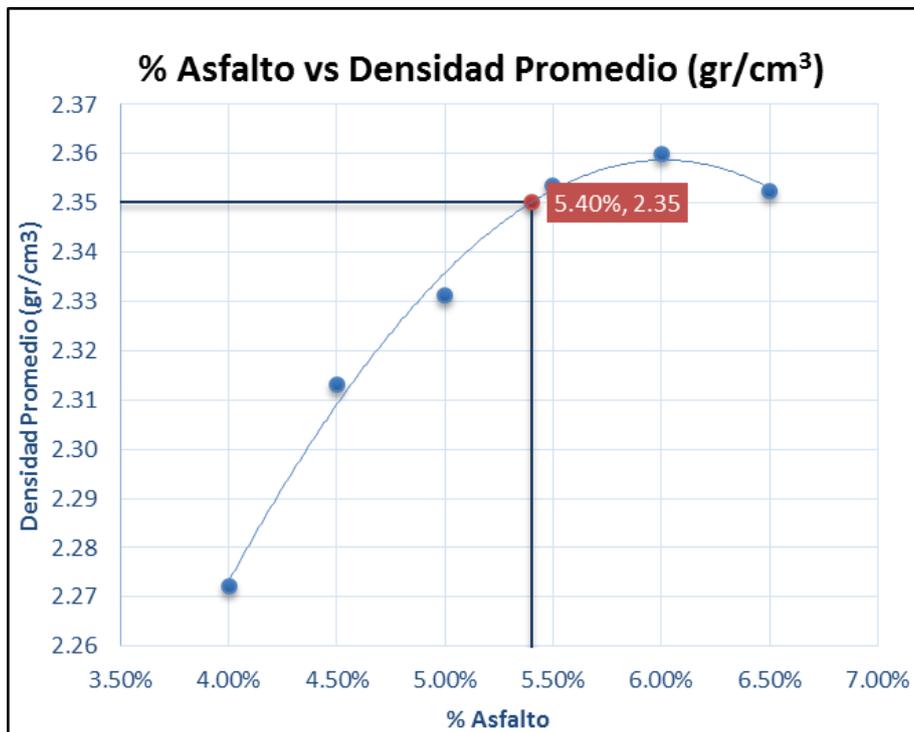


Figura 111: % Asfalto vs Densidad Promedio (gr/cm³).

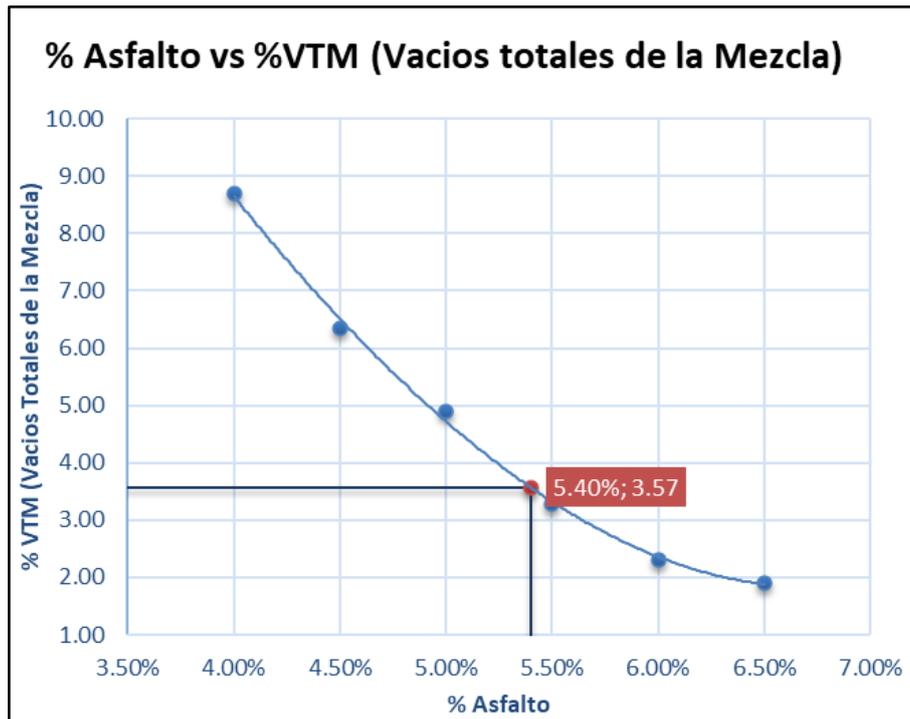


Figura 112: % Asfalto vs VTM (Vacíos Totales de la Mezcla).

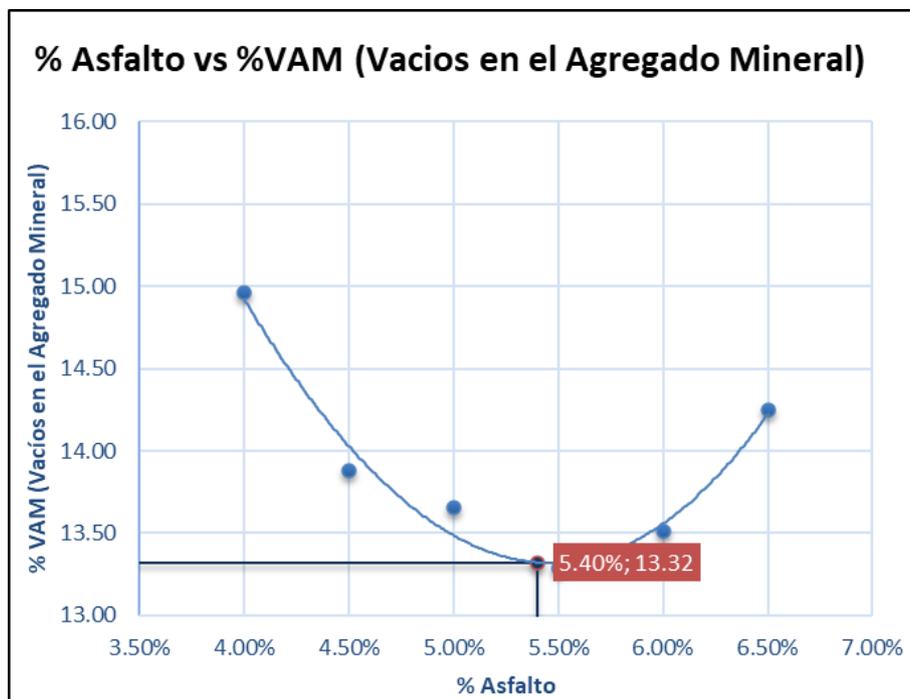


Figura 113: % Asfalto vs VAM (Vacíos en el Agregado Mineral).

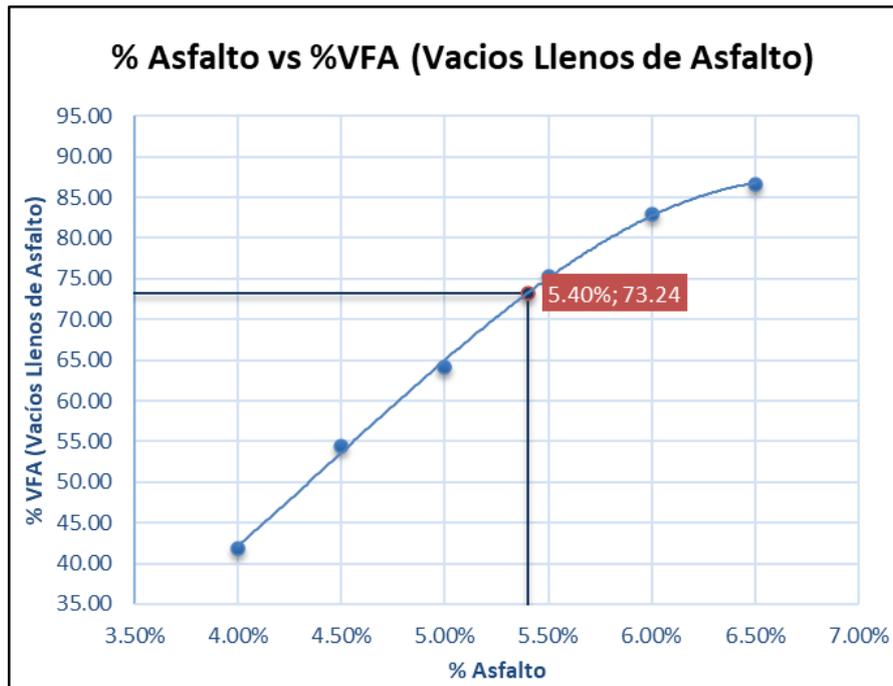


Figura 114: % Asfalto vs VFA (Vacíos Llenos de Asfalto).

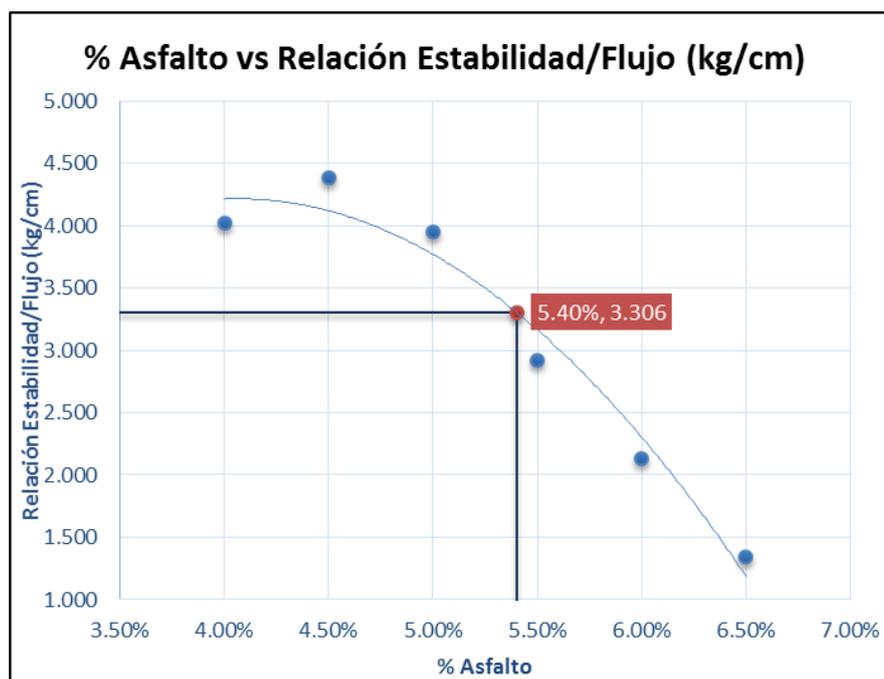


Figura 115: % Asfalto vs Relación Estabilidad/Flujo

b) Análisis de la prueba.

Luego de realizar el análisis de los gráficos obtenidos del ensayo Marshall de las briquetas BETUTEC PG 70 – 28, se obtiene que el contenido óptimo de asfalto para el cual cumple la mezcla asfáltica con todos los requerimientos establecidos por las normas EG-010 y CE-010 es de 5.40%.



3.6.2.7. Análisis de los resultados del Ensayo Marshall de briquetas modificadas con Nanosílice

a) Procesamiento y diagramas de la prueba.

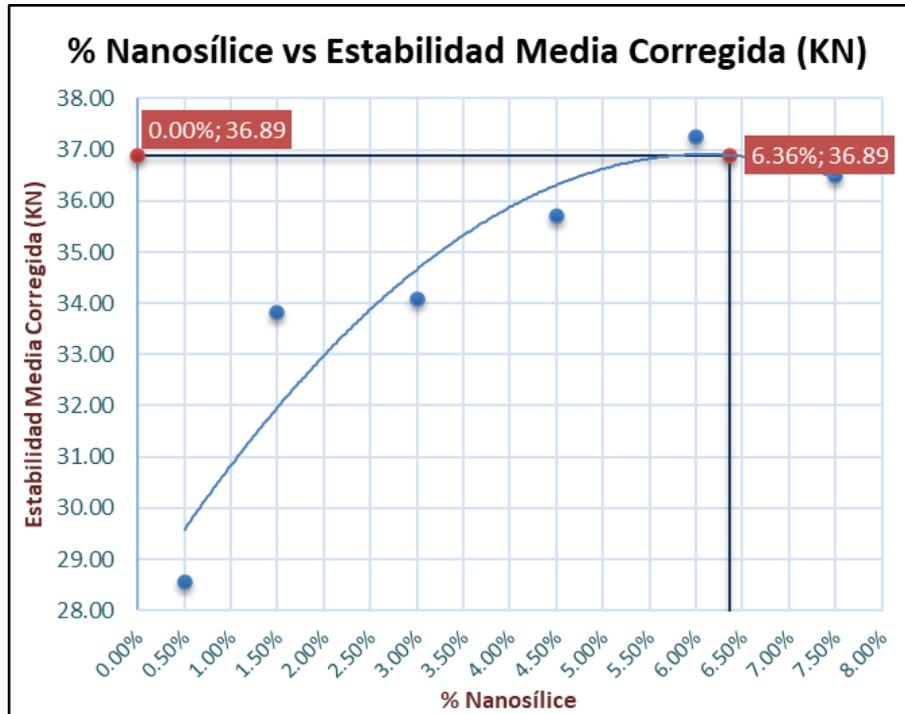


Figura 116: % Nanosílice vs Estabilidad Media Corregida.

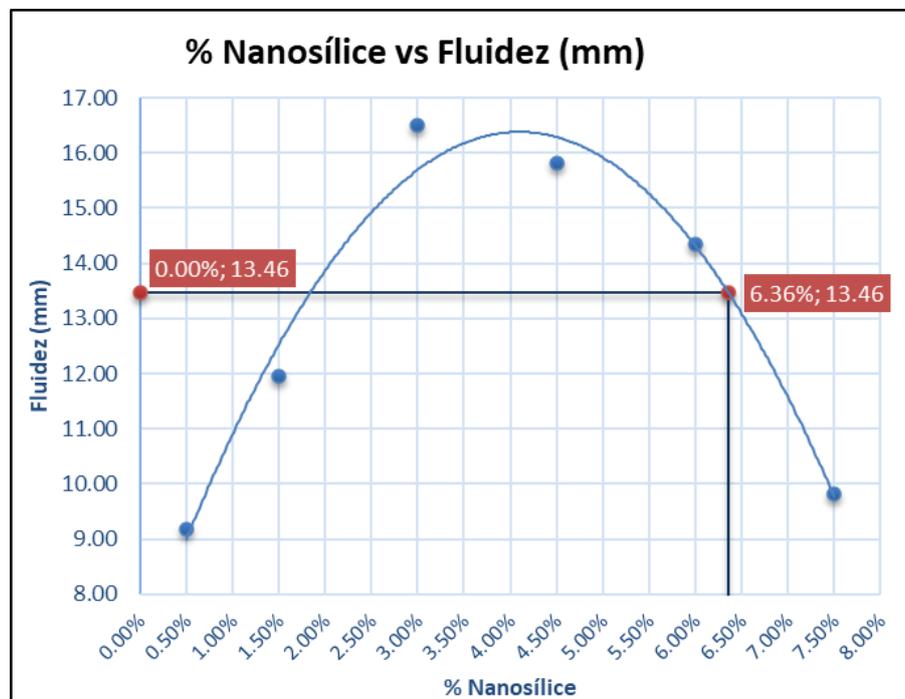


Figura 117: % Nanosílice vs Fluidez (0.25 mm).

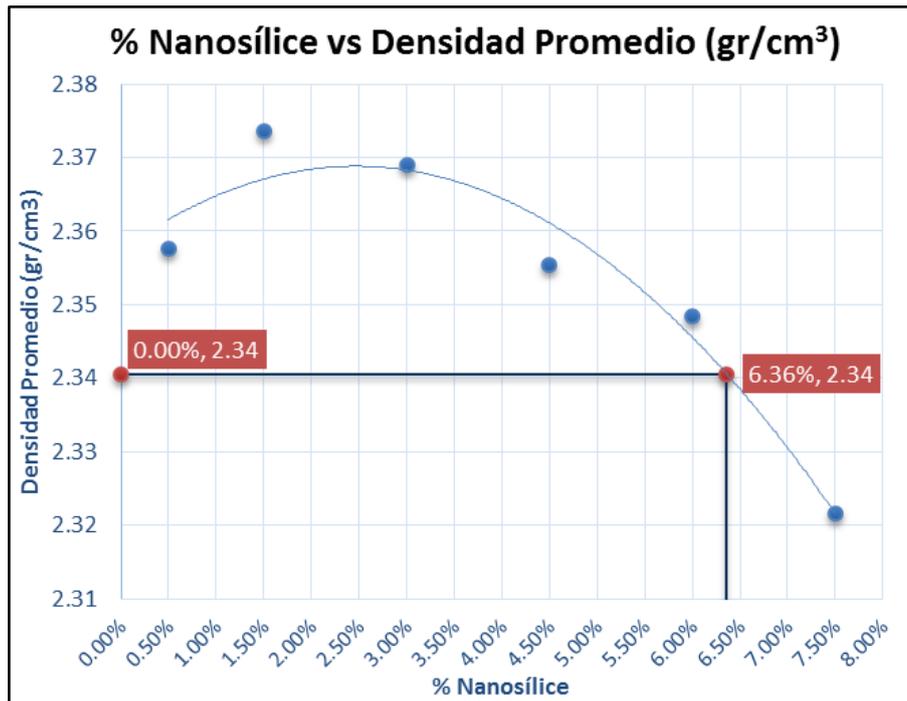


Figura 118: % Nanosilice vs Densidad Promedio (gr/cm3).

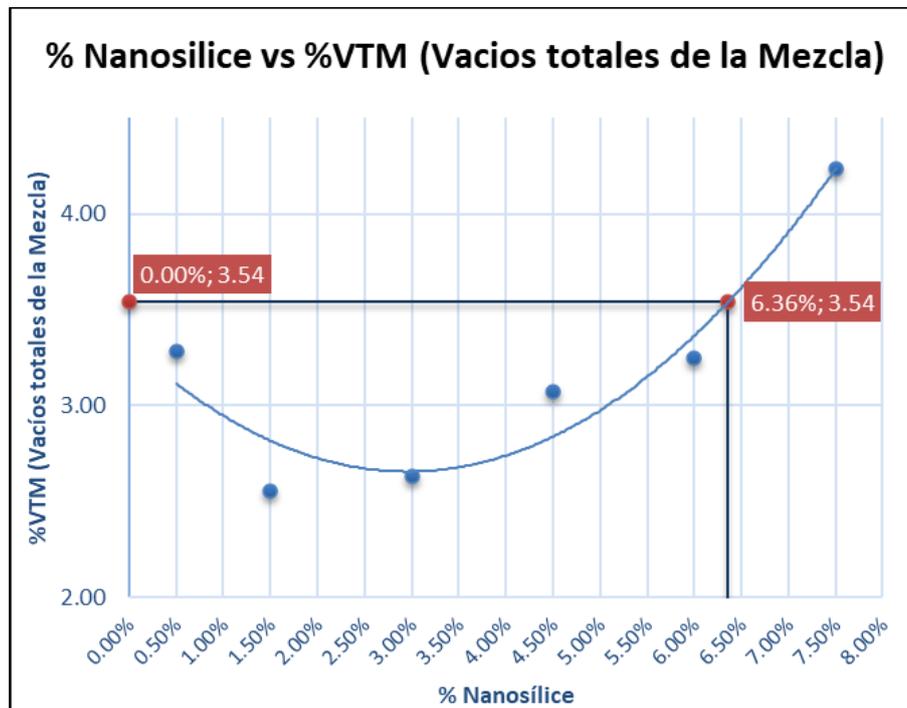


Figura 119: % Nanosilice vs VTM (Vacíos Totales de la Mezcla).

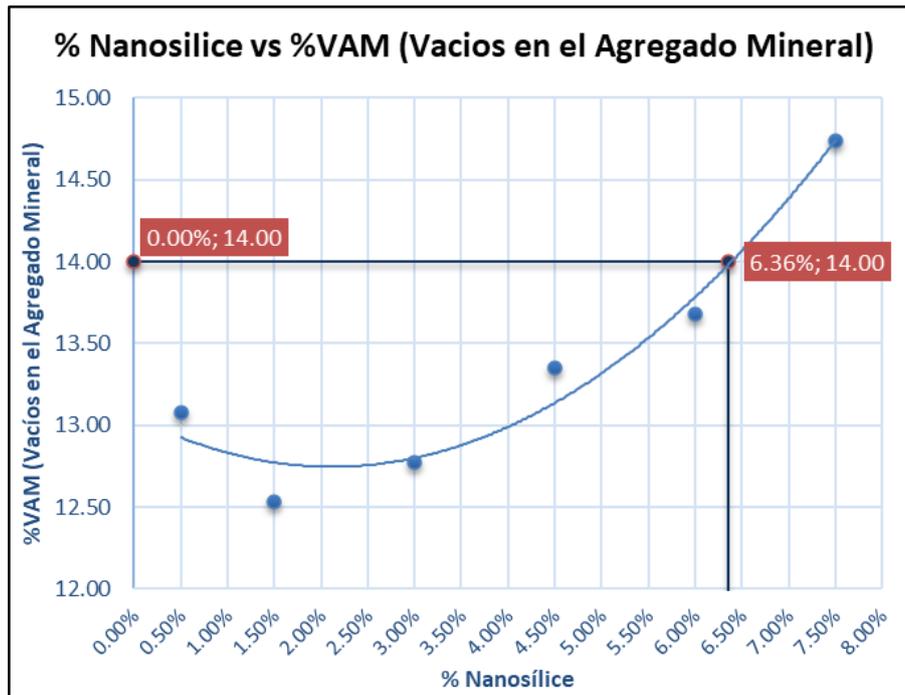


Figura 120: % Nanosilice vs VAM (Vacíos en el Agregado Mineral).

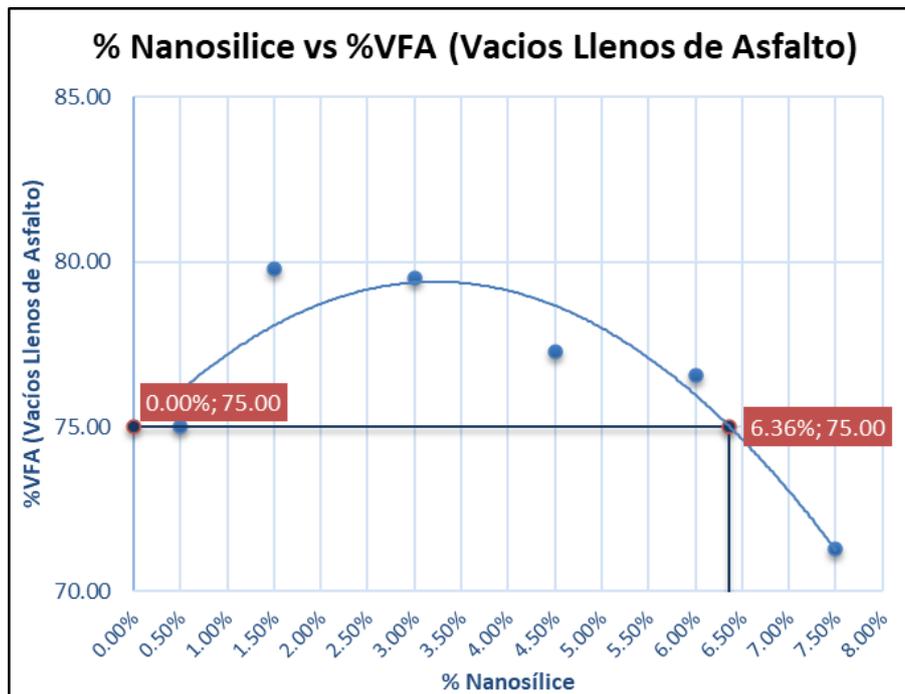


Figura 121: % Nanosilice vs VFA (Vacíos Llenos de Asfalto).

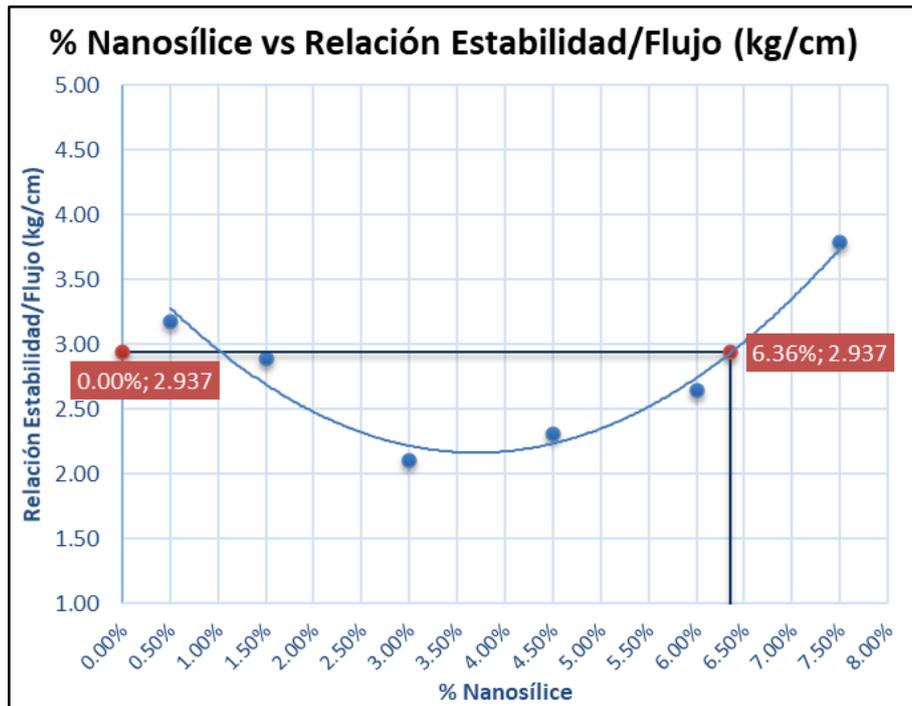


Figura 122: % Nanosílice vs Relación Estabilidad/Flujo

b) Análisis de la prueba.

Luego de realizar el análisis de los gráficos obtenidos del ensayo Marshall de las briquetas modificadas con Nanosílice, se obtiene que el contenido óptimo de nanosílice respecto al peso del ligante asfáltico, para el cual cumple la mezcla asfáltica con todos los requerimientos establecidos por las normas EG-010 y CE-010 es de 6.36%.



3.6.2.8. Resistencia a la Compresión Diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas (NLT-346/90).

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba.

Tabla 117

Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia a la Compresión Diametral.



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION
SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

b. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"
Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
- DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm ³	Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente	2.73 gr/cm ³	Gravedad Especifica Bulk	2.57 gr/cm ³	Promedio Gsa y Gsb	2.65 gr/cm ³
Densidad de cemento	2.80 gr/cm ³	Muestras con % Optimo de Asfalto				Muestras con % Optimo de Nanosilice					
Densidad del nanosilice	1.03 gr/cm ³	B5	B6	B7	B8	BN5	BN6	BN7	BN8		
		5.40%				5.40%					
		5.40%				6.36%					
Nº de Probeta											
% de Asfalto (óptimo)											
% NANOSILICE (respecto al asfalto)											
Altura Prom. (mm)		67.52	67.21	67.40	66.51	67.21	67.72	67.48	68.42		
Diametro (mm)		101.64	101.46	101.56	101.43	101.65	101.51	101.51	101.48		
Volumen (mm ³)		547.80	543.34	545.91	537.41	545.43	547.96	546.02	553.34		
Dial (Divisiones)		622.00	695.00	743.00	654.20	770.30	575.80	589.90	644.00		
Carga (Kgf)		1415.29	1578.55	1685.59	1487.37	1746.36	1311.66	1343.31	1464.55		
Resistencia a la Tracción Indirecta (TDR - kgf/cm ²)		13.13	14.74	15.68	14.04	16.27	12.15	12.49	13.43		
Resistencia a la Tracción Indirecta (TDR - kgf/cm ²)		14.40				13.58					

$$R\tau = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot d}$$

donde:

$R\tau$ = Resistencia a compresión diametral, N · mm⁻² (kgf/cm²).

P = Carga máxima de rotura, N (kgf).

π = Constante 3,14159...

h = Altura de la probeta, mm (\pm 0,1 mm).

d = Diámetro de la probeta, mm (\pm 0,1 mm).

- **Cálculo de la Carga máxima soportada por las briquetas de mezcla asfáltica:** Se calcula la carga máxima que soporta cada biqueta transformando las divisiones del dial de la siguiente manera:

$$Divisiones = A + B * Carga Máxima_{LBF} + C * Carga Máxima_{LBF}^2$$

Coefficientes según certificado de calibración de la máquina Marshall.

A: 0.0509929

B: 0.1962114

C: 0.000001

$$Estabilidad \text{ sin corregir}_{KN} = Estabilidad_{LBF} * 0.004444882$$



- **Cálculo de la Resistencia a Compresión Diametral:** Se calcula con la fórmula de R_{τ} (Resistencia a Compresión Diametral) indicada en la Tabla....

b) Análisis de la prueba.

Los resultados de Resistencia a Compresión Diametral muestran valores de 14.40 kgf/cm^2 y 13.58 kgf/cm^2 para mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 y mezcla asfáltica modificada con Nanosílice respectivamente, lo cual indica un ligero descenso en la resistencia a la Tracción Indirecta en las briquetas modificadas con Nanosílice.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados para la densidad de los especímenes Marshall

Tabla 118

Análisis comparativo de las densidades al 5.4% de asfalto y al 6.36% de Nanosílice

Densidades de Briquetas Marshall	
Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (5.4% asfalto)	Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosilice (6.36% nanosílice)
2.34 gr/cm^3	2.35 gr/cm^3

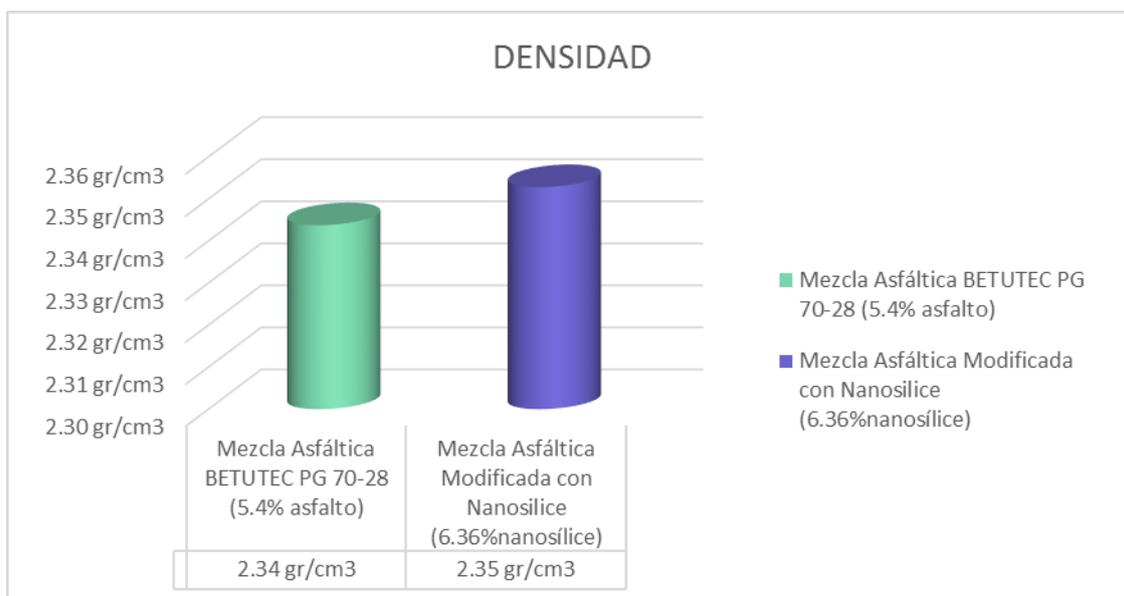


Figura 123: Densidad de especímenes MAC BETUTEC PG 70-28 VS especímenes MAC modificados con Nanosílice

La densidad de los especímenes MAC modificados con Nanosílice incrementa su valor respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.



4.2. Resultados para flujo y estabilidad Marshall

Tabla 119

Comparación de valores de flujo y estabilidad para probetas al 5.4% de asfalto y al 6.36% de Nanosílice.

Estabilidad y flujo Marshall	Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (5.4% asfalto)	Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice (6.36% nanosílice)
Estabilidad (KN)	26.85 KN	35.92 KN
Flujo (mm)	8.34 mm	9.24 mm

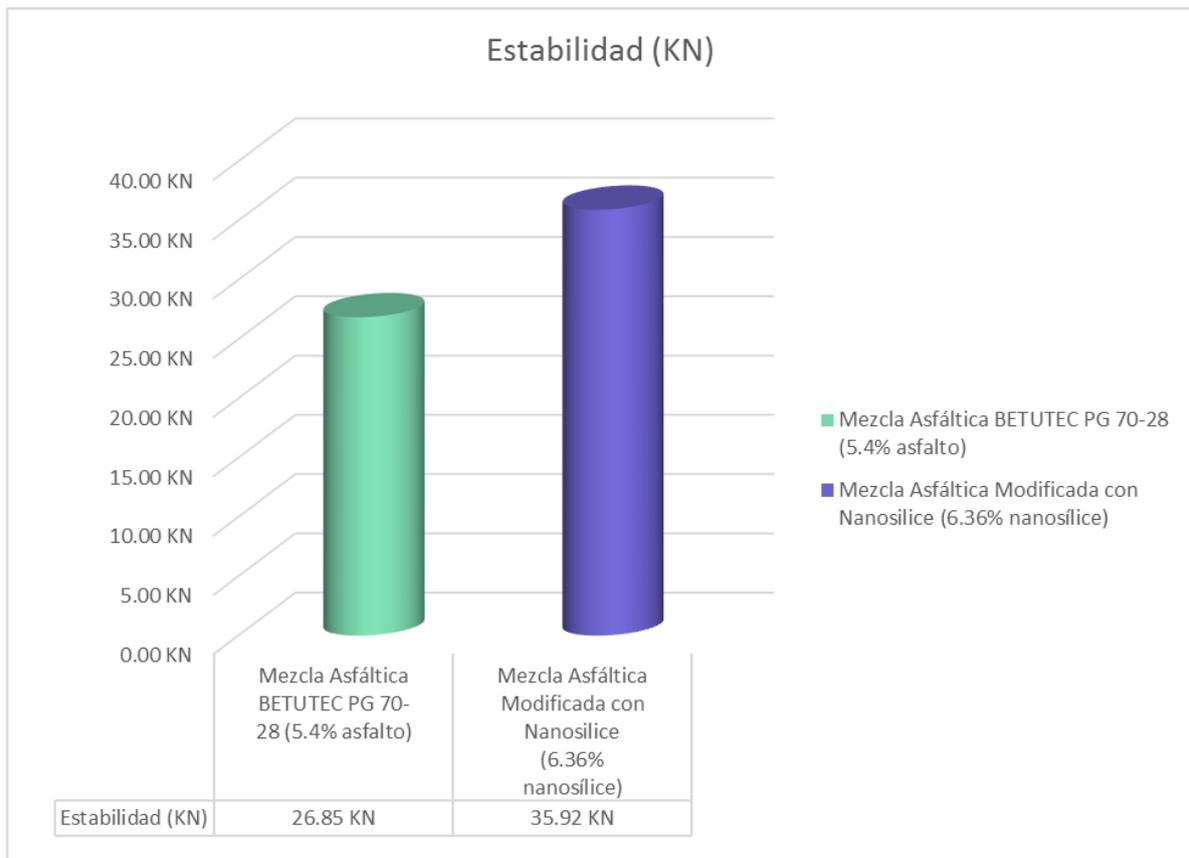


Figura 124: Estabilidad Marshall de probetas MAC BETUTEC PG 70-28 vs probetas modificadas con Nanosílice.

La Estabilidad de los especímenes MAC modificados con Nanosílice incrementa su valor en un 33.69% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

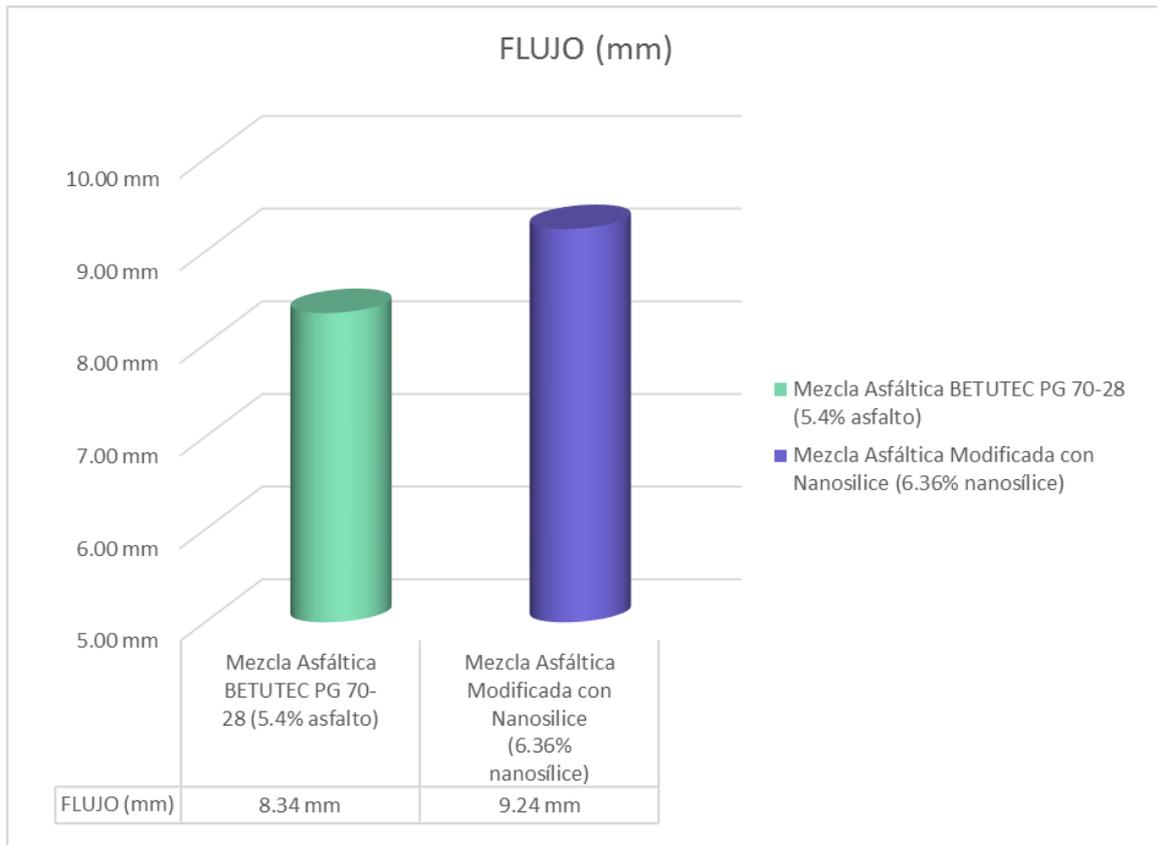


Figura 125: Flujo Marshall de probetas BETUTEC PG 70-28 vs probetas modificadas con Nanosilice.

El flujo de los especímenes MAC modificados con Nanosilice incrementa su valor en un 10.87% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

4.3. Resultados para Resistencia a la Compresión Diametral (Tracción Indirecta)

Tabla 120

Comparación de valores de Resistencia a Compresión Diametral para probetas al 5.4% de asfalto y al 6.36% de Nanosilice.

Resistencia a Compresion Diametral (ensayo brasilero)	
Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (5.4% asfalto)	Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosilice (6.36% nanosilice)
14.40 kgf/cm ²	13.58 kgf/cm ²

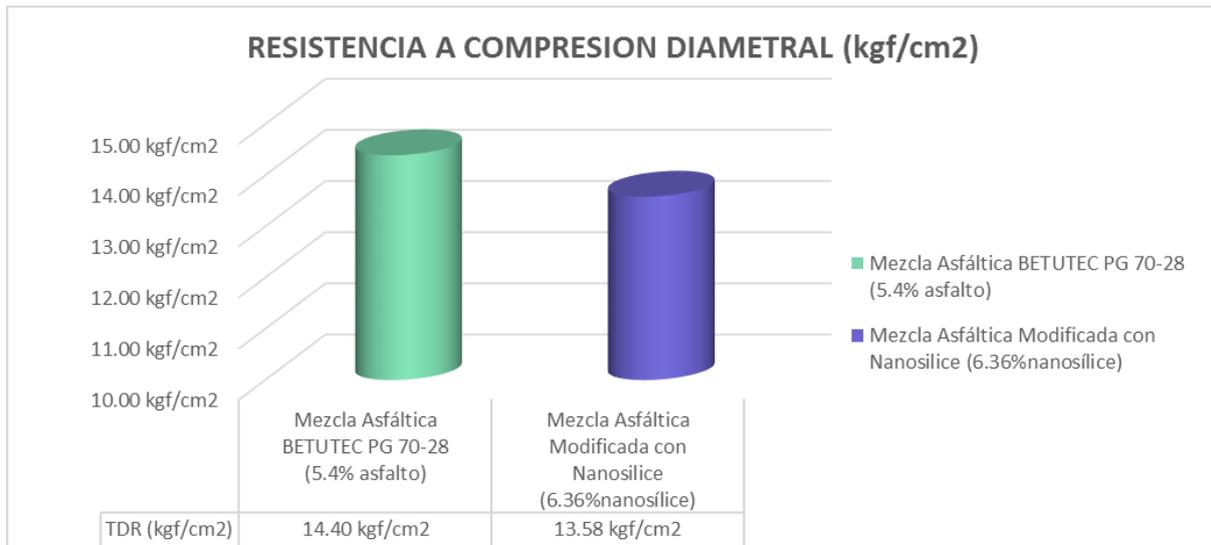


Figura 126: Resistencia a Compresión Diametral de probetas BETUTEC PG 70-28 vs probetas modificadas con Nanosilice.

La resistencia a compresión diametral de los especímenes MAC modificados con Nanosilice disminuye su valor en un 5.64% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

4.4. Resultados para parámetros volumétricos para probetas compactadas

Tabla 121

Comparación de los valores de parámetros volumétricos para probetas MAC BETUTEC PG 70-28 y modificadas con Nanosilice.

Parámetros Volumétricos	Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (5.4% asfalto)	Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosilice (6.36% Nanosilice)
VTM	3.83 %	3.04 %
VMA	13.56 %	13.54 %
VFA	72.40 %	78.02 %
Pba	2.24 %	2.25 %
Pbe	3.28 %	3.62 %

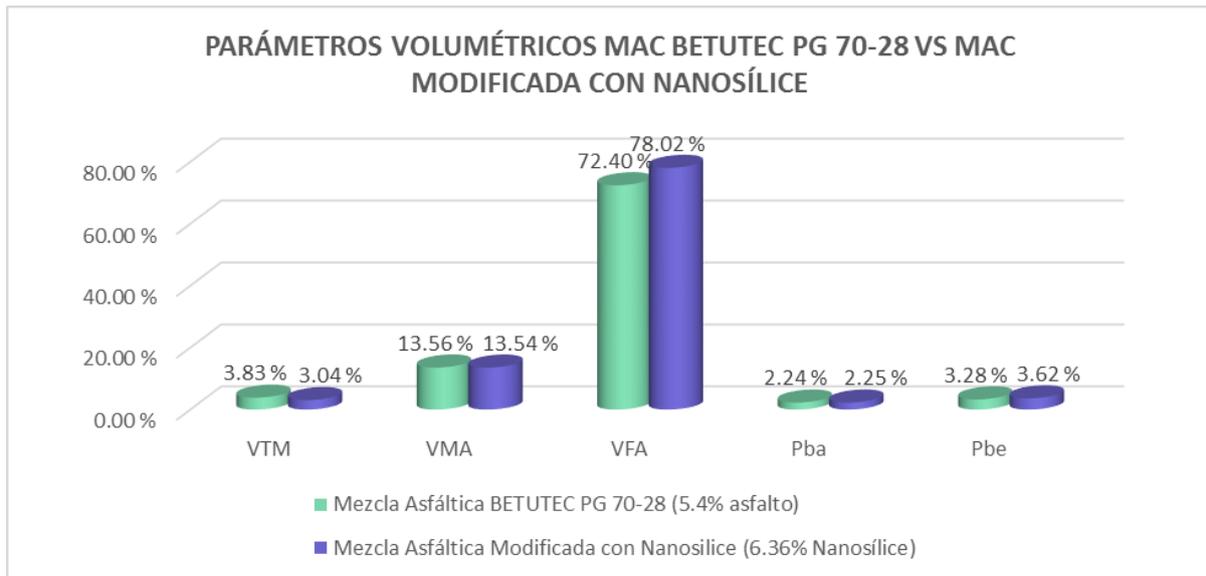


Figura 127: Parámetros Volumétricos de probetas al 5.4% de asfalto y de probetas al 6.36% de Nanosilice.

Los vacíos totales de la mezcla (VTM) de los especímenes MAC modificados con Nanosilice disminuye su valor en un 20.75% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) de los especímenes MAC modificados con Nanosilice disminuye su valor en un 0.15% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

Los vacíos llenos de asfalto (VFA) de los especímenes MAC modificados con Nanosilice incrementa su valor en un 7.76% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

El porcentaje de absorción del Asfalto (Pba) de los especímenes MAC modificados con Nanosilice incrementa su valor en un 0.49% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.

El porcentaje de Asfalto Efectivo (Pbe) de los especímenes MAC modificados con Nanosilice incrementa su valor en un 10.35% respecto a los especímenes MAC BETUTEC PG 70- 28.



4.5. Resultados de la correlación de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice.

Para hallar la correlación de los datos obtenidos de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice, usaremos el coeficiente de correlación de Pearson, el cual se utiliza para saber si existe una dependencia lineal entre las variables cuantitativas X y Y (Vladimirovna P. & Gutiérrez G., 2016)

Para la interpretación del coeficiente de correlación, (Gorgas García, Cardiel López , & Zamorano Calvo, 2011) en su Libro Estadística Básica para Estudiantes de Ciencias afirman lo siguiente:

Los valores del coeficiente de correlación ha de estar acotado entre los valores -1 y +1:

$$-1 \leq r \leq +1$$

De donde se establece los siguientes casos:

- Si $r = 0$, no existe correlación.
- Si $r = 1$, hay una correlación positiva o directa perfecta.
- Si $r = -1$, hay una correlación negativa o inversa perfecta.
- Si $0 < r < 1$, en este caso la correlación será positiva, pero no perfecta. La correlación será mejor cuanto más se acerque r a 1.
- Si $-1 < r < 0$, en este caso la correlación será negativa, pero no perfecta. La correlación será mejor cuanto más se acerque r a -1.

- Correlación entre el % de Nanosílice y la estabilidad de briquetas BETUTEC PG 70-28 con óptimo contenido de asfalto.**

Tabla 122

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de estabilidad.

%Nanosílice	Estabilidad					
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	N=	6
0.005	28.56	0.14	0.00	815.95	X _{media} =	0.04
0.015	33.81	0.51	0.00	1142.96	Y _{media} =	34.31
0.030	34.07	1.02	0.00	1161.01	S _{xy}	0.06
0.045	35.71	1.61	0.00	1275.22	S _x =	0.02
0.060	37.24	2.23	0.00	1386.88	S _y =	2.85
0.075	36.48	2.74	0.01	1330.85	X _{media} ²	0.00
		8.25	0.01	7112.85	Y _{media} ²	1177.38
					r=	0.86



Interpretación: El valor obtenido 0.86, representa que existe una correlación positiva entre el porcentaje de nanosílice y los valores de estabilidad, lo cual indica que las variables se correlacionan directamente, a mayor cantidad de nanosílice presenta mayores valores de estabilidad.

- **Correlación entre el % de Nanosílice y el flujo de briquetas BETUTEC PG 70-28 con óptimo contenido de asfalto.**

Tabla 123

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de flujo.

%Nanosílice	Flujo				N=	6
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	X _{media} =	0.04
0.005	9.18	0.05	0.00	84.30	Y _{media} =	12.93
0.015	11.95	0.18	0.00	142.80	S _{xy}	0.01
0.030	16.49	0.49	0.00	272.04	S _x =	0.02
0.045	15.81	0.71	0.00	249.84	S _y =	2.82
0.060	14.34	0.86	0.00	205.74	X _{media} ²	0.00
0.075	9.83	0.74	0.01	96.53	Y _{media} ²	167.27
		3.03	0.01	1051.25	r=	0.13

Interpretación: El valor obtenido 0.13, representa que existe una correlación positiva entre el porcentaje de nanosílice y los valores de flujo observando que r no se encuentra cercano a 1, lo cual indica que no presentan una buena correlación lineal, mostrando así un comportamiento más del tipo parabólico.

- **Correlación entre el % de Nanosílice y la densidad de briquetas BETUTEC PG 70-28 con óptimo contenido de asfalto.**

Tabla 124

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de densidad.

%Nanosílice	Densidad				N=	6
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	X _{media} =	0.04
0.005	2.36	0.01	0.00	5.56	Y _{media} =	2.35
0.015	2.37	0.04	0.00	5.63	S _{xy}	0.00
0.030	2.37	0.07	0.00	5.61	S _x =	0.02
0.045	2.36	0.11	0.00	5.55	S _y =	0.02
0.060	2.35	0.14	0.00	5.51	X _{media} ²	0.00
0.075	2.32	0.17	0.01	5.39	Y _{media} ²	5.54
		0.54	0.01	33.26	r=	-0.81

Interpretación: El valor obtenido -0.81, representa que existe una correlación negativa entre el porcentaje de nanosílice y los valores de densidad ya que el valor obtenido es cercano a -1



indica que se tiene una buena correlación lineal, lo cual indica que las variables se relacionan inversamente, a mayor cantidad de nanosílice presenta menores valores de densidad.

- **Correlación entre el % de Nanosílice y los respectivos parámetros volumétricos de briquetas BETUTEC PG 70-28 con óptimo contenido de asfalto.**

Tabla 125

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de VTM.

%Nanosílice	VTM				N=	6
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	X _{media} =	0.04
0.005	3.28	0.02	0.00	10.77	Y _{media} =	3.17
0.015	2.55	0.04	0.00	6.52	Sxy	0.01
0.030	2.63	0.08	0.00	6.91	Sx=	0.02
0.045	3.08	0.14	0.00	9.46	Sy=	0.55
0.060	3.25	0.19	0.00	10.55	X _{media} ²	0.00
0.075	4.24	0.32	0.01	17.95	Y _{media} ²	10.05
		0.78	0.01	62.16	r=	0.68

Interpretación: El valor obtenido 0.68, representa que existe una correlación positiva no perfecta entre el porcentaje de nanosílice y los valores de VTM, lo cual indica que, a mayor cantidad de nanosílice presenta mayores valores de VTM.

Tabla 126

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de VMA.

%Nanosílice	VMA				N=	6
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	X _{media} =	0.04
0.005	13.08	0.07	0.00	171.03	Y _{media} =	13.36
0.015	12.53	0.19	0.00	157.09	Sxy	0.02
0.030	12.78	0.38	0.00	163.23	Sx=	0.02
0.045	13.35	0.60	0.00	178.26	Sy=	0.72
0.060	13.68	0.82	0.00	187.14	X _{media} ²	0.00
0.075	14.74	1.11	0.01	217.30	Y _{media} ²	178.49
		3.16	0.01	1074.04	r=	0.86

Interpretación: El valor obtenido 0.86, representa que existe una correlación positiva no perfecta entre el porcentaje de nanosílice y los valores de VMA, lo cual indica que las variables se correlacionan directamente, a mayor cantidad de nanosílice presenta mayores valores de VMA.



Tabla 127

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílce y los valores de VFA.

%Nanosílce	VFA				N=	6
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	X _{media} =	0.04
0.005	75.00	0.37	0.00	5624.94	Y _{media} =	76.57
0.015	79.77	1.20	0.00	6363.91	S _{xy}	-0.04
0.030	79.51	2.39	0.00	6321.82	S _x =	0.02
0.045	77.28	3.48	0.00	5971.58	S _y =	2.88
0.060	76.55	4.59	0.00	5860.13	X _{media} ²	0.00
0.075	71.30	5.35	0.01	5083.26	Y _{media} ²	5862.66
		17.37	0.01	35225.64	r=	-0.56

Interpretación: El valor obtenido -0.56, representa que existe una correlación negativa entre el porcentaje de nanosílce y los valores de VFA ya que el valor obtenido no es cercano a -1 la correlación lineal no es muy buena, lo cual indica que las variables se relacionan inversamente, a mayor cantidad de nanosílce presenta menores valores de VFA.

Tabla 128

Coefficiente de correlación entre % de Nanosílce y los valores de Pbe.

%Nanosílce	Pbe				N=	6
X	Y	X.Y	X ²	Y ²	X _{media} =	0.038
0.005	0.03	0.00	0.00	0.00	Y _{media} =	0.035
0.015	0.03	0.00	0.00	0.00	S _{xy}	0.000
0.030	0.03	0.00	0.00	0.00	S _x =	0.024
0.045	0.04	0.00	0.00	0.00	S _y =	0.001
0.060	0.04	0.00	0.00	0.00	X _{media} ²	0.001
0.075	0.04	0.00	0.01	0.00	Y _{media} ²	0.001
		0.01	0.01	0.01	r=	1.00

Interpretación: El valor obtenido 1.00, representa que existe una correlación lineal positiva perfecta entre el porcentaje de nanosílce y los valores de Pbe, lo cual indica que las variables se correlacionan directamente, a mayor cantidad de nanosílce presenta mayores valores de Pbe.



CAPITULO V: DISCUSIÓN

Discusión N° 1:

¿Cuál es la comparación de los valores de Estabilidad y Flujo de la presente tesis y el antecedente “*THE CHARACTERISTICS OF HOTMIXED ASPHALT MODIFIED BY NANOSILICA*”?

Los resultados de la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28, muestran un contenido óptimo de asfalto de 5.4% y los de la Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice muestran un contenido óptimo de 6.36 % de nanosílice, evidenciando una similitud con los contenidos óptimos del antecedente, los cuales son de 5.5 % de asfalto para la Mezcla Asfáltica de Control y 6 % de nanosílice para la Mezcla Asfáltica Modificada.

Los valores de Densidad encontrados en la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (2.34 gr/cm³) y en la Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice (2.35 gr/cm³) difieren de los valores de Densidad encontrados en el antecedente para la Mezcla Asfáltica de Control (2.35 gr/cm³) y en la Mezcla Asfáltica Modificada con de Nanosílice (2.32 gr/cm³), evidenciando un ligero incremento en la Densidad en el caso de la presente investigación a diferencia de la disminución de los valores en el antecedente.

Los valores de Estabilidad encontrados en la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (26.85 KN) y en la Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice (35.92 KN) difieren de los valores de Estabilidad encontrados en el antecedente en la Mezcla Asfáltica de Control (10.23 KN) y en la Mezcla Asfáltica Modificada con de Nanosílice (12.73 KN); sin embargo, ambas investigaciones coinciden en que la adición de Nanosílice produce un incremento de la Estabilidad de la Mezcla Asfáltica.

Los valores de Flujo encontrados en la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (8.34 mm) y en la Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice (9.24 mm) difieren de los valores de Flujo encontrados en el antecedente en la Mezcla Asfáltica de Control (4.20 mm) y en la Mezcla Asfáltica Modificada con de Nanosílice (4.55 mm); sin embargo, ambas investigaciones coinciden en que la adición de Nanosílice produce un incremento en el Flujo de la Mezcla Asfáltica.



Discusión N° 2:

¿Qué se hizo con los agregados que no cumplen con los requerimientos de absorción estipulados en la norma EG 2013?

En el caso del agregado grueso que muestra valores de absorción superiores a los permitidos en la norma, se garantizó su durabilidad con los ensayos de Abrasión de los Ángeles y Durabilidad al Sulfato de Magnesio los cuales muestran valores de desgaste inferiores a los límites máximos permitidos.

En el caso de los agregados finos que muestran valores de absorción superiores a los permitidos en la norma, se garantizó su durabilidad con el ensayo Durabilidad al Sulfato de Magnesio el cual muestra valores de desgaste inferiores a los límites máximos permitidos, cumpliendo así con las indicaciones de la norma EG-2013, respecto a porcentajes mayores a los permitidos.

Discusión N° 3:

¿Los análisis granulométricos de los agregados finos y gruesos de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco provenientes de la cantera de Cunyac y Morroblanco, cumplen con los parámetros requeridos para la gradación MAC 2 de diseño de mezcla asfáltica Marshall?

Los análisis granulométricos, no cumplen con los requerimientos de la gradación MAC-2 para mezclas asfálticas en caliente; por lo cual, se realizó la combinación de los agregados gruesos y finos en proporciones de 30% de piedra chancada de ½", 35% de arena triturada y 35% de arena natural, garantizando así el cumplimiento de la gradación MAC-2.

Discusión N° 4:

¿Cómo influye la adición de Nanosílice en la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 respecto al ensayo de Tracción Indirecta según los resultados obtenidos en la presente investigación?

Debido a que el valor de la resistencia a la Tracción Indirecta de la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (14.40 kg/cm²) es ligeramente mayor al de la Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice (13.58 kg/cm²), indica que la adición de Nanosílice en un porcentaje de 6.36 % respecto al peso del ligante, a una Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 con 5.4% de asfalto respecto al peso total de la muestra, produce una ligera



disminución en la cohesión de la Mezcla Asfáltica Modificada y su resistencia a los esfuerzos cortantes.

Discusión N° 5:

¿Es posible que la Estabilidad de una Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice presente un mayor valor respecto a la de una Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28?

Al modificar la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 con Nanosílice en un porcentaje de 6.36% respecto al peso del asfalto, se observa un incremento de 33.69% en el valor de la estabilidad de la Mezcla Asfáltica, lo cual muestra un incremento en la resistencia de esta, siendo un indicador positivo para la presente investigación.

Discusión N° 6:

¿Es posible que el Flujo de una Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice presente un mayor valor respecto al de una Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28?

Al modificar la Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 con Nanosílice en un porcentaje de 6.36% respecto al peso del asfalto, se observa un incremento del 10.87 % en el valor del flujo de la Mezcla Asfáltica, lo cual evidencia la flexibilidad de esta.

Discusión N° 7:

¿La adición de Nanosílice en el ligante asfáltico logrará mejorar las características Físico-Mecánicas de las Mezclas Asfálticas elaboradas en la Región?

Si, ya que la presente investigación fue realizada con agregados y asfalto usados en los pavimentos de la región, siguiendo los requerimientos de la norma ajustados a las condiciones del lugar, evidenciando con los resultados, una mejora en las características físico-mecánicas de la mezcla asfáltica.

Hasta el momento no se han realizado investigaciones adicionando nanosílice a las mezclas asfálticas en la región; por lo cual, esta investigación pretende brindar un nuevo aporte sobre el estudio de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Nanosílice.



Discusión N° 8:

¿Cómo influye la incorporación de nanosílice en diferentes porcentajes, en la fluidez del asfalto?

Durante la realización de la presente investigación se evidenció que al incorporar nanosílice, a medida que el porcentaje del mismo se incrementa, disminuye la fluidez del ligante asfáltico. Este fenómeno se da al someter al ligante adicionado con el nanomaterial a altas temperaturas.

GLOSARIO

AASTHO: American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

Abrasión: Es la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.

Agrietamiento: Aparición o formación de grietas en una superficie (en el pavimento).

ASTM: American Society of Testing Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).

Betutec: Asfaltos modificados con polímeros elastoméricos, como el SBS u otros, de acuerdo a los requerimientos de los proyectos.

Bituminoso: Sustancia sólida o viscosa de color negro, son dúctiles por lo que se ablandan por el calor. Éstos provienen de crudos petrolíferos y también se obtienen de la destilación destructiva de sustancias de origen carbonoso.

Bulk: Abultado (Gravedad Específica Bulk: relación entre la masa (peso en el aire) de un volumen dado de material a una determinada temperatura).

EG: Especificaciones Generales.

Gradación: Disposición u orden de los agregados minerales en función a su tamaño o diámetro de partícula.

Ligante: Sustancia química aplicada para formar una capa entre dos sustratos determinados.

MAC: Mezcla Asfáltica en Caliente.



MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

NLT: Norma del Laboratorio del Transporte

Óptimo: Que es extraordinariamente bueno o el mejor, especialmente en lo que se refiere a las condiciones o características de una cosa, por lo cual resulta muy difícil o imposible encontrar algo más adecuado.

Patrón: Modelo que sirve de muestra para sacar otra cosa igual. Modelo que sirve de referencia de estudio.

PG: Performance Grade (Grado de Desempeño)

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Sub-Base: Capa de agregados pétreos, convenientemente graduados y compactados, que cumplen las Especificaciones Técnicas Generales y Especiales del proyecto, colocadas sobre la subrasante ya preparada.

TM: Tamaño Máximo.

TMN: Tamaño Máximo Nominal.



CONCLUSIONES

Conclusión N° 1:

Se demuestra parcialmente la Hipótesis General que dice: *“Los valores de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice difieren de manera positiva, respecto a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.”*, debido a que los resultados de la Estabilidad y Flujo Marshall de una mezcla asfáltica modificada con Nanosílice muestran un incremento respecto a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 (tabla 119 - pág. 184), el resultado de la Resistencia a la Compresión Diametral (TDR) de una mezcla asfáltica modificada con Nanosílice presenta una disminución respecto a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 (tabla 120 - pág. 185), en relación a los resultados de los parámetros volumétricos la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice presenta un menor porcentaje de vacíos del tipo VTM, un menor porcentaje de vacíos de tipo VMA, un mayor porcentaje de vacíos del tipo VFA, un mayor porcentaje de absorción de asfalto Pba y un mayor porcentaje de asfalto efectivo Pbe respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 (tabla 121 - pág. 186).

Conclusión N° 2:

Se demuestra parcialmente la Sub Hipótesis 1 que dice: *“La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta menores parámetros volumétricos que la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.”*, debido a que el resultado del porcentaje de vacíos del tipo VTM de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 3.04% que es menor al de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 el cual es 3.83%, en relación al porcentaje de vacíos de tipo VMA, el de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 13.54% que es ligeramente menor al de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 el cual es 13.56%, en relación al porcentaje de vacíos de tipo VFA, el de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 78.02% que es mayor al de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 el cual es 72.40%, en relación al porcentaje de absorción de asfalto Pba, el de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 2.25% que es ligeramente mayor al de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 el cual es 2.24%, en relación al porcentaje de asfalto efectivo Pbe, el de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 3.62% que es ligeramente mayor al de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 el cual es 3.28% (tabla 121 - pág. 186).



Conclusión N° 3:

Se demuestra la Sub Hipótesis 2 que dice: “***La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta un mayor valor de esfuerzo en el ensayo de estabilidad Marshall respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.***”, debido a que el resultado de estabilidad de una mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 35.92 KN que es mayor a la estabilidad de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 que es 26.85 KN (tabla 119 - pág. 184).

Conclusión N° 4:

Se demuestra la Sub Hipótesis 3 que dice: “***La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta un mayor nivel de deformación en el ensayo de flujo Marshall, respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.***”, debido a que el resultado de flujo de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 9.24 mm que es mayor al flujo de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 que es 8.34 mm (tabla 119 - pág. 184).

Conclusión N° 5:

Se demuestra la Sub Hipótesis 4 que dice: “***La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta un valor inferior de esfuerzo en el ensayo de Tracción Indirecta respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.***”, debido a que el resultado del ensayo de Resistencia a Compresión Diametral de una mezcla asfáltica modificada con Nanosílice es de 13.58 kgf/cm² que es menor a la Resistencia a Compresión Diametral de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 que es 14.40 kgf/cm² (tabla 120 - pág. 185).



RECOMENDACIONES

Recomendación N° 1:

Se recomienda realizar estudios reológicos al asfalto modificado con nanosílice a futuros investigadores que tengan interés en el tema de mezclas asfálticas para analizar la trabajabilidad del bitumen modificado, ya que durante la elaboración de las briquetas de mezclas asfálticas modificadas con nanosílice, se observó una variación en la viscosidad del ligante incorporado con el nanomaterial, conforme al incremento de porcentajes del modificante.

Recomendación N° 2:

Se recomienda realizar la modificación del cemento asfáltico a una temperatura de 170 a 180 °C con revoluciones de 3600 a 3800 rpm a futuros investigadores, especialmente estudiantes ya que ésta es la mejor opción para lograr una mejor integración entre los materiales, esto debido a que en la presente tesis se realizó la mezcla del asfalto BETUTEC y el nanosílice a una temperatura de 160 °C.

Recomendación N° 3:

Se recomienda realizar el ensayo de Rueda de Hamburgo a laboratoristas e investigadores que busquen conocer el comportamiento de una MAC modificada con nanosílice, para analizar el desempeño dinámico mediante la deformación permanente y la resistencia a la fatiga, así como el ensayo de permeabilidad para conocer la porosidad que tiene esta, dado que en la presente tesis se realizó el estudio de las mezclas asfálticas analizándolas mediante ensayos correspondientes al método Marshall, con la finalidad de complementar la investigación y de esta manera obtener resultados más cercanos a la realidad.

Recomendación N° 4:

Se recomienda realizar el diseño de mezclas asfálticas según el método SUPERPAVE a futuros investigadores y estudiantes de carreras afines al tema, con el fin de ampliar la investigación, ya que para el diseño de mezclas de la presente tesis se utilizó el método Marshall.



Recomendación N° 5:

Se recomienda ampliar la investigación mediante la sustitución parcial del ligante asfáltico por nanosílice en diferentes porcentajes, a personas interesadas en investigar el tema de mezclas asfálticas, para conocer cómo reacciona la MAC modificada con nanosílice con este cambio, ya que en la presente investigación se analizó el comportamiento de una mezcla asfáltica al adicionarle nanosílice en diferentes porcentajes.

Recomendación N° 6:

Se recomienda realizar un análisis químico a la mezcla asfáltica a investigadores interesados en conocer nuevas tecnologías en pavimentos, para conocer las características de la reacción química entre el ligante asfáltico con el nanosílice en la mezcla asfáltica, debido a que en la presente tesis se analizaron las características físico-mecánicas de las mezclas.

Recomendación N° 7:

Se recomienda el uso adecuado y permanente de EPP's durante la realización de los ensayos en laboratorio, a todos los investigadores que realicen ensayos prácticos para garantizar la salud y seguridad de los involucrados en el desarrollo de la tesis. También se recomienda que todos los equipos y herramientas a utilizar, se encuentren debidamente calibrados para garantizar la calidad y veracidad de los resultados.



REFERENCIAS

- Álvarez Loya, M. F., & Sandoval Navarro, I. (2011). Estudio del efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas del "Mástico". *VII Congreso mexicano del asfalto - AMAAC 2011*, (pág. 4). Ciudad de México.
- Avila Acosta, R. (2010). *Estadística Elemental*. Lima, Perú: Estudios y Ediciones RA.
- Behar Rivero, D. S. (2008). Metodología de la Investigación. En D. S. Behar Rivero, *Metodología de la Investigación* (pág. 40). Colombia: Editorial Shalom.
- Burgos Vásquez, B. M. (2014). *Análisis Comparativo entre un Pavimento Rígido y un Pavimento Flexible para la Ruta S/R: Santa Elvira - El Arenal, en la comuna de Valdivia*. Tesis pregrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Cáceres Morales, C. A. (Noviembre de 2007). Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México. *Capítulo 4. Pruebas de desempeño para mezclas asfálticas*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Chileno Yachi, M. A. (2017). Relación del aditivo Nanosílice en la resistencia del concreto en la Urbanización Chorrillos - Ciudad de Huancayo, 2016. Huancayo, Perú: Universidad Peruana de los Andes.
- Dávila, M., Da Costa, D., & Duarte, D. (2013). EFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN CEMENTOS Y CONCRETOS. *EFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN CEMENTOS Y CONCRETOS*. Venezuela. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/312377045_Efecto_de_la_adicion_de_nanosilice_en_cementos_y_concretos
- Delgado, H., Gómez, J. A., & Garnica, P. (2019). *Diseño de mezclas asfálticas con la metodología Superpave (Nivel 1)*. México: Instituto Mexicano del Transporte.
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: Enciclopedia cubana: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Nanomateriales&action=edit>
- Eliozondo Arrieta, F., Salazar Delgado, J., & Villegas Villegas, E. (2010). Caracterización de asfaltos modificados con diferentes aditivos. (U. d. Rica, Ed.) *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 20(1-2), 81-82.
- Estrada Escalante, V. R. (2017). Estudio y análisis de desempeño de Mezcla Asfáltica Convencional PEN 85/100 Plus Y Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Tipo SBS PG 70 - 28. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Forigua Orjuela, J. E., & Pedraza Díaz, E. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE DESPERDICIOS PLÁSTICOS*. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Galeote Moreno, E. (Junio de 2012). *Influencia de la nanosílice sobre las características de un microhormigón de ultra alta resistencia*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Garnica, P., Delgado, H., & Sandoval, C. D. (2005). *Análisis Comparativo de los Métodos Marshall y Superpave para Compactación de Mezclas Asfálticas*, 3. Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt271.pdf>



- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J. A., Alonso, S., & Alarcón, H. A. (2004). *ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Garnica, P., Delgado, H., & Gomez, J. (2004). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MÉTODO DE COMPACTACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Queretaro, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Garrote Villar, E. (2006). *Efecto de la temperatura en la tenacidad de diferentes mezclas bituminosas*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gorgas García, J., Cardiel López, N., & Zamorano Calvo, J. (2011). *Estadística Básica para Estudiantes de Ciencias*. Madrid.
- Haddadi, F., & Hasaninia, M. (24 de Marzo de 2017). *The characteristics of hot mixed asphalt modified by nanosilica*. Tehran, Tehran, Iran: Iran University of Science and Technology. doi:10.1080/10916466.2016.1258412
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Huamán Guerrero, N. (2011). *La deformación permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú*. Tesis para maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- INSHT. (2015). *Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/96076/sst+nanomateriales/bd21b71f-d5ec-4ee8-8129-a4fa58480968>
- Instituto Nacional de Vías. (2007). *ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE*. Colombia: Instituto Nacional de Vías.
- Jal, P. K., Sudarshan, M., Saha, A., Patel, S., & Mishra, B. K. (2004). Synthesis and characterization of nanosilica prepared by precipitation method. *Colloids and Surfaces A:Physicochem and Engineering Aspects*, 173-178.
- La República. (1 de Marzo de 2020). *La República*. Obtenido de <https://larepublica.pe/sociedad/2020/03/01/la-cultura-la-avenida-de-los-mil-baches-en-cusco-lrsd/?ref=lre>
- Leiva Villacorta, F., Aguiar Moya, J. P., Villegas Villegas, R. E., Salazar Delgado, J., & Loría Salazar, L. G. (2014). *Nano-materiales en el desempeño del Asfalto*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales UCR.
- Lizarazo Salcedo, C. G., González Jiménez, E. E., Arias Portela, C. Y., & Guarguati Ariza, J. (2018). Nanomateriales: un acercamiento a lo básico. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 109-118.
- Maila Paucar, M. E. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Molina Villar, F. R., & Chara Surco, H. (2017). *INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DE UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA*. Arequipa, Arequipa, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN.



- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Moreno Rubio, J. (2005). *Efecto de equipo y procedimiento de medida en la determinación del módulo resiliente y resistencia a tracción indirecta en las mezclas bituminosas*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- MTC. (Mayo de 2016). Manual de Ensayo de Materiales. Perú.
- MTC. (Enero de 2018). "GLOSARIO DE TÉRMINOS" de uso frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial. 17. Lima, Perú.
- Noreña Valverde, N. (2008). Determinación de la pérdida de adhesividad por tracción indirecta en mezclas asfálticas compactadas. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Padilla Rodríguez, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Quispe Castro, E. D., & Torres Meza, D. A. (2020). *Diseño de mezcla asfáltica auto reparable mediante inducción de calor, para controlar fallas superficiales de tráfico pesado en vías metropolitanas de Lima*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima.
- Ramírez Arrieta, S. S. (2017). Caracterización hidráulica de mezclas asfálticas abiertas mediante la técnica de Espectroscopia de impedancia electroquímica. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez Cheda, J. B. (2012). Nuevos Materiales y Sistemas para la Ejecución. *Nanosílce*.
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Salazar Delgado, J. (Noviembre de 2008). *Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de Polímeros Modificantes de Asfalto incorporados en planta*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales Modelos Estructurales.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2005). *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES*. México, México. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-004-05.pdf>
- Silvestre Velasquez, D. (2017). *Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de lima-2017*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- TDM Asfaltos. (2016). TDM Asfaltos. *TDM Asfaltos*. Obtenido de TDM Asfaltos: <http://www.tdmasfaltos.com.pe/>
- TDM Asfaltos. (31 de Enero de 2019). FICHA TÉCNICA. *BETUTEK PG 70 - 28*.
- THE ASPHALT INSTITUTE. (2000). *Manual del Asfalto, Productos Asfálticos S. A*. Madrid, España.
- Ulmen S.A. (26 de Agosto de 2016). *GAIA Nanosílce*. Santiago, Chile: Ulmen S.A. Obtenido de [http://www.ulmen.cl/templates/ulmen_template/fichas_tecnicas/FT_GAIA%20Nanosilice%20\(Ago%202016\).pdf](http://www.ulmen.cl/templates/ulmen_template/fichas_tecnicas/FT_GAIA%20Nanosilice%20(Ago%202016).pdf)
- Vladimirovna P., O., & Gutiérrez G., E. (2016). *Estadística inferencial para ingenierías y ciencias*. México: Grupo Editorial Patria.



ANEXOS

Tabla 129:

Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				METODOLOGÍA		
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	Enfoque
Problema General ¿Cuál es el análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28?	Objetivo General Analizar comparativamente las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	Hipótesis General Los valores de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce difieren de manera positiva, respecto a las de una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.		Independientes	Asfalto BETUTEK PG 70-28 Agregados minerales Filler	• Cuantitativo
Problemas Específicos a) ¿Cuál es el análisis comparativo de los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28?	Objetivos Específicos a) Analizar comparativamente los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	Sub Hipótesis a) La mezcla asfáltica modificada con nanosilíce presenta menores parámetros volumétricos que la mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	X1: Mezcla asfáltica		Asfalto BETUTEK PG 70-28 Agregados minerales Filler Nanosilíce	• Descriptivo
b) ¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28?	b) Analizar comparativamente la estabilidad de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	b) La mezcla asfáltica modificada con nanosilíce presenta un mayor valor de esfuerzo en el ensayo de estabilidad Marshall respecto a la mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.		Dependientes	Vacios totales de la mezcla Absorción del Asfalto Vacíos en el agregado mineral Vacíos llenos de asfalto Porcentaje de asfalto efectivo	• Experimental
c) ¿Cuál es el análisis comparativo del flujo de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28?	c) Analizar comparativamente el flujo de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce frente a la de una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	c) La mezcla asfáltica modificada con nanosilíce presenta un mayor nivel de deformación en el ensayo de flujo Marshall, respecto a la mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	Y1: Propiedades Físico-Mecánicas		Parámetros volumétricos Estabilidad Flujo Tracción Indirecta	Población • Briquetas con mezcla asfáltica patrón y modificada.
d) ¿Cuál es el análisis comparativo de la tracción indirecta de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28?	d) Analizar comparativamente la tracción indirecta de una mezcla asfáltica modificada con nanosilíce frente a la de una mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.	d) La mezcla asfáltica modificada con nanosilíce presenta un valor inferior de esfuerzo en el ensayo de Tracción Indirecta respecto a la mezcla asfáltica BETUTEK PG 70-28.			Esfuerzo	Muestra • Briquetas con mezcla asfáltica patrón y modificada.



FICHA TÉCNICA BETUTEC PG 70 - 28 ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO



DESCRIPCIÓN

Es un cemento asfáltico modificado con polímero elastómero del tipo estireno-butadieno-estireno (SBS).

VENTAJAS

Las mezclas asfálticas fabricadas con BETUTEC PG 70 - 28 ofrecen las siguientes ventajas técnicas:

- Reducción de la susceptibilidad térmica.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas.
- Incremento del módulo de rigidez a altas temperaturas.
- Mayor adhesividad de los agregados.
- Aumento de la resistencia a la tracción y a la elongación.
- Incremento de la vida útil de los pavimentos, por su mayor resistencia al envejecimiento, a la propagación de grietas y a la formación de ahuellamientos.
- Reduce los costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica con el tiempo.

ESPECIFICACIONES

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	BETUTEC PG 70 - 28	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Punto de ablandamiento, °C	D 36	60	75
Penetración, 25°C, 5 s, dmm	D 5	70	---
Punto de inflamación, °C	D 92	235	---
Recuperación Elástica Lineal, 25°C, 20 cm, %	D 6084	70	---
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	15	---
Viscosidad Brookfield, 135°C, cP	D 4402	---	3000
Viscosidad Brookfield, 145°C, cP	D 4402	---	1000
Viscosidad Brookfield, 175°C, cP	D 4402	---	---
Estabilidad al almacenamiento, 163°C, 48 horas	D 7173	MÍNIMO	MÁXIMO
Diferencia en punto de ablandamiento, °C	D 36	---	5
Diferencia en Penetración, dmm	D 5	---	10
Sobre el residuo después de Película Fina Delgada	D 1754	MÍNIMO	MÁXIMO
Variación de masa, %	D 1754	---	1
Penetración, 25°C, 5 s, % del original	D 5	65	---
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	8	---
Punto de Ablandamiento, diferencia del original	D 36	-5	10
Sobre el residuo después del Efecto de Aire y Calor	D 2872	MÍNIMO	MÁXIMO
Deformación Creep y Recuperación Elástica	D 7405	---	---
- Recuperación mínima @ 3,200 Pa,%	D 7405	15	---
- Pérdida máxima de recuperación, 100-3,200 Pa, %	D 7405	---	75



Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos y Morteros

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento técnico de Industrias Ulmen S.A. Certifica que el producto que se indica cumple los requisitos de uniformidad indicados en la norma NTP 334.088, y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA
Lote : 320120
Fabricado : 23/01/2020
Vence : 23/07/2020

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Sólidos	5 ± 2	5
Densidad	1,03 ± 0,02 (g/ml)	1,030
Sólidos	15 ± 1,8 (%)	14,9
Color	Blanco Opalescente	Cumple

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2015

Alfredo Marín Tovar
Encargado de Control de Calidad
Industrias Ulmen S.A.

www.ulmen.cl

ulmen@ulmen.cl



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Cusco, 10 de noviembre de 2021

Oficio N° 001 – 2021 / INGEOMAT-UAC

SEÑORA : Mgt. Ing. Ana Elizabeth Aguirre Abarca
Decana de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

ASUNTO : Ensayos de laboratorio realizados para Tesis de Mezcla Asfáltica Modificada

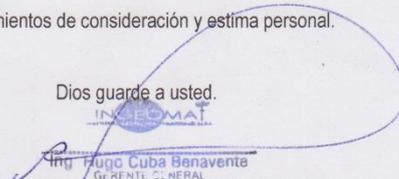
REF. : Contrato de Alquiler de Laboratorio Sujeto a Modalidad de Servicio Específico

Tengo el agrado de dirigirme a usted para expresarle mi cordial saludo y al mismo tiempo comunicarle que los tesisistas Carlos Eduardo Estrada Gutierrez identificado con DNI N° 70449582 y Danitza Karolayn Santos Vizcarreta identificada con DNI N° 71469033, iniciaron las pruebas de laboratorio correspondientes a la Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28", el día 30 de Junio del 2021, finalizando el día 8 de Octubre del 2021 realizando los siguientes ensayos:

1. Ensayos de equivalente de arena para Arena Natural y Arena Triturada.
2. Durabilidad al Sulfato de Sodio de Agregados Finos y Gruesos.
3. Elaboración de Briquetas de Mezcla Asfáltica Patrón y Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice.
4. Parámetros Volumétricos de Briquetas de Mezcla Asfáltica Patrón y Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice.
5. Estabilidad y Flujo Marshall de Briquetas de Mezcla Asfáltica Patrón y Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice.
6. Tracción Indirecta (Método Brasileiro) de Briquetas de Mezcla Asfáltica Patrón y Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice.

Hago propicia la oportunidad para expresarle mis sentimientos de consideración y estima personal.

Dios guarde a usted.


INGEOMAT
Ing. Hugo Cuba Benavente
GERENTE GENERAL
Ing. Hugo Cuba Benavente
Gerente General del Laboratorio INGEOMAT