

- Conseguida ya la mezcla en caliente se procede a limpiar completamente los moldes previamente calentados y se coloca un pedazo de papel no absorbente cortado del mismo diámetro de la base del molde antes de verter la mezcla.
- Se vierte la mezcla en el molde ensamblado y se chusea de forma vigorosa con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior.



Figura 88: Vertido y chuseado de la mezcla asfáltica en caliente.

- Para seleccionar la clase de mezcla según los requisitos para mezcla de concreto bituminoso, se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 64:

Criterios de diseño de Mezcla asfáltica para el Método Marshall.

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	$EAL < 10^4$	$10^4 \leq EAL < 10^6$	$EAL \geq 10^6$
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 -14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos, en el agregado mineral***, VMA (min - max)	Ver Tabla 32		
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min – max)	70 - 80	65 -78	65 -75

Fuente: Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos.



- Se utilizan los parámetros de un Tránsito pesado para el diseño de la Mezcla Asfáltica, los cuales son los mismos que la Tabla 65 para la Clase A, siendo así el caso mas crítico de exposición de la mezcla asfáltica.

Tabla 65:

Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.

Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:
$$\frac{1}{\text{GEB } 50 - \text{GEB } 5}$$

Siendo GEB50 v GEB5. las aravedades específicas bulk de las briquetas a 50 v 5 golpes.

Fuente: Norma EG-2013.

- Se coloca el anillo de fijación y el martillo de compactación manual dentro del molde y se aplica el número de golpes según especificaciones, en este caso 75 golpes. Culminados los golpes se procede a remover el collarín y la placa base para voltear, reensamblar el molde y aplicar el mismo número de golpes a la otra cara del espécimen. Culminada la compactación en ambas caras, retirar el espécimen y dejarlo enfriar hasta temperatura ambiente.



Compactación
de la 1ra cara



Compactación
de la 2da cara

Figura 89: Compactación de la mezcla asfáltica en caliente.

- Pasado el tiempo necesario para su enfriamiento, se procede a extraer la muestra compactada mediante el eyector de muestras.



Figura 90: Extracción de espécimen asfáltico del molde con el eyector.

- Este procedimiento debe ser realizado para cada espécimen bajo las mismas condiciones de temperatura, cantidad y calidad de agregados (finos, gruesos y filler), cantidad y calidad de asfalto por cada porcentaje de este. Se realiza 4 especímenes por cada porcentaje de ligante asfáltico.



Figura 91: Especímenes de mezcla asfáltica patrón BETUTEC PG 70-28.



3.5.2.2. Preparación de los especímenes Marshall Modificados con Nanosílice (MTC E504)

c) Equipos utilizados en la prueba.

- Moldes de compactación
- Compactador manual Marshall.
- Balanza de precisión
- Eyector de muestras de asfalto
- Horno eléctrico
- Cocina
- Juego de tamices
- Termómetro
- Espátula

d) Procedimiento

- Se seca los agregados hasta obtener peso constante entre 105°C y 110°C y se separa por tamizado en las siguientes mallas:

$\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ "

$\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ "

$\frac{3}{8}$ " a N°4

N°4 a N°10

N°10 a N°40

N°40 a N°80

N°80 a N°100

N°100 A N° 200

- Se pesa los agregados para cada espécimen y se calienta en el horno a la temperatura de la mezcla. Así mismo se coloca los moldes de compactación y sus bases al horno a una temperatura entre 90 a 150 °C.



Figura 92: Colocación de agregados y moldes al horno.

- De la misma manera se calienta el ligante asfáltico BETUTEC PG 70 - 28 para luego verterlo en el recipiente de mezclado manual y realizar el pesaje del mismo para obtener la cantidad necesaria para cada espécimen por cada porcentaje de asfalto requerido.



Figura 93: Pesaje del ligante asfáltico BETUTEC PG 70-28

- Luego se procede a pesar la cantidad necesaria de nanosílice para cada porcentaje con respecto al peso del asfalto óptimo obtenido de la mezcla asfáltica patrón. Obtenido el peso necesario del modificante, procedemos a incorporarlo al asfalto en caliente previamente pesado, mezclando vigorosamente hasta obtener un ligante homogéneo.



Figura 94: Incorporación de Nanosílice en el ligante asfáltico.

- Obtenido el peso necesario de asfalto mezclado con nanosílice en caliente, se procede a incorporar el agregado grueso y fino, se mezclan los agregados con el ligante modificado a una temperatura de 160°C procurando que estén totalmente cubiertos por dicho material bituminoso.



Figura 95: Incorporación de agregados.



Figura 96: Mezclado de agregados y ligante asfáltico modificado.



- Conseguida ya la mezcla en caliente se procede a limpiar completamente los moldes previamente calentados y se coloca un pedazo de papel no absorbente cortado del mismo diámetro de la base del molde antes de verter la mezcla.
- Se vierte la mezcla en el molde ensamblado y se chusea de forma vigorosa con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior.



Figura 97: Chuseado de la mezcla asfáltica modificada en caliente.

- Se coloca el anillo de fijación y el martillo de compactación manual dentro del molde y se aplica el número de golpes según especificaciones, en este caso 75 golpes. Culminados los 75 golpes se procede a remover el collarín y la placa base para voltear, reensamblar el molde y aplicar el mismo número de golpes a la otra cara del espécimen. Culminada la compactación en ambas caras, retirar el espécimen y dejarlo enfriar hasta temperatura ambiente.



Figura 98: Compactación de la mezcla asfáltica modificada en caliente.



- Pasado el tiempo necesario para su enfriamiento, se procede a extraer la muestra compactada mediante el eyector de muestras.



Figura 99: Extracción de espécimen asfáltico modificado del molde con el eyector.

- Este procedimiento debe ser realizado para cada espécimen bajo las mismas condiciones de temperatura, cantidad y calidad de agregados (finos, gruesos y filler), cantidad y calidad de asfalto óptimo y nanosílice por cada porcentaje del mismo. Se realiza 4 especímenes por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con nanosílice.



Figura 100: Especímenes de mezcla asfáltica modificada con nanosílice.



3.5.3. Ensayos a los especímenes de mezcla asfáltica.

3.5.3.1. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca, Gmb. (MTC E 514).

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza electrónica
- Baño con agua para inmersión del espécimen.
- Franela
- Canastilla de flotación

b) Procedimiento

- Se procede a pesar el espécimen Marshall seco después que haya permanecido a temperatura ambiente por lo menos una hora. Se denomina como “A” a este peso.

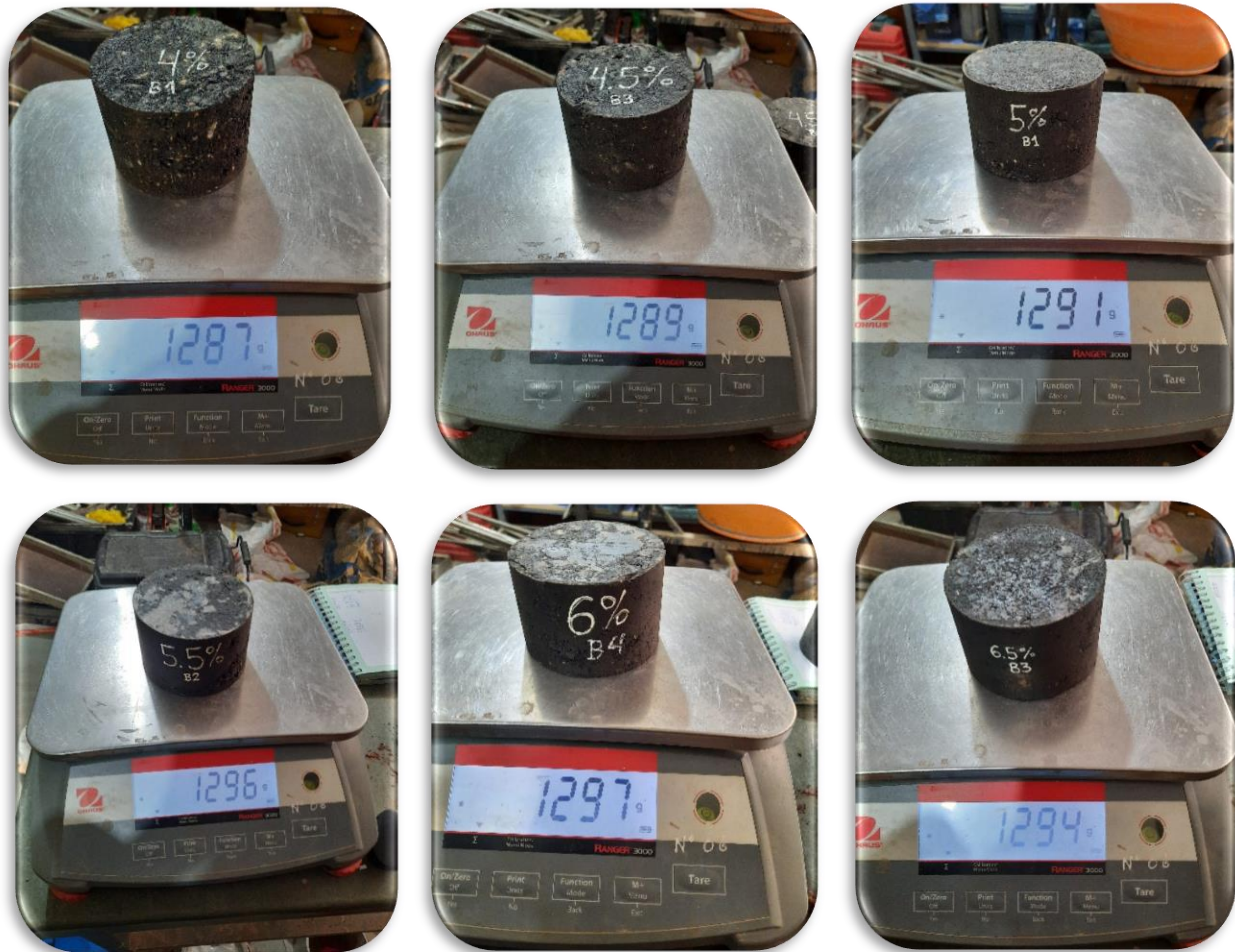


Figura 101: Peso seco de los especímenes.

- Se introduce el espécimen en un baño con agua a una temperatura de 25°C entre 3 y 5 min.



Figura 102: Introducción de especímenes al baño María a 25°C.

- Se sumerge el espécimen en la canastilla de flotación y se obtiene el peso “C”, que es el peso del espécimen en agua.



Figura 103: Peso del espécimen en agua.

- Por último, se retira la muestra de la canastilla y se seca superficialmente con una franela. Se pesa nuevamente en su condición actual saturado superficialmente seco, peso “B”.



Secado superficial
del espécimen



Peso saturado
superficialmente
seco

Figura 104: Peso de espécimen saturado superficialmente seco.

c) Toma de datos

Tabla 66

Toma de datos del ensayo Peso Específico Aparente de Briquetas PG 70-28. Muestra B1- 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/cm ³		Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente				Gravedad Especifica Bulk				Promedio Gsa y Gsb			
Densidad de cemento	2.80 gr/cm ³						2.73 gr/cm ³				2.57 gr/cm ³				2.65 gr/cm ³			
		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3								
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12					
Nº de Probeta	4.00%												5.00%					
% de Asfalto	4.00%												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 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 SSS (g)	1290	1294	1297	1290	1289	1290	1292	1290	1293	1289	1293	1296						
Gmb																		
Densidad (g/m ³)																		
Densidad Prom. (g/m ³)																		
Fluidez (0.25 mm)																		
Fluidez Media (0.25 mm)																		
Dial (Divisiones)																		
Factor de Coreccion 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 67

Toma de datos del ensayo Peso Especifico Aparente de Briquetas PG 70-28. Muestra B13- 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
Solicitante: CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
UBICACIÓN: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO
DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3	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	
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3											
Nº de Probeta	Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6			
% de Asfalto	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24
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 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 SSS (g)	1291	1297	1292	1293	1286	1293	1298	1297	1291	1294	1294	1294
Gmb												
Densidad (g/m3)												
Densidad Prom. (g/m3)												
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 (Vacios Totales de la Mezcla)												
Promedio VTM												
VAM (Vacios en el Agregado Mineral)												
Promedio VAM												
VFA (Vacios Llenos de Asfalto)												
Promedio VFA												

Tabla 68

Toma de datos del ensayo Peso Especifico Aparente de Briquetas Modificadas con Nanosilice. Muestra BNI- 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"
Muestra: CANTERAS MORROBLANCO-CUNYAC
Solicitante: CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ
UBICACIÓN: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO
DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.02 gr/cm3	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	
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3											
Densidad del nanosilice	1.03 gr/cm3											
Nº de Probeta	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
% de Asfalto (óptimo)	BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6	BN7	BN8	BN9	BN10	BN11	BN12
% NANOSILICE (respecto al asfalto)	5.40%				5.40%				5.40%			
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 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 SSS (g)	1289	1287	1288	1290	1287	1287	1290	1292	1285	1291	1288	1292
Gmb												
Densidad (g/m3)												
Densidad Prom. (g/m3)												
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 (Vacios Totales de la Mezcla)												
Promedio VTM												
VAM (Vacios en el Agregado Mineral)												
Promedio VAM												
VFA (Vacios Llenos de Asfalto)												
Promedio VFA												



Tabla 69

Toma de datos del ensayo *Peso Especifico Aparente de Briquetas Modificadas con Nanosilice. Muestra BN13- 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 NANOSILICE 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												Gravedad Especifica Aparente	2.73 gr/cm3	Gravedad Especifica Bulk	2.57 gr/cm3	Promedio Gsa y Gsb	2.65 gr/cm3
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3	Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6									
Densidad del nanosilice	1.03 gr/cm3	BN13	BN14	BN15	BN16	BN17	BN18	BN19	BN20	BN21	BN22	BN23	BN24						
Nº de Probeta		5.40%				5.40%				5.40%									
% de Asfalto (óptimo)		4.50%				6.00%				7.50%									
% NANOSILICE (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 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 SSS (g)		1292	1285	1288	1290	1294	1289	1290	1287	1290	1291	1291	1290						
Gmb																			
Densidad (g/m3)																			
Densidad Prom. (g/m3)																			
Fluidez (0.25 mm)																			
Fluidez Media (0.25 mm)																			
Dial (Divisiones)																			
Factor de Coreccion 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 70

Toma de datos del ensayo *Peso Especifico Aparente de Briquetas con % óptimo 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, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSILICE 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	1.020000 gr/cm3	Combinación de Agregados												Gravedad Especifica Aparente	2.72688 gr/cm3	Gravedad Especifica Bulk	2.57266 gr/cm3	Promedio Gsa y Gsb	2.64967 gr/cm3
Densidad de cemento	2.800000 gr/cm3	Muestras con % Óptimo de Asfalto				Muestras con % Óptimo de Nanosilice													
Densidad del nanosilice	1.030000 gr/cm3	B1	B2	B3	B4	BN1	BN2	BN3	BN4										
Nº de Probeta		5.40%				5.40%													
% de Asfalto (óptimo)		-				6.36%													
% NANOSILICE (respecto al asfalto)						0.34%													
% NANOSILICE (respecto a la briqueta)						5.74%													
% TOTAL DE LIGANTE																			
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 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 SSS (g)		1288.00	1291.00	1288.00	1296.00	1292.00	1290.00	1295.00	1297.00										
Gmb																			
Densidad (g/m3)																			
Densidad Prom. (g/m3)																			
Fluidez (0.25 mm)																			
Fluidez Media (0.25 mm)																			
Dial (Divisiones)																			
Factor de Coreccion 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																			



3.5.3.2. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504).

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Máquina de carga a compresión Marshall
- Dispositivo de medida de carga
- Medidor de flujo
- Baño María
- Horno
- Cabezal de rotura
- Termómetro
- Vernier

b) Procedimiento

- En este ensayo, se considera un mínimo de 3 especímenes que cuenten con las mismas características, éstos se enfrían a temperatura ambiente luego de la compactación. Se toma las medidas de cada muestra antes de ser ensayadas para hallar su volumen.



Figura 105: Toma de medidas de los especímenes.

- El ensayo se lleva a cabo luego 24 h de haber compactado los especímenes. El Baño María se debe mantener a una temperatura de $60 \pm 1^\circ\text{C}$, se procede a colocar los especímenes Marshall a ser ensayados por un período de 30 a 40 minutos. Las muestras se colocan una tras otra, de tal manera que todas fueran calentadas el tiempo antes mencionado.



Figura 106: Colocado de especímenes en el baño María a 60°C durante 30 a 40 minutos.

- Pasado el tiempo indicado en el baño María, se retiran las muestras y se colocan en el cabezal de rotura, para esto se debe limpiar y lubricar el cabezal previamente y debe encontrarse a una temperatura entre 20 a 40°C.



Figura 107: Lubricado y toma de temperatura del cabezal de rotura Marshall.

- Luego se colocan los especímenes en la prensa una por una, teniendo como máximo 30 segundos para ser ensayadas después de haberlas sacado del baño María. Se coloca el flujómetro sobre la barra guía y se comprueba que la lectura inicial sea cero. Se aplica la carga a una velocidad de deformación 50 mm/min hasta que ocurra la falla. Se determina la estabilidad y el flujo anotando las lecturas de los respectivos diales.



Figura 108: Ejecución de ensayo en la Máquina de carga a compresión Marshall.

- Realizamos este procedimiento para las briquetas BETUTEC PG 70-28, obtenido el porcentaje óptimo de asfalto, repetimos éste procedimiento con las briquetas BETUTEC PG 70-28 CON óptimo de asfalto y con las briquetas modificadas con Nanosílíce.

c) Toma de datos

Tabla 71
Toma de datos de medidas de las briquetas BETUTEC PG 70-28.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 16		DIMENSIONES DE BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28				
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:		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo					
Laboratorio:	"INGEOMAT"					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Material:	Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28					
Muestra:	24 Briquetas					
%ASFALTO	ESPECIMEN	DIÁMETROS (mm)				
		D1	D2	D3	D4	PROMEDIO
4.0%	B1	101.48 mm	101.60 mm	101.56 mm	101.60 mm	101.56 mm
	B2	101.48 mm	101.34 mm	101.68 mm	101.60 mm	101.53 mm
	B3	101.62 mm	101.58 mm	101.90 mm	101.78 mm	101.72 mm
	B4	101.48 mm	101.46 mm	101.38 mm	101.38 mm	101.43 mm
4.5%	B1	101.64 mm	101.66 mm	101.78 mm	101.80 mm	101.72 mm
	B2	101.52 mm	101.68 mm	101.74 mm	101.66 mm	101.65 mm
	B3	101.12 mm	101.38 mm	101.58 mm	101.52 mm	101.40 mm
	B4	101.64 mm	101.64 mm	101.56 mm	101.54 mm	101.60 mm
5.0%	B1	101.50 mm	101.48 mm	101.46 mm	101.50 mm	101.49 mm
	B2	101.60 mm	101.66 mm	101.84 mm	101.72 mm	101.71 mm
	B3	101.68 mm	101.60 mm	101.58 mm	101.54 mm	101.60 mm
	B4	101.92 mm	101.74 mm	101.82 mm	101.74 mm	101.81 mm
5.5%	B1	101.48 mm	101.50 mm	102.00 mm	101.58 mm	101.64 mm
	B2	101.86 mm	101.58 mm	101.64 mm	101.58 mm	101.67 mm
	B3	101.60 mm	101.52 mm	101.54 mm	101.54 mm	101.55 mm
	B4	101.40 mm	101.44 mm	101.32 mm	101.44 mm	101.40 mm
6.0%	B1	101.50 mm	101.52 mm	101.44 mm	101.48 mm	101.49 mm
	B2	101.48 mm	101.60 mm	101.48 mm	101.46 mm	101.51 mm
	B3	101.74 mm	101.66 mm	101.58 mm	101.52 mm	101.63 mm
	B4	101.76 mm	101.66 mm	101.58 mm	101.60 mm	101.65 mm
6.5%	B1	101.38 mm	101.36 mm	101.66 mm	101.52 mm	101.48 mm
	B2	101.26 mm	101.54 mm	101.60 mm	101.20 mm	101.40 mm
	B3	102.26 mm	101.70 mm	101.56 mm	101.60 mm	101.78 mm
	B4	101.56 mm	101.62 mm	101.44 mm	101.56 mm	101.55 mm
%ASFALTO	ESPECIMEN	ALTURAS (mm)				
		h1	h2	h3	h4	PROMEDIO
4.0%	B1	71.82 mm	72.04 mm	69.22 mm	68.72 mm	70.45 mm
	B2	71.56 mm	72.70 mm	69.72 mm	68.30 mm	70.57 mm
	B3	71.00 mm	69.14 mm	69.24 mm	72.34 mm	70.43 mm
	B4	71.90 mm	70.32 mm	67.74 mm	69.32 mm	69.82 mm
4.5%	B1	68.16 mm	66.96 mm	68.84 mm	70.00 mm	68.49 mm
	B2	68.40 mm	68.82 mm	68.30 mm	67.66 mm	68.30 mm
	B3	71.82 mm	72.96 mm	73.94 mm	72.26 mm	72.75 mm
	B4	67.32 mm	68.34 mm	68.72 mm	67.58 mm	67.99 mm
5.0%	B1	68.44 mm	67.92 mm	67.46 mm	68.10 mm	67.98 mm
	B2	69.36 mm	67.32 mm	66.70 mm	68.28 mm	67.92 mm
	B3	68.60 mm	67.74 mm	67.96 mm	68.06 mm	68.09 mm
	B4	68.30 mm	67.10 mm	67.52 mm	69.50 mm	68.11 mm
5.5%	B1	68.40 mm	66.08 mm	67.66 mm	70.00 mm	68.04 mm
	B2	67.66 mm	67.00 mm	67.06 mm	68.48 mm	67.55 mm
	B3	68.44 mm	67.14 mm	67.88 mm	69.20 mm	68.17 mm
	B4	68.24 mm	68.78 mm	67.52 mm	67.72 mm	68.07 mm
6.0%	B1	64.92 mm	65.30 mm	69.06 mm	68.48 mm	66.94 mm
	B2	65.66 mm	65.88 mm	68.16 mm	68.30 mm	67.00 mm
	B3	68.44 mm	66.42 mm	65.96 mm	68.02 mm	67.21 mm
	B4	68.44 mm	67.60 mm	65.94 mm	66.56 mm	67.14 mm
6.5%	B1	69.06 mm	69.82 mm	70.10 mm	69.14 mm	69.53 mm
	B2	68.04 mm	68.20 mm	68.30 mm	68.00 mm	68.14 mm
	B3	67.42 mm	68.80 mm	68.64 mm	66.92 mm	67.95 mm
	B4	69.00 mm	67.40 mm	66.82 mm	68.00 mm	67.81 mm



Tabla 72

Toma de datos de medidas de las briquetas modificadas con Nanosílice.



GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 16			DIMENSIONES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON NANOSÍLICE				
 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:	"INGEOMAT"						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA							
Material:	Mezcla Asfáltica modificada con Nanosilice						
Muestra:	24 BRIQUETAS						
%ASFALTO	% NANOSILICE	ESPECIMEN	DIAMETROS (mm)				
			D1	D2	D3	D4	PROMEDIO
5.4%	0.5%	B1	101.38 mm	101.48 mm	101.52 mm	101.34 mm	101.43 mm
		B2	101.52 mm	101.54 mm	101.68 mm	101.58 mm	101.58 mm
		B3	101.64 mm	101.50 mm	101.58 mm	101.50 mm	101.56 mm
		B4	101.60 mm	101.64 mm	101.58 mm	101.58 mm	101.60 mm
5.4%	1.5%	B1	101.58 mm	101.56 mm	101.58 mm	101.38 mm	101.53 mm
		B2	101.48 mm	101.60 mm	101.52 mm	101.62 mm	101.56 mm
		B3	101.38 mm	101.36 mm	101.46 mm	101.40 mm	101.40 mm
		B4	101.62 mm	101.48 mm	101.56 mm	101.80 mm	101.62 mm
5.4%	3.0%	B1	101.44 mm	101.72 mm	101.54 mm	101.58 mm	101.57 mm
		B2	101.40 mm	101.50 mm	101.40 mm	101.34 mm	101.41 mm
		B3	101.62 mm	101.74 mm	101.54 mm	101.54 mm	101.61 mm
		B4	101.62 mm	101.70 mm	101.72 mm	101.44 mm	101.62 mm
5.4%	4.5%	B1	101.50 mm	101.58 mm	101.50 mm	101.42 mm	101.50 mm
		B2	101.58 mm	101.50 mm	101.46 mm	101.50 mm	101.51 mm
		B3	101.58 mm	101.62 mm	101.62 mm	101.80 mm	101.66 mm
		B4	101.50 mm	101.44 mm	101.50 mm	101.32 mm	101.44 mm
5.4%	6.0%	B1	101.64 mm	101.60 mm	101.70 mm	101.68 mm	101.66 mm
		B2	101.44 mm	101.28 mm	101.34 mm	101.32 mm	101.35 mm
		B3	101.30 mm	101.76 mm	101.46 mm	101.84 mm	101.59 mm
		B4	101.52 mm	101.52 mm	101.50 mm	101.46 mm	101.50 mm
5.4%	7.5%	B1	101.48 mm	101.55 mm	101.69 mm	101.64 mm	101.59 mm
		B2	101.63 mm	101.31 mm	101.32 mm	101.44 mm	101.43 mm
		B3	101.46 mm	101.55 mm	101.38 mm	101.69 mm	101.52 mm
		B4	101.68 mm	101.48 mm	101.35 mm	101.64 mm	101.54 mm
%ASFALTO	% NANOSILICE	ESPECIMEN	ALTURAS (mm)				
			h1	h2	h3	h4	PROMEDIO
5.4%	0.5%	B1	65.40 mm	67.72 mm	68.06 mm	65.86 mm	66.76 mm
		B2	69.08 mm	67.30 mm	63.70 mm	67.26 mm	66.84 mm
		B3	65.66 mm	67.04 mm	69.24 mm	67.16 mm	67.28 mm
		B4	68.84 mm	67.10 mm	65.26 mm	65.62 mm	66.71 mm
5.4%	1.5%	B1	65.40 mm	68.12 mm	68.30 mm	65.26 mm	66.77 mm
		B2	65.94 mm	66.44 mm	67.32 mm	66.66 mm	66.59 mm
		B3	66.96 mm	66.70 mm	66.64 mm	66.78 mm	66.77 mm
		B4	66.52 mm	66.58 mm	67.28 mm	68.04 mm	67.11 mm
5.4%	3.0%	B1	67.44 mm	67.00 mm	66.50 mm	66.28 mm	66.81 mm
		B2	66.10 mm	67.52 mm	68.72 mm	66.90 mm	67.31 mm
		B3	69.52 mm	68.02 mm	65.10 mm	67.24 mm	67.47 mm
		B4	67.94 mm	67.48 mm	65.82 mm	67.08 mm	67.08 mm
5.4%	4.5%	B1	66.00 mm	67.58 mm	67.54 mm	65.80 mm	66.73 mm
		B2	67.02 mm	65.80 mm	66.00 mm	67.84 mm	66.67 mm
		B3	66.52 mm	65.38 mm	68.26 mm	69.56 mm	67.43 mm
		B4	65.70 mm	68.44 mm	70.10 mm	68.54 mm	68.20 mm
5.4%	6.0%	B1	66.60 mm	65.84 mm	68.74 mm	69.22 mm	67.60 mm
		B2	67.24 mm	64.72 mm	66.88 mm	68.92 mm	66.94 mm
		B3	65.00 mm	65.00 mm	69.32 mm	67.62 mm	66.74 mm
		B4	68.94 mm	69.30 mm	66.90 mm	66.62 mm	67.94 mm
5.4%	7.5%	B1	67.16 mm	66.45 mm	68.54 mm	67.64 mm	67.45 mm
		B2	67.04 mm	66.94 mm	67.24 mm	67.48 mm	67.18 mm
		B3	67.12 mm	66.26 mm	68.42 mm	66.24 mm	67.01 mm
		B4	67.68 mm	67.94 mm	67.86 mm	67.74 mm	67.81 mm



Tabla 73

Lecturas de dial del anillo de carga Marshall y el dial de flujo de briquetas BETUTEC PG 10-28.



GUÍA DE OBSERVACIÓN N°		LECTURAS DE DIALES DE ESTABILIDAD Y FLUJO	
 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	FECHA:	22/11/2021
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo		
Laboratorio:	"INGEOMAT"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Material:	Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28		
Muestra:	24 Briquetas		
%ASFALTO	ESPECIMEN	LECTURAS	
		DIVISIONES PARA ESTABILIDAD	DIVISIONES PARA FLUJO
4.0%	B1	1139.30	19.20
	B2	1064.10	30.10
	B3	1445.00	29.60
	B4	1466.60	18.90
4.5%	B1	1365.30	26.00
	B2	1417.00	23.40
	B3	1279.00	25.70
	B4	1524.00	24.00
5.0%	B1	1137.10	23.70
	B2	1458.90	28.10
	B3	1162.50	21.00
	B4	1399.00	31.20
5.5%	B1	1181.90	42.20
	B2	1330.70	28.00
	B3	1115.40	42.30
	B4	1455.20	26.10
6.0%	B1	1196.80	44.80
	B2	1084.20	42.70
	B3	1111.40	40.90
	B4	998.00	43.50
6.5%	B1	847.20	53.60
	B2	899.00	46.00
	B3	854.20	54.40
	B4	1004.50	60.08



Tabla 74

Lecturas de dial del anillo de carga Marshall y el dial de flujo de briquetas modificadas con Nanosilíce.



GUÍA DE OBSERVACIÓN N°		LECTURAS DE DIALES DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE BRIQUETAS MODIFICADAS		
 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	FECHA:		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo			
Laboratorio:	"INGEOMAT"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Material:	Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28			
Muestra:	24 Briquetas			
%ASFALTO	% NANOSILICE	ESPECIMEN	LECTURAS	
			DIVISIONES PARA ESTABILIDAD	DIVISIONES PARA FLUJO
5.4%	0.5%	BN1	1139.30	19.20
		BN2	1064.10	30.10
		BN3	1445.00	29.60
		BN4	1466.60	18.90
5.4%	1.5%	BN1	1365.30	26.00
		BN2	1417.00	23.40
		BN3	1279.00	25.70
		BN4	1524.00	24.00
5.4%	3.0%	BN1	1137.10	23.70
		BN2	1458.90	28.10
		BN3	1162.50	21.00
		BN4	1399.00	31.20
5.4%	4.5%	BN1	1181.90	42.20
		BN2	1330.70	28.00
		BN3	1115.40	42.30
		BN4	1455.20	26.10
5.4%	6.0%	BN1	1196.80	44.80
		BN2	1084.20	42.70
		BN3	1111.40	40.90
		BN4	998.00	43.50
5.4%	7.5%	BN1	847.20	53.60
		BN2	899.00	46.00
		BN3	854.20	54.40
		BN4	1004.50	60.08



Tabla 75

Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas BETUTEC PG 70-28. Muestra B1-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
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	2.73 gr/cm3	Gravedad Especifica Bulk	2.57 gr/cm3	Promedio Gsa y Gsb	2.65 gr/cm3				
Densidad de cemento	2.80 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		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 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 SSS (g)		1290	1294	1297	1290	1289	1290	1292	1290	1293	1289	1293	1296
Gmb													
Densidad (g/m3)													
Densidad Prom. (g/m3)													
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)													
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													
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 76

Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas BETUTEC PG 70-28. Muestra B13-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
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	2.73 gr/cm3	Gravedad Especifica Bulk	2.57 gr/cm3	Promedio Gsa y Gsb	2.65 gr/cm3				
Densidad de cemento	2.80 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		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 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 SSS (g)		1291	1297	1292	1293	1286	1293	1298	1297	1291	1294	1294	1294
Gmb													
Densidad (g/m3)													
Densidad Prom. (g/m3)													
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)													
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													
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 77

Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas con Nanosíllice. Muestra B1-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												Gravedad Especifica Aparente	2.73 gr/cm3	Gravedad Especifica Bulk	2.57 gr/cm3	Promedio Gsa y Gsb	2.65 gr/cm3
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3									
Densidad del nanosíllice	1.03 gr/cm3	BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6	BN7	BN8	BN9	BN10	BN11	BN12						
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 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 SSS (g)		1289	1287	1288	1290	1287	1287	1290	1292	1285	1291	1288	1292						
Gmb																			
Densidad (g/m3)																			
Densidad Prom. (g/m3)																			
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)																			
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																			
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 78

Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas con Nanosíllice. Muestra B13-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												Gravedad Especifica Aparente	2.73 gr/cm3	Gravedad Especifica Bulk	2.57 gr/cm3	Promedio Gsa y Gsb	2.65 gr/cm3
Densidad de cemento	2.80 gr/cm3	Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6									
Densidad del nanosíllice	1.03 gr/cm3	BN13	BN14	BN15	BN16	BN17	BN18	BN19	BN20	BN21	BN22	BN23	BN24						
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 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 SSS (g)		1292	1285	1288	1290	1294	1289	1290	1287	1290	1291	1291	1290						
Gmb																			
Densidad (g/m3)																			
Densidad Prom. (g/m3)																			
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)																			
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																			
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 79

Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas con % óptimo 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, 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

Diseño Marshall - MAC

Fecha: 20/11/2021

Densidad de asfalto	1.020000 gr/cm ³	Combinación de Agregados				Gravedad Especifica Aparente	2.72668 gr/cm ³	Gravedad Especifica Bulk	2.57266 gr/cm ³	Promedio Gsa y Gsb	2.64967 gr/cm ³
Densidad de cemento	2.800000 gr/cm ³	Muestras con % Optimo de Asfalto				Muestras con % Optimo de Nanosilice					
Densidad del nanosilice	1.030000 gr/cm ³	B1	B2	B3	B4	BN1	BN2	BN3	BN4		
Nº de Probeta											
% de Asfalto (óptimo)		5.40%				5.40%					
% NANOSILICE (respecto al asfalto)		-				6.36%					
% NANOSILICE (respecto a la briketa)		-				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 (mm ³)		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 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 SSS (g)		1288.00	1291.00	1288.00	1296.00	1292.00	1290.00	1295.00	1297.00		
Gmb											
Densidad (g/m ³)											
Densidad Prom. (g/m ³)											
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)											
Dial (Divisiones)		1490.90	1251.50	1367.70	1213.80	1935.10	1813.30	1735.50	1800.50		
Factor de Coreccion 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											



3.6. Procedimientos de análisis de datos



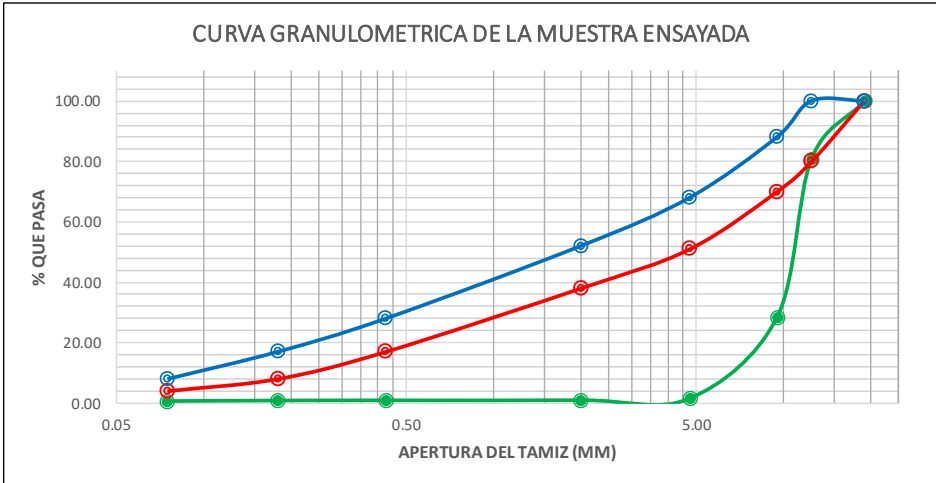
3.6.1. Análisis de datos de los componentes de la mezcla asfáltica

3.6.1.1. Análisis granulométrico del agregado grueso

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 80

Procesamiento de datos del ensayo de granulometría al agregado grueso.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E 204)						
 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:	09/11/2019		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"									
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA										
Cantera:	Morroblanco									
Ubicación:	Pisac									
Material:	Piedra chancada de 1/2"									
Muestra:	2389.00 gr									
Gradación:	MAC 2									
DATOS DE LA MUESTRA										
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	100 %	
1/2"	12.50	458.40	458.55	19.19	458.55	19.19	80.81	80 %	100 %	
3/8"	9.50	1255.00	1255.15	52.54	1713.70	71.73	28.27	70 %	88 %	
#4	4.75	640.30	640.45	26.81	2354.15	98.54	1.46	51 %	68 %	
#10	2.00	13.70	13.85	0.58	2368.00	99.12	0.88	38 %	52 %	
#40	0.43	0.80	0.95	0.04	2368.95	99.16	0.84	17 %	28 %	
#80	0.18	1.30	1.45	0.06	2370.40	99.22	0.78	8 %	17 %	
#200	0.075	4.20	4.35	0.18	2374.75	99.40	0.60	4 %	8 %	
Fondo	0.000	14.10	14.25	0.60	2389.00	100.00	0.00			
TOTAL		2387.80	2389.00							
CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA ENSAYADA 										



- **Columna de Peso retenido:** Se anotan los pesos retenidos de las mallas ½”, 3/8”, #4, #10, #40, #80 y #200 (gradación MAC 2) y en el Fondo.

- **Columna de Peso Retenido Corregido:** Se anotan los pesos retenidos corregidos de las mallas de la gradación MAC 2, calculados de la siguiente manera:

$$\text{peso retenido corregido} = \left(\frac{(P. inicial - \sum \text{pesos retenidos})}{\text{Cantidad de mallas} + \text{fondo}} \right) + \text{Peso retenido}$$

- **Columna de Porcentaje Retenido:** Se anotan los porcentajes de los pesos retenidos ya corregidos de cada malla y el Fondo; este porcentaje se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido corregido por cada malla}}{\sum \text{pesos retenidos corregidos}} * 100$$

- **Columna de P. Retenido Acumulado:** Son calculados con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso retenido acumulado}_{\text{por cada malla}} = A + B$$

A: Peso retenido acumulado (malla anterior)

B: Peso retenido (malla actual)

- **Columna de % retenido acumulado:** Se anotan los porcentajes de los pesos retenidos acumulados, calculados de la siguiente manera:

$$\% \text{ peso retenido acumulado} = A' + B'$$

A': % Peso retenido acumulado (malla anterior)

B': % Peso retenido (malla actual)

- **Columna de % que pasa:** Se anotan los porcentajes de peso que pasan cada una de las mallas de MAC-2, calculados de la siguiente manera:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ peso retenido acumulado}$$

b) Análisis de la prueba

Según los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso, muestran que el material se retiene en las mallas de ½”, 3/8”, ¼”, #4, #10, #40, #80 y #200, lo que indica, que al no existir agregado retenido en la malla de ¾”, este agregado grueso es adecuado para elaborar mezclas asfálticas de acuerdo a la gradación MAC-2, especificadas en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y la norma EG 2013; las cuales nos brindan las gradaciones necesarias para fabricar mezclas asfálticas en caliente.



3.6.1.2. Análisis granulométrico de arena triturada y arena natural

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 81

Procesamiento de datos del Ensayo Análisis Granulométrico de agregados finos – Arena Triturada.





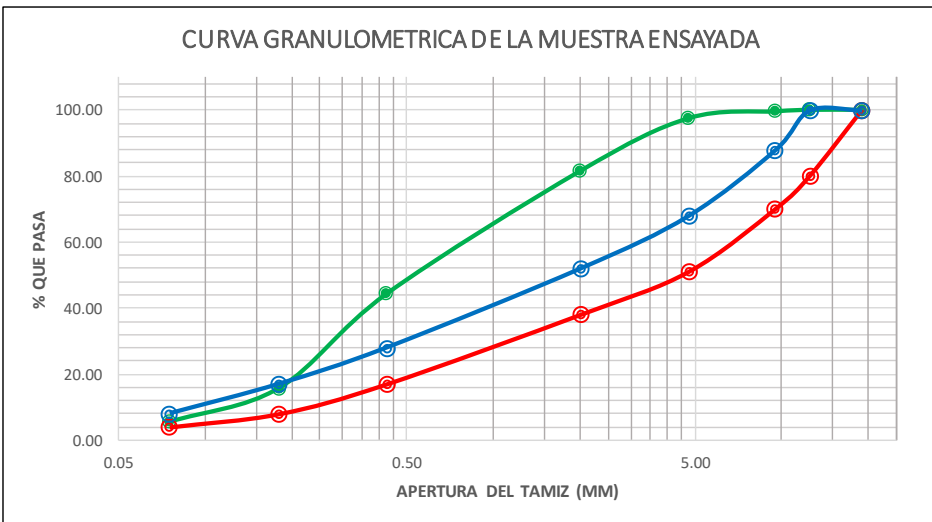
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS (MTC E 204)					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".								
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo						FECHA:	12/12/2019	
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Cunyac								
Ubicación:	Cusco								
Material:	Arena Triturada								
Muestra:	2499.00 gr								
Gradación:	MAC 2								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	100 %
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	80 %	100 %
3/8"	9.50	30.00	29.71	1.19	29.71	1.19	98.81	70 %	88 %
#4	4.75	298.90	298.61	11.95	328.33	13.14	86.86	51 %	68 %
#10	2.00	995.00	994.71	39.80	1323.04	52.94	47.06	38 %	52 %
#40	0.43	603.70	603.41	24.15	1926.46	77.09	22.91	17 %	28 %
#80	0.18	223.60	223.31	8.94	2149.77	86.03	13.97	8 %	17 %
#200	0.075	192.70	192.41	7.70	2342.19	93.72	6.28	4 %	8 %
Fondo	0.000	157.10	156.81	6.28	2499.00	100.00	0.00		
TOTAL		2501.00	2499.00						
CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA ENSAYADA									



Tabla 82

Procesamiento de datos del Ensayo Análisis Granulométrico de agregados finos – Arena Natural.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS (MTC E204)					
 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:	11/12/2019	
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Cunyac								
Ubicación:	Cusco								
Material:	Arena Natural								
Muestra:	2420.00 gr								
Gradación:	MAC 2								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	100 %
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	80 %	100 %
3/8"	9.50	8.60	10.96	0.45	10.96	0.45	99.55	70 %	88 %
#4	4.75	47.70	50.06	2.07	61.01	2.52	97.48	51 %	68 %
#10	2.00	383.70	386.06	15.95	447.07	18.47	81.53	38 %	52 %
#40	0.43	900.00	902.36	37.29	1349.43	55.76	44.24	17 %	28 %
#80	0.18	689.00	691.36	28.57	2040.79	84.33	15.67	8 %	17 %
#200	0.075	247.20	249.56	10.31	2290.34	94.64	5.36	4 %	8 %
Fondo	0.000	127.30	129.66	5.36	2420.00	100.00	0.00		
TOTAL		2403.50	2420.00						
									

- Los cálculos realizados son los mismos que para el análisis granulométrico del agregado grueso.



b) Análisis de la prueba

• **Arena Triturada**

Los resultados del ensayo análisis granulométrico en éste caso de la arena triturada muestran que el agregado pasa por las mallas en los siguientes porcentajes, en la malla de 3/8" un 98.81%, en la malla #4 un 86.86%, en la malla #10 un 47.06% , en la malla #40 un 22.91% , en la malla #80 un 13.97% y en la malla #200 un 6.28%, realizando un análisis de acuerdo a lo establecido por el manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, dado que no se cuenta con material retenido en las mallas 3/4" ni 1/2" la gradación adecuada sería la MAC-2, sin embargo se observa que ésta no cumple con los husos granulométricos de la misma.

• **Arena Natural**

Los resultados del ensayo análisis granulométrico en éste caso de la arena natural muestran que el agregado pasa por las mallas en los siguientes porcentajes, en la malla de 3/8" un 99.55%, en la malla #4 un 97.48%, en la malla #10 un 81.53% , en la malla #40 un 44.24% , en la malla #80 un 15.67% y en la malla #200 un 5.36%, realizando un análisis de acuerdo a lo establecido por el manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, dado que no se cuenta con material retenido en las mallas 3/4" ni 1/2" la gradación adecuada sería la MAC-2, sin embargo se observa que ésta no cumple con los husos granulométricos de la misma.





3.6.1.3. Análisis del ensayo de Peso específico y absorción de agregado grueso.

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 83

Procesamiento de datos del ensayo de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 04		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E 206)			
 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:	16/12/2019		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo				
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:	Morroblanco				
Ubicación:	Pisac				
Material:	Piedra de 1/2"				
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso en el aire de la muestra seca (gr)	P _{seco}	2517.40	2449.30	2512.4	2493.03
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	P _{sss}	2552.60	2483.60	2547.6	2527.93
Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergida (gr)	P _{sumergido}	1583.20	1541.10	1578.2	1567.50
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G _{sa}	2.69	2.70	2.69	2.69
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G _{sb}	2.60	2.60	2.59	2.60
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G _{sssb}	2.63	2.64	2.63	2.63
Absorción (%)	Abs	1.40%	1.40%	1.40%	1.40%
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)				1.40%	
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)				1% max	
Requerimiento por norma: CE.010 Pav. Urbanos (%)				Según Diseño	
CUMPLE??				Cumple norma CE.010	

- **G_{sa} (g/cm³):** La Gravedad específica aparente se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sa} = \frac{P_{seco}}{P_{seco} - \text{Peso saturado superficialmente seco sumergido}}$$

- **G_{sb} (g/cm³):** La Gravedad específica Bulk se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sb} = \frac{P_{seco}}{P_{sss} - \text{Peso saturado superficialmente seco sumergido}}$$



- **Gsssb (g/cm^3):** La gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk, se calcula de la siguiente manera:

$$G_{ssb} = \frac{P_{sss}}{P_{sss} - \text{Peso saturado superficialmente seco sumergido}}$$

- **Abs (%):** La absorción se calcula de la siguiente manera:

$$Abs = \frac{P_{sss} - P_{seco}}{P_{seco}}$$

b) **Análisis de la prueba**

Los resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos de tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ", muestran que el material presenta una GSA del 2.69 gr/cm^3 , una GSB de 2.60 gr/cm^3 , una GSSSB de 2.63 gr/cm^3 y una Absorción del 1.40% del peso de la muestra que supera el 1% que es el límite máximo permitido por la norma EG-2013 del MTC, lo cual indica que no cumple con el parámetro establecido por la norma.



3.6.1.4. Gravedad específica y absorción de arena triturada y arena natural

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 84

Procesamiento de datos del Ensayo Gravedad Específica y Absorción de agregados finos – Arena Triturada.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 03		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E205)			
 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:	19/12/2019		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo				
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:	Cunyac				
Ubicación:	Cusco				
Material:	Arena triturada				
Muestra:	1000.00 gr				
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso de muestra seca (gr)	A	484.9	488.4	486.3	486.5
Peso del picnómetro mas agua (gr)	B	684.4	684.6	684.6	684.6
Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr)	C	991.4	993.9	992.5	992.5
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	D	500	500	500	500.0
Peso de picnómetro (gr)		150.1	150.1	150.1	150.1
Peso de picnómetro mas muestra gr)		650.1	650.1	650.1	650.1
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G _{sa}	2.73	2.73	2.73	2.73
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G _{sb}	2.51	2.56	2.53	2.54
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G _{sssb}	2.59	2.62	2.60	2.61
Absorción (%)	Abs	3.11%	2.38%	2.82%	2.77%
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)		3.11%	2.38%	2.82%	2.77%
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)		0.5% max			
Requerimiento por norma: CE.010 Pav. Urbanos (%)		Según Diseño			
CUMPLE??		Cumple norma CE.010			



Tabla 85

Procesamiento de datos del Ensayo Gravedad Específica y Absorción de agregados finos – Arena Natural.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 03		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E205)			
 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:	21/12/2019		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo				
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:	Cunyac				
Ubicación:	Cusco				
Material:	Arena Natural				
Muestra:	1000.00 gr				
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso de muestra seca (gr)	A	485.7	489.4	489.3	489.3
Peso del picnómetro mas agua (gr)	B	682	682	682	682
Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr)	C	991.6	993.2	994.9	994.9
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	D	500	500	500	500
Peso de picnómetro (gr)		198.1	198.1	198.1	198.1
Peso de picnómetro mas muestra gr)		698.1	698.1	698.1	698.1
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G _{sa}	2.76	2.75	2.77	2.76
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G _{sb}	2.55	2.59	2.62	2.59
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G _{sssb}	2.63	2.65	2.67	2.65
Absorción (%)	Abs	2.94%	2.17%	2.19%	2.19%
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)		2.94%	2.17%	2.19%	2.19%
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)		0.5% max			
Requerimiento por norma: CE.010 Pav. Urbanos (%)		Según Diseño			
CUMPLE??		Cumple norma CE.010			

- **G_{sa} (g/cm³):** La Gravedad específica aparente se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

A: Peso de muestra seca (gr).

B: Peso del picnómetro más agua (gr).

C: Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr).



- **Gsb (g/cm³):** La Gravedad específica Bulk se calcula de la siguiente manera:

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

A: Peso de muestra seca (gr).

B: Peso del picnómetro más agua (gr).

C: Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr).

D: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

- **Gsssb (g/cm³):** La gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk, se calcula de la siguiente manera:

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

B: Peso del picnómetro más agua (gr).

C: Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr).

D: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

- **Abs (%):** La absorción se calcula de la siguiente manera:

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

A: Peso de muestra seca (gr).

D: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

b) Análisis de la prueba

- **Arena Triturada**

Para ésta ensayo se realizaron un total de 3 pruebas, los cuales arrojaron como resultado un valor promedio de Gravedad Específica Aparente del 2.73%, Gravedad Específica Bulk del 2.54%, Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk del 2.61% y una Absorción del 2.77% siendo éste último uno de los requerimientos de agregados finos para Mezclas Asfálticas en Caliente, se observa que según el manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 no cumple, sin embargo la norma técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones indica que el requerimiento para zonas con altitud mayor a 3000 msnm es según diseño, por lo este valor es aceptable para fines de diseño.



- **Arena Natural**



Para ésta ensayo se realizaron un total de 3 pruebas, los cuales arrojaron como resultado un valor promedio de Gravedad Específica Aparente del 2.76%, Gravedad Específica Bulk del 2.59%, Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk del 2.65% y una Absorción del 2.19% siendo éste último uno de los requerimientos de agregados finos para Mezclas Asfálticas en Caliente, se observa que según el manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 no cumple, sin embargo la norma técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones indica que el requerimiento para zonas con altitud mayor a 3000 msnm es según diseño, por lo que éste valor es aceptable para fines de diseño.

3.6.1.5. Análisis del ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso.

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 86

Procesamiento de datos del ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados gruesos.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 05			ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS (MTC E 221)						
 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:	25/02/2020					
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Morroblanco								
Ubicación:	Pisac								
Material:	Piedra de 1/2"								
Muestra:	2439.66 gr								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ		Peso Retenido (gr)	% Retenido	PESOS (gr)		I _{ai} (%)	I _{li} (%)	I _a (%)	I _l (%)
Pasa	Retiene			Partículas chatas	Partículas Alargadas				
3/4"	1/2"	411.56	17%	43.80	1.64	10.64%	0.40%	1.80%	0.00
1/2"	3/8"	1300.4	53%	86.08	5.83	6.62%	0.45%	3.53%	0.00
3/8"	1/4"	727.7	30%	88.05	10.33	12.10%	1.42%	3.61%	0.00
Totales		2439.66	100%				2.27%	8.93%	0.73%
RESULTADOS									
Índice de aplanamiento de la fracción ensayada =						8.93%			
Índice de alargamiento de la fracción ensayada =						0.73%			
TOTAL =						9.66%			
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).						10% máximo			
CUMPLE??						SI CUMPLE			



- El Índice de Aplanamiento se calcula de la siguiente manera:

$$I_{ai}(\%) = \frac{P_{ai}}{P_i} * 100$$

I_{ai} (%): Índice de Aplanamiento de cada fracción ensayada “i”.

P_{ai}: Peso de las partículas pasantes por la ranura correspondiente.

P_i: Peso inicial de cada fracción.

- El Índice de Alargamiento se calcula de la siguiente manera:

$$I_{al}(\%) = \frac{P_{li}}{P_i} * 100$$

I_{al} (%): Índice de Alargamiento de cada fracción ensayada “i”.

P_{li}: Peso de las partículas retenidas por las barras correspondientes.

P_i: Peso inicial de la fracción.

- Luego se calcula los índices de aplanamiento y alargamiento de la siguiente manera:

$$I_a(\%) = \frac{\sum(I_{ai} * R_i)}{\sum R_i} \quad I_l(\%) = \frac{\sum(I_{li} * R_i)}{\sum R_i}$$

I_{al} (%): Índice de Aplanamiento de cada fracción ensayada “i”.

I_{li} (%): índice de Alargamiento de cada fracción ensayada “i”.

R_i (%): Porcentajes retenidos por cada fracción o tamiz.

- Finalmente se suman los índices de aplanamiento y alargamiento.

$$TOTAL = I_a + I_l$$

b) Análisis de la prueba

Los resultados del ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados gruesos, muestran que el material presenta un total de 9.66 % de aplanamiento y alargamiento, que es menor que es el límite máximo permitido por la norma EG-2013 del MTC, lo cual indica que cumple con el parámetro establecido por la norma.




3.6.1.6. Análisis del ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.

a) Procesamiento o cálculos de la prueba.

Tabla 87

Procesamiento de datos del ensayo de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 06		MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E 210)				
 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:	14/12/2019			
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo					
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morroblanco					
Ubicación:	Pisac					
Material:	Piedra de 1/2"					
Muestra:	1590.8 gr					
DATOS DE LA MUESTRA						
MUESTRA CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
3/4"	1/2"	390.40	380.3	97.41	25%	23.91 %
1/2"	3/8"	1200.40	1179.2	98.23	75%	74.13 %
Totales		1590.80	1559.50	195.65	100%	98.03 %
Porcentaje con una o mas caras fracturadas =				98 %		
MUESTRA CON DOS O MAS CARAS FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
3/4"	1/2"	390.40	346.2	88.68	25%	21.76 %
1/2"	3/8"	1200.40	1125.6	93.77	75%	70.76 %
Totales		1590.80	1471.80	182.45	100%	92.52 %
Porcentaje con dos o mas caras fracturadas =				93 %		
RESULTADOS						
Resultados de Caras Fracturadas				98/93		
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).				90/70		
CUMPLE??				SI CUMPLE		

Para una cara Fracturada

- **Columna A:** Se anotan los pesos exactos de las correspondientes a las porciones de muestra que se encuentran entre los tamaños específicos para realizar el ensayo.



- **Columna B:** Se anotan los pesos del agregado que tienen al menos una cara fracturada para cada tamaño de tamiz.
- **Columna C:** Corresponde al porcentaje con una cara fracturada de cada tamiz y se calcula de la siguiente manera:

$$C = \frac{B}{A} * 100$$

- **Columna D:** Se anotan los porcentajes de los pesos retenidos por cada malla y se calcula de la siguiente manera.

$$D = \frac{\text{Peso retenido en cada tamiz}}{\sum \text{pesos retenidos}} * 100$$

- **Columna E:** Se colocan los porcentajes de caras fracturadas de cada tamiz respecto al peso total de la muestra, y se calcula de la siguiente manera:

$$E = C * D$$

- El porcentaje con una o más caras fracturadas se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ con una o más caras fracturadas} = \frac{\sum \text{total de B}}{\sum \text{total de A}}$$

Para una dos o más caras Fracturadas

- **Columna A:** Se anotan los pesos exactos de las correspondientes a las porciones de muestra que se encuentran entre los tamaños específicos para realizar el ensayo.
- **Columna B:** Se anotan los pesos del agregado que tienen al menos una cara fracturada para cada tamaño de tamiz.
- **Columna C:** Corresponde al porcentaje con dos o más caras fracturadas de cada tamiz y se calcula de la siguiente manera:

$$C = \frac{B}{A} * 100$$

- **Columna D:** Se anotan los porcentajes de los pesos retenidos por cada malla y se calcula de la siguiente manera.

$$D = \frac{\text{Peso retenido en cada tamiz}}{\sum \text{pesos retenidos}} * 100$$



- **Columna E:** Se colocan los porcentajes con dos o más caras fracturadas de cada tamiz respecto al peso total de la muestra, y se calcula de la siguiente manera:

$$E = C * D$$

- El porcentaje total con dos o más caras fracturadas se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ con una o más caras fracturadas} = \frac{\sum \text{total de B}}{\sum \text{total de A}}$$

b) Análisis de los resultados de la prueba.

Los resultados del ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, muestran una relación de 98/93 lo cual indica que presenta un 98% de agregados con una o más caras fracturadas y un 93% con al menos 2 o más caras fracturadas, estos cumplen con los requerimientos mínimos (90/70) establecidos por la norma EG-2013.



3.6.1.7. Análisis del ensayo Abrasión de los ángulos de agregado grueso.

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 88

Procesamiento de datos del ensayo de Abrasión de los Ángeles.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 07		ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES (MTC E 207)		
 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:	11/11/2019	
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo			
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Morroblanco			
Ubicación:	Pisac			
Material:	Piedra de 1/2"			
Muestra:	5000.00 gr			
DATOS DE LA MUESTRA				
MÉTODO	MASA EN gr			
	GRADACIONES			
RETENIDO EN TAMIZ	A	B	C	D
1"				
3/4"				
1/2"		2500		
3/8"		2500		
1/4"				
N° 4				
N° 8				
Número de Esferas		11		
Peso Total		5000		
Peso retenido en Tamiz N°10		3977.5		
% de Desgaste		20.45%		
Resultados de Abrasion		20.45%		
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).		35% max		
CUMPLE??		SI CUMPLE		

- **Porcentaje de Desgaste (%):** Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Desgaste (\%)} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - P. \text{retenido en tamiz \#10}}{\text{Peso inicial de la muestra}} * 100$$



b) Análisis de los resultados de la prueba

Los resultados del ensayo de abrasión de los Ángeles, muestran un porcentaje de desgaste del 20.45%, el cual es menor que límite máximo (35%) permitido por la norma EG-2013 lo cual indica que el agregado cumple con los requerimientos de resistencia al desgaste.

3.6.1.8. Análisis del ensayo Durabilidad al sulfato de Magnesio de agregado grueso.

a) Procesamiento o cálculos de la prueba.

Tabla 89

Procesamiento de datos del ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.



- 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: 97427249, Movistar: 998990111, RPM: 898990111

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: MORRO BLANCO-CUNYAC

Fecha: NOVIEMBRE, 2021

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

CANTERAS	MORRO BLANCO-CUNYAC
ALTITUD	3270

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209

INSUMO QUIMICO USADO: SULFATO DE MAGNESIO

AGREGADO GRUESO

MUESTRA PIEDRA CHANCADA 1/2"

TAMAÑO	%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%		
						PESO (g)	%				
2 1/2 pulg	α	3 pulg	0.00%	7000+-1000	0.00		0.00	0.00%	0.00%	0.00%	
2 pulg	α	2 1/2 pulg	0.00%	3000+-300	0.00		0.00	0.00%	0.00%	0.00%	
1 1/2 pulg	α	2 pulg	0.00%	2000+-200	0.00		0.00	0.00%	0.00%	0.00%	
1 pulg	α	1 1/2 pulg	0.00%	1000+-50	0.00		0.00	0.00%	0.00%	0.00%	
3/4 pulg	α	1 pulg	0.00%	800+-30	0.00		0.00	0.00%	0.00%	0.00%	
1/2 pulg	α	3/4 pulg	52.88%	670+-10	676.73	SI	652.24	24.49	3.62%	19.19%	0.69%
3/8 pulg	α	1/2 pulg	23.60%	300+-5	302.10	SI	299.49	2.61	0.86%	71.73%	0.62%
Nº 4	α	3/8"	23.52%	300+-5	300.99	SI	272.02	28.97	9.62%	98.54%	9.48%
			100.00%		1279.82		1223.75			PERDIDAS TOTALES	11.00%

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA CUMPLE???? 15.00% max SULFATO DE MAGNESIO SI

- **Columna Peso Inicial:** Se anotan los pesos exactos de la muestra retenida en cada tamiz según los requerimientos de la norma.
- **Columna Peso Final:** Se anotan los pesos del agregado desgastados por el sulfato de magnesio.



- **Columna Peso Perdido:** Corresponde a la masa perdida por desgaste producida por el Sulfato de Magnesio, calculado de la siguiente manera:

$$\text{Peso perdido} = \text{Peso inicial} - \text{Peso final}$$

- **Columna % Peso Perdido:** En esta columna se anotan los porcentajes de peso perdido del agregado producido por el desgaste frente al Sulfato de Magnesio.
- **Gradación Original:** En esta columna se anotan los porcentajes retenidos de la granulometría original del agregado grueso.
- **Columna final %:** Se colocan los porcentajes totales de desgaste del agregado grueso producido por el Sulfato de Magnesio, calculado de la siguiente manera:

$$\% = \% \text{ Peso perdido} - \% \text{ Gradación Original}$$

- El porcentaje de pérdidas totales se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ con una o más caras fracturadas} = \sum \% \text{ perdidos totales por cada malla}$$

b) **Análisis de los resultados de la prueba.**

Luego de realizar los cálculos para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso, los resultados muestran un valor de 10.80% de desgaste lo cual indica que cumple con los parámetros establecidos por la norma EG-2013, ya que tiene como valor máximo un 15 % de desgaste.



3.6.1.9. Durabilidad al Sulfato de Magnesio de Arena Triturada y Arena Natural

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 90

Procesamiento de datos del Ensayo Gravedad Específica y Absorción de agregados finos – Arena Natural.



- 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: MORRO BLANCO-CUNYAC

Fecha: NOVIEMBRE, 2021

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

CANTERAS	MORRO BLANCO-CUNYAC
ALTITUD	3270

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209

INSUMO QUIMICO USADO: SULFATO DE MAGNESIO

AGREGADO FINO

MUESTRA ARENA NATURAL

TAMAÑO	%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
						PESO (g)	%		
Nº4	α 3/8"	20.00%	100	SI	96.25	3.75	3.75%	2.52%	0.095%
Nº8	α Nº4	20.00%	100	SI	95.33	4.67	4.67%	18.47%	0.863%
Nº16	α Nº8	20.00%	100	SI	96.16	3.84	3.84%	55.76%	2.141%
Nº 30	α Nº16	20.00%	100	SI	95.08	4.92	4.92%	84.33%	4.149%
Nº 50	α Nº30	20.00%	100	SI	96.30	3.7	3.70%	94.64%	3.502%
		100.00%	500.00		479.12			PERDIDAS TOTALES	11.00%

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 18.00% max SULFATO DE MAGNESIO
CUMPLE???? SI

AGREGADO FINO

MUESTRA ARENA TRITURADA

TAMAÑO	%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
						PESO (g)	%		
Nº4	α 3/8"	20.00%	100	SI	96.63	3.37	3.37%	13.14%	0.443%
Nº8	α Nº4	20.00%	100	SI	95.41	4.59	4.59%	52.94%	2.430%
Nº16	α Nº8	20.00%	100	SI	96.36	3.64	3.64%	77.09%	2.806%
Nº 30	α Nº16	20.00%	100	SI	95.45	4.55	4.55%	0.00%	0.000%
Nº 50	α Nº30	20.00%	100	SI	96.32	3.68	3.68%	0.00%	0.000%
		100.00%	500.00		480.17			PERDIDAS TOTALES	6.00%

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 18.00% max SULFATO DE MAGNESIO
CUMPLE???? SI

- Los cálculos realizados son los mismos que para el análisis del ensayo de durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado grueso.



b) Análisis de la prueba

- **Arena Natural**

Los resultados de este ensayo indican que la arena natural tiene un 10.75% de pérdida total, 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 durabilidad, se requiere un 18% de pérdida como máximo, por lo cual el material es apto para la fabricación de mezclas asfálticas.

- **Arena Triturada**

Los resultados de este ensayo indican que la arena triturada tiene un 5.68% de pérdida total, 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 durabilidad, se requiere un 18% de pérdida como máximo, por lo cual el material es apto para la fabricación de mezclas asfálticas.

3.6.1.10. Límite Líquido de la Arena Triturada y Arena Natural

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba



Tabla 91

Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Triturada malla #40.



GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14		ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)	
 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 triturada		
Muestra:	Pasante malla #40		
DATOS DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara(gr)	66.61	46.16	63.37
Peso de suelo seco + tara(gr)	60.38	40.21	58.29
Peso de tara(gr)	36.97	15.81	37.20
Peso de suelo seco(gr)	23.41	24.40	21.09
Peso de suelo humedo(gr)	29.64	30.35	26.17
Peso de agua(gr)	6.23	5.95	5.08
Contenido de humedad	26.61%	24.39%	24.09%
Numero de golpes	17.00	28.00	35.00
LL aproximado	25.40%	24.72%	25.09%
LÍMITE LÍQUIDO			



Tabla 92

Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Triturada malla #200.



GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14		ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)	
 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 triturada		
Muestra:	Pasante malla #200		
DATOS DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara(gr)	60.41	65.36	50.65
Peso de suelo seco + tara(gr)	55.50	59.73	47.85
Peso de tara(gr)	36.50	37.41	36.39
Peso de suelo seco(gr)	19.00	22.32	11.46
Peso de suelo humedo(gr)	23.91	27.95	14.26
Peso de agua(gr)	4.91	5.63	2.80
Contenido de humedad	25.84%	25.22%	24.43%
Numero de golpes	16.00	22.00	34.00
LL aproximado	24.48%	24.84%	25.36%
LÍMITE LÍQUIDO			



Tabla 93

Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Natural malla #40.





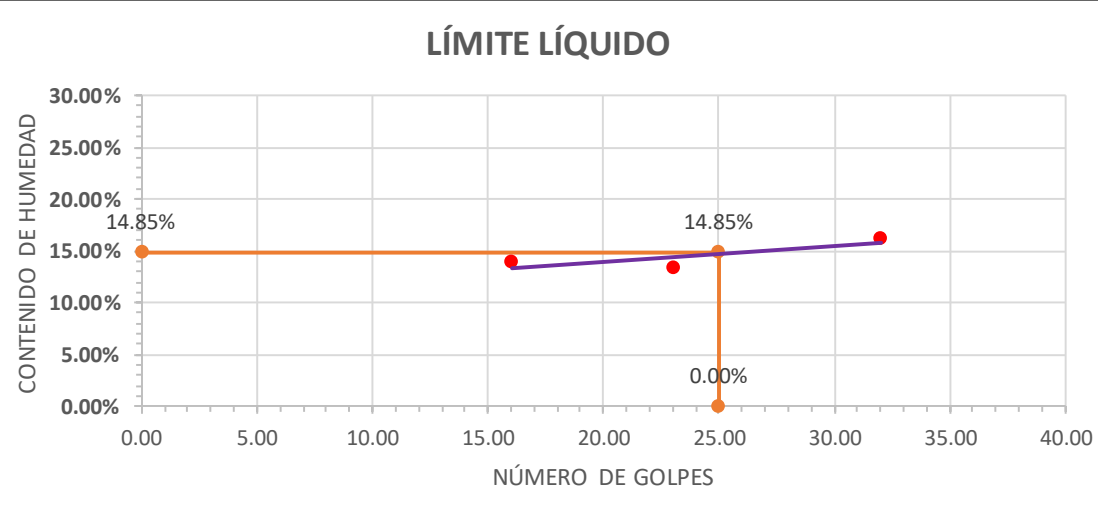
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14		ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE 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)	60.45	61.34	62.43
Peso de suelo seco + tara(gr)	56.48	57.53	57.96
Peso de tara(gr)	30.15	31.50	32.56
Peso de suelo seco(gr)	26.33	26.03	25.40
Peso de suelo humedo(gr)	30.30	29.84	29.87
Peso de agua(gr)	3.97	3.81	4.47
Contenido de humedad	15.08%	14.64%	17.60%
Numero de golpes	17.00	24.00	31.00
LL aproximado	14.39%	14.56%	18.06%
LÍMITE LÍQUIDO			



Tabla 94

Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Natural malla #200.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14		ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)	
 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)	61.95	60.98	58.89
Peso de suelo seco + tara(gr)	58.06	57.50	55.20
Peso de tara(gr)	30.15	31.50	32.56
Peso de suelo seco(gr)	27.91	26.00	22.64
Peso de suelo humedo(gr)	31.80	29.48	26.33
Peso de agua(gr)	3.89	3.48	3.69
Contenido de humedad	13.94%	13.38%	16.30%
Numero de golpes	16.00	23.00	32.00
LL aproximado	13.20%	13.25%	16.79%
LÍMITE LÍQUIDO 			



b) Análisis de la prueba

Los resultados de este ensayo sirven para calcular el Índice de Plasticidad de los agregados finos utilizados en la presente investigación.

3.6.1.11. Índice de Plasticidad de la Arena Triturada y Arena Natural

a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

Tabla 95

Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Triturada 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 ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo	FECHA:	18/02/2020
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Cantera:	Cunyac		
Ubicación:	Cusco		
Material:	Arena Triturada		
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 96

Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Triturada 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 triturada		
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: CE010 Pav. Urbanos (%).	NP		
CUMPLE??	SI CUMPLE		