

## Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera San Martín con cemento asfáltico PEN60/70 y emulsión asfáltica CSS-1HP

Marco Antonio Ramírez Montenegro<sup>1</sup>

### Resumen

**Objetivos.** Evaluar el grado de compatibilidad de los agregados, su porcentaje óptimo y su diseño de mezcla asfáltica en caliente y frío elaboradas con cemento asfáltico PEN 60/70, emulsión asfáltica CSS-1HP y los agregados proveniente de la cantera San Martín. **Materiales y métodos.** El presente estudio se realizó en la cantera San Martín ubicada en el Kilómetro 590+700 de la carretera Panamericana Norte, siguiendo el método Marshall, obtenidos a través de ensayos en laboratorios de mecánicas de suelos y pavimentos con mezclas asfálticas en caliente y en frío, con el apoyo de normas y parámetros propuestos por el MTC, ASSHTO y ASTM respectivamente. **Resultados.** El porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica en caliente empleando cemento asfáltico PEN 60/70 tiene un valor de 6% con un diseño del 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino. Mientras que en la mezcla asfáltica en frío su porcentaje óptimo empleado de emulsión asfáltica CSS-1HP tiene un valor de 6% con un diseño de agregado grueso del 55% y 45% de agregado fino, además para la mezcla tenemos un 60% de emulsión asfáltica y 40% de agua. La estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente fue de 11817 N (1205 Kg) y 10963N (1118 Kg) para la mezcla en frío. **Conclusiones.** Los resultados evidencian el cumplimiento de las especificaciones para un tránsito pesado de carpeta y base, según mencionados por el instituto de Asfalto Americano para el diseño Marshall.

*Palabras Clave:* Mezcla asfáltica, agregados, cantera, cemento asfáltico, emulsión asfáltica.

## Compatibility assessment of mix asphalt using aggregates of quarry san martin with asphalt cement PEN60/70 and asphaltic emulsión CSS-1HP.

### Abstract

**Objectives.** To evaluate the degree of compatibility of the aggregates, their optimum percentage and their design of asphalt mixture in hot and cold made with asphalt cement PEN 60/70, asphalt emulsion CSS-1HP and aggregates from the San Martín quarry. **Materials and methods.** The present study was carried out in the San Martín quarry located at Kilometer 590 + 700 of the Panamericana Norte highway, following the Marshall method, obtained through tests in soil and pavement mechanics laboratories with hot and cold asphalt mixtures, With the support of standards and parameters proposed by the MTC, ASSHTO and ASTM respectively. **Results.** The optimum percentage of the hot asphalt mixture using asphalt cement PEN 60/70 has a value of 6% with a design of 55% of coarse aggregate and 45% of fine aggregate. While in the cold asphalt mixture its optimum percentage of asphalt emulsion CSS-1HP has a value of 6% with a coarse aggregate design of 55% and 45% of fine aggregate, in addition to the mixture we have a 60% emulsion Asphalt and 40% water. The stability of the hot asphalt mixture was 11817 N (1205 kg) and 10963N (1118 kg) for cold mixing. **Conclusions.** The results evidence compliance with the specifications for a heavy folder and base transit as reported by the American Asphalt Institute for Marshall Design.

*Keywords:* Asphalt mix, aggregates, quarry, asphalt cement, asphalt emulsion.

## Compatibility evaluation of asphalt mixtures using aggregates from the San Martín quarry with asphalt cement PEN60/70 and asphalt emulsion CSS-1HP

### Resumo

**Objetivos.** Avaliar o grau de compatibilidade dos agregados, sua porcentagem ideal e design de hot-mix asfalto e cimento asfáltico a frio feita com PEN 60/70, emulsão asfáltica CSS-1 HP e agregados da pedreira San Martín. **Materiais e métodos.** Este estudo foi realizado na pedreira San Martín localizado no Km 590 + 700 da Rodovia Panamericana Norte, seguindo o método Marshall, obtida através de testes de laboratorio de mecânica do solo e pavimentação com asfalto mistura quente e frio, com o apoio de

<sup>1</sup>Gobierno Regional de la Libertad. Trujillo, Perú. [marco.ramirez0721@gmail.com](mailto:marco.ramirez0721@gmail.com)

Recibido: 01/12/2016 Aceptado: 23/12/2016

normas e parâmetros propostos pela MTC, AASHTO e ASTM respectivamente. **Resultados.** O percentual ideal de asfalto cimento mistura asfáltica a quente utilizando 60/70 PEN tem um valor de 6%, com um design de 55% a 45% agregado graúdo e agregados finos. Enquanto na mistura de asfalto emulsão óptima percentagem usado asfalto frio CSS-1 HP tem um valor de 6% com uma concepção de agregado grosso de 55% e 45% de agregados finos, em adição à mistura que tem uma emulsão de 60% asfalto e 40% de água. A estabilidade da mistura quente foi 11817 N (1205 kg) e 10963N (1.118 kg) para a mistura de frio. **Conclusões.** Os resultados mostram a conformidade com as especificações para uma pasta e base de tráfico pesado, como mencionado pelo Instituto Americano de Marshall asfalto design.

*Palavras-chave: mistura de asfalto, agregados, pedreiras, cimenteiras asfalto, emulsão asfáltica.*

## Introducción

La investigación realizada tiene como objetivo determinar el grado de compatibilidad de los agregados de la cantera. San Martín en la preparación de mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico tipo PEN 60/70 y mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica CSS-1HP, se ha verificado en las últimas dos décadas mucho esfuerzo científico y tecnológico, que se ha dedicado al desarrollo de materiales asfálticos para la construcción de carreteras, ya que las especificaciones de estas son cada día más estrictas.

La tecnología en materia asfáltica se ha enfocado al desarrollo de este tipo de carpeta, buscando que cumpla con: una mayor duración, menor ahuellamientos al paso de vehículos, significativa repelencia al agua (alta hidrofobicidad), resistencia a la radiación ultravioleta, resistencia a la lluvia, aumento al agarre con la llanta, mejor adhesión entre el asfalto y el material pétreo, facilidad para la reparación de baches, etc. Todas estas condiciones impuestas al asfalto, dan como resultado una intensa investigación en este campo, llevando al desarrollo de nuevos materiales asfálticos, así como nuevas formas en las cuales éste puede ser aplicado al substrato pétreo.

Trujillo presenta un cambio de las condiciones de medio ambiente que significa en lluvias en épocas de verano, además con el fenómeno “El Niño” que se repite con un tiempo de periodo aproximadamente de 4 o 5 años en toda la costa norte del Perú. Esto genera el deterioro prematuro de las calles de la ciudad de Trujillo. La acción conjunta del tráfico y medio ambiente sobre la superficie de rodadura incrementa los niveles de daño observándose desprendimiento de material superficial debido a la acción abrasiva de los neumáticos sobre la superficie de rodadura, exponiendo una débil adherencia entre el material asfáltico y el material agregado de canteras lo cual aumenta el daño de las calles de Trujillo. En tal sentido resulta pertinente considerar otros tipos de asfalto que mejores y desarrollen las condiciones de compatibilidad con el material de agregado de la cantera, para esto se planeó 5 objetivos para nuestra investigación. *Primero:* Determinar las características físicas mecánicas de los materiales de agregados de la cantera San Martín, teniendo en cuenta las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). *Segundo:* Ensayos de calidad del cemento asfáltico tipo PEN60/70, para una mezcla asfáltica en caliente. *Tercero:* Ensayos de calidad de emulsión asfáltica tipo CSS-1HP, para una mezcla asfáltica en frío. *Cuarto:* Determinar la dosificación óptima a través de ensayos de laboratorio para cada tipo de mezcla asfáltica. *Quinto:* Determinar el grado de compatibilidad de las mezclas asfálticas en caliente y en frío mediante el ensayo Marshall y verificar si cumple con las especificaciones técnicas del instituto de asfalto americano. Por lo tanto la evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío, con la adherencia de los agregados de la cantera San Martín con el cemento asfáltico PEN60/70 y la emulsión asfáltica CSS-1HP, cumplan con los estándares de calidad necesarios para su desarrollo, Además las mezclas asfálticas en frío representan una alternativa para reducir los impactos negativos al medio ambiente.

## Materiales y Métodos.

El presente es un estudio de tipo descriptivo por que busca mostrar características de los agregados de la cantera y además su diseño óptimo de compatibilidad con asfáltico líquidos y

emulsión asfáltica, para un mejoramiento de diseño y construcción. Siendo el diseño de la Investigación:  $M \Rightarrow O$  Donde:

**M:** Representa el lugar donde se realizan los estudios del proyecto y a la población involucrada.

**O:** Representa la información obtenida del proyecto.

El estudio y análisis al cual va dirigido la investigación son las canteras de la ciudad de Trujillo que pertenecen al departamento de La Libertad. Siendo la muestra cuatro sacos de material de agregados finos y gruesos, utilizándose 40 briquetas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente y frío.

Los datos se recogerán, mediante la ejecución de ensayos de laboratorios siguiendo la guía de observación y teniendo en cuenta los procedimientos establecidos en las guías de laboratorio de instituciones reconocidas como AASHTO, ASTM y MTC. Con el apoyo de instrumentos de laboratorio de suelos y software para el desarrollo del proyecto.

## Resultados

### DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

**Tabla 01: Granulometría para piedra chancada de 1/2"**

Mallas	Abertura (mm)	Porcentaje retenido	Porcentaje ret. Acumulado	Porcentaje que pasa
Nº 2"	50.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00
Nº 1"	25.00	0.00	0.00	100.00
Nº 3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00
Nº 1/2"	12.50	3.75	04	96
Nº 3/8"	9.50	20.00	41	59
Nº 4	4.75	66.25	90.00	10.00
FONDO		10	100.00	0.00
		<b>T.M.N.</b>	<b>3/8 "</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 02: Granulometría para agregado fino: Arena gruesa**

Mallas	Abertura (mm)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Nº 3/8"	9,500	0.00	0.00	100
Nº4	4,750	-	-	100
Nº 8	2,360	9.48	10	90
Nº 16	1,180	11.23	24	76
Nº 30	0,600	16.25	35	65
Nº 50	0,300	15.58	45	55
Nº 100	0,150	26.91	70	30
FONDO		17.60	100.00	0.00
		<b>M.F</b>	<b>2.2</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 03: Contenido de humedad, piedra chancada de 1/2"**

Descripción	Unidad	M1	M2
Peso de tarro	(gr.)	20.20	18.70
Peso de tarro + Suelo húmedo	(gr.)	73.80	74.25
Peso de tarro + Suelo seco	(gr.)	73.50	73.95
Peso de suelo seco	(gr.)	53.30	55.25
Peso de agua	(gr.)	0.30	0.30
% de Humedad	(%)	0.56	0.54
<b>% De humedad promedio</b>	<b>(%)</b>		<b>0.55</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 04. Contenido de humedad. Arena gruesa**

Descripción	Unidad	M1	M2
Peso de tarro	(gr.)	19.72	22.20
Peso de tarro + Suelo húmedo	(gr.)	66.15	65.65
Peso de tarro + Suelo seco	(gr.)	66.05	65.56
Peso de suelo seco	(gr.)	46.33	43.36
Peso de agua	(gr.)	0.10	0.09
% de humedad	(%)	0.22	0.21
<b>% De humedad promedio</b>	<b>(%)</b>		<b>0.21</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 05: Peso específico y absorción del agregado grueso**

Descripción	Unidad	Resultado
Peso material saturado y superficie seca (en aire)	(g)	<b>1042.4</b>
Peso material saturado y superficie seca (en agua)	(g)	<b>650.4</b>
Volumen masa + volumen de vacíos	(cm <sup>3</sup> )	<b>392.0</b>
Peso material seco a 105°C	(g)	<b>1030.7</b>
Volumen de masa	(cm <sup>3</sup> )	<b>380.3</b>
Peso bulk base seca	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.629</b>
Peso bulk base saturada	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.659</b>
Peso aparente base seca	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.710</b>
Absorción	(%)	<b>1.14</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 06. Peso específico y absorción del agregado fino**

Descripción	Unidad	Resultados
Peso material saturado y superficie seca (en aire)	(g)	<b>300.0</b>
Peso fiola + H <sub>2</sub> O	(g)	<b>651.0</b>
Peso fiola + H <sub>2</sub> O + material	(g)	<b>951.0</b>
Peso fiola + H <sub>2</sub> O + material saturado y superficie seca	(g)	<b>840.3</b>
Volumen masa + volumen de vacíos	(cm <sup>3</sup> )	<b>110.7</b>
Peso material seco a 105°C	(g)	<b>298.0</b>
Volumen de masa	(cm <sup>3</sup> )	<b>108.7</b>
Peso bulk base seca	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.692</b>
Peso bulk base saturada	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.710</b>
Peso aparente base seca	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.741</b>
Absorción	(%)	<b>0.67</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 07: Resultado de Equivalente de Arena

Ensayo	M-1	M-2
Lectura del nivel de muestra + agua	250	250
Lectura del nivel de arena	228.4	229.1
SE (%)	91.36%	91.64%
<b>Cálculo del equivalente de arena</b>		
<b>Promedio</b>	<b>91.50%</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 08: Resultado de Abrasión con la Máquina de los Ángeles

Mallas que pasa - retiene	Peso inicial (gr)	Peso después del ensayo retenido en malla N°12 (gr)	Peso que pasa T.N°12 después del ensayo (gr)	Porcentaje de abrasión del agregado (%)
1 1/2" - 1"	1500	-	-	-
1" - 3/4"	1500	-	-	-
3/4" - 1/2"	1500	1229.17	270.83	18.06
1/2" - 3/8"	1500	-	-	-
<b>La muestra presenta un desgaste de abrasión de :</b>				<b>18.06%</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 09: Resultado de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Resultados de ensayo		
Límite líquido	(%)	NP
Límite plástico	(%)	NP
Índice de plasticidad	(%)	NP

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Resultado de Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino

Abertura malla		N° tarro	Peso frac. de ensayo (g)		Pérdida total (%)	Gradación original (%)	Pérdida corre. (%)	
Pasa	Ret.		Antes	Después				
3/8"	N°4							
	N°4	N° 8	499	100.00	88.0	12.0	10.0	2.67
	N° 8	N° 16	497	100.00	85.2	14.8	14.0	4.60
	N° 16	N° 30	17	100.00	82.8	17.2	11.0	4.20
	N° 30	N° 50	20	100.00	87.1	12.9	10.0	2.87
<b>Pérdida total (%)</b>							<b>14.3</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 11: Resultado de durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso**

Abertura malla		N° tarro	Peso frac. de ensayo (g)		Pérdida total (%)	Gradación original (%)	Pérdida corre. (%)
Pasa	Ret.		Antes	Después			
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	122	672.1	919.8	8.3	41.0	3.40
1/2"	3/8"	384	331.1				
3/8"	N° 04	156	300.7	263.2	12.5	59.0	7.38
<b>Pérdida total (%)</b>							<b>10.8</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12: Resultado de Sales Solubles**

Identificación	Sales solubles (%)
Arena	0.3155
Piedra	0.2626

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 13: Resultado de Valor de Azul de Metileno**

Muestra	Valor de azul de metileno (mg/g)
Cantera San Martin	0.50

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 14: Resultado de Caras Fracturadas**

Abertura malla		Peso de la fracción de ensayo (g)	Número de Partículas	Partículas fracturadas (g)	Caras fracturadas (%)	Gradación original (%)	Promedio de caras fractu.
Pasa	Ret.						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	106.4	31	106.4	100.0	34.2	3415.0
1/2"	3/8"	216.4	120	216.4	100.0	65.9	6585.0
<b>Total</b>					200	100	10,000.0
<b>Partículas con una a más caras fractura (%)</b>							<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15: Resultado de índice de durabilidad en agregado grueso**

(Muestra preparada para el ensayo)		
Abertura malla		Peso de la frac. de ensayo (g)
Pasa	Retenido	
3/4"	1/2"	995.0
1/2"	3/8"	658.7
3/8"	N° 04	840.9
Índice de durabilidad del agregado grueso (Dc)		
Muestra	Resultado	
Cantera San Martin	71 %	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Resultado de índice de durabilidad en agregado fino

(Muestra preparada para el ensayo)		
Abertura malla		Gradación para ensayo (%)
Pasa	Retenido	
Nº4	Nº 8	65.8
Nº 8	Nº 16	84.7
Nº 16	Nº 30	59.2
Nº 30	Nº 50	44.6
Nº 50	Nº 100	23.9
Nº 100	Nº200	71.7
Nº200	-200	50.1

Índice de durabilidad del agregado fino (df)	
Muestra	Resultado
Cantera San Martin	63 %

Fuente: Elaboración Propia

## DETERMINACIÓN DE ENSAYO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS-1HP

Tabla 17: Pruebas a la Emulsión Asfáltica

Pruebas de emulsión			
Ensayos	Unidad	Resultados	Especificaciones NTP 321.059.02
A.- Viscosidad Saybolt de emulsión asfálticas	Seg.	27	20 min
B.- Tamizado de las emulsiones asfálticas	-	0.01	0.1 Max
C.- Carga de partícula de las emulsiones asfálticas	(+)	(+)	Positivo
D.- Estabilidad al almacenamiento 24h	%	0.3	1.0 Max.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18: Pruebas al residuo por destilación

Pruebas al residuo por destilación			
Ensayos	Unidad	Resultados	Especificaciones NTP 321.059.02
A.- Residuo por evaporación	%	62	20 min
B.- Penetración de los materiales asfálticos, 25°C	0.1mm	57	50-90
C.- Ductilidad de los materiales bituminosos, 5°C	Cm	15	10 min.
D.- Punto de ablandamiento de anillo y bola	°C	58	55 min.
E.- Recuperación elástica por torsión, 25°C	%	22	12 min

Fuente: Elaboración propia

**DETERMINACIÓN DE ENSAYO DE CEMENTO ASFÁLTICO PEN60/70,****Tabla 19: Pruebas sobre el material bituminoso**

<b>PRUEBAS SOBRE EL MATERIAL BITUMINOSO</b>			
<b>ENSAYOS</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>	<b>Especificaciones NTP 321.059.02</b>
1.- Penetración a 25°C, 100 g, 5s, 0.1mm	0.1mm	64	60 - 70
2.- Punto de inflamación, °C	°C	299	232min.
3.- Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	Cm	134	100 min.
4.- Solubilidad en Tricloro-etileno, %	%	99.85	99 min.
5.- Índice de Penetración	%	-0.5	-1 - 1
6.- Ensayo de la Mancha (Oliensis)	-	-	-
Solvente Nafta. Xileno, %Xileno	%	30%	Negativo

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 20: Pruebas sobre la película delgada a 163° C**

<b>Pruebas sobre la película delgada a 163°C, 3.2mm, 5h</b>			
<b>Ensayos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>	<b>Especificaciones NTP 321.059.02</b>
1.- Pérdida de Masa	%	0.8	0.8 máx.
2.- Penetración retenida después del ensayo de la película fina, %	0.1mm	68.8	52min.
3.- Ductilidad del residuo, 25°C, 5cm/min, cm	Cm	53.4	50 min.

Fuente: Elaboración Propia

**DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE,****PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS**

- (1) Piedra chancada (Cantera San Martin) = 51%
- (2) Arena natural (Cantera San Martin) = 48%
- (3) Filler (Cal Hidratada) = 01%

**Aditivo mejorador de adherencia**

IDENTIFICACIÓN : Aditivo tipo líquido

DOSIFICACIÓN : 0.5% en peso del asfalto

**Ligante bituminoso**

TIPO DE ASFALTO : Sólido

CLASIFICACIÓN : PEN 60/70

ÓPTIMO CONT. ASFALTO : 6.1%

TEMP. DE MEZCLA (°c) : 145.0

Tabla 21: Características Marshall

Características Marshall				
Nº DE GOLPES			75	
CONTENIDO DE ASFALTO EN PESO (%)		5.8	6.1	6.4
PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> ) (ASTM D-1188)		2.323	2.32	2.314
ESTABILIDAD (lb) (ASTM D-1559)		2532	2516	2420
FLUJO (0,01") (ASTM D-1559)		12.5	13.1	13.5
VACIOS DE AIRE (%) (ASTM D-3203)		4.6	4.1	3.9
VACIOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTM D-1559)		17.3	17.5	17.6
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTM D-1559)		73.9	76.2	77.6
ABSORCIÓN DEL ASFALTO (%) (ASTM D-4469)			0.2	
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTM D-1559)		3609	3443	3192
RELACIÓN POLVO - ASFALTO		1.1	1	1
TEM. MÁX. MEZCLA DE LABORAT. (°c)			145	

Fuente: Elaboración Propia

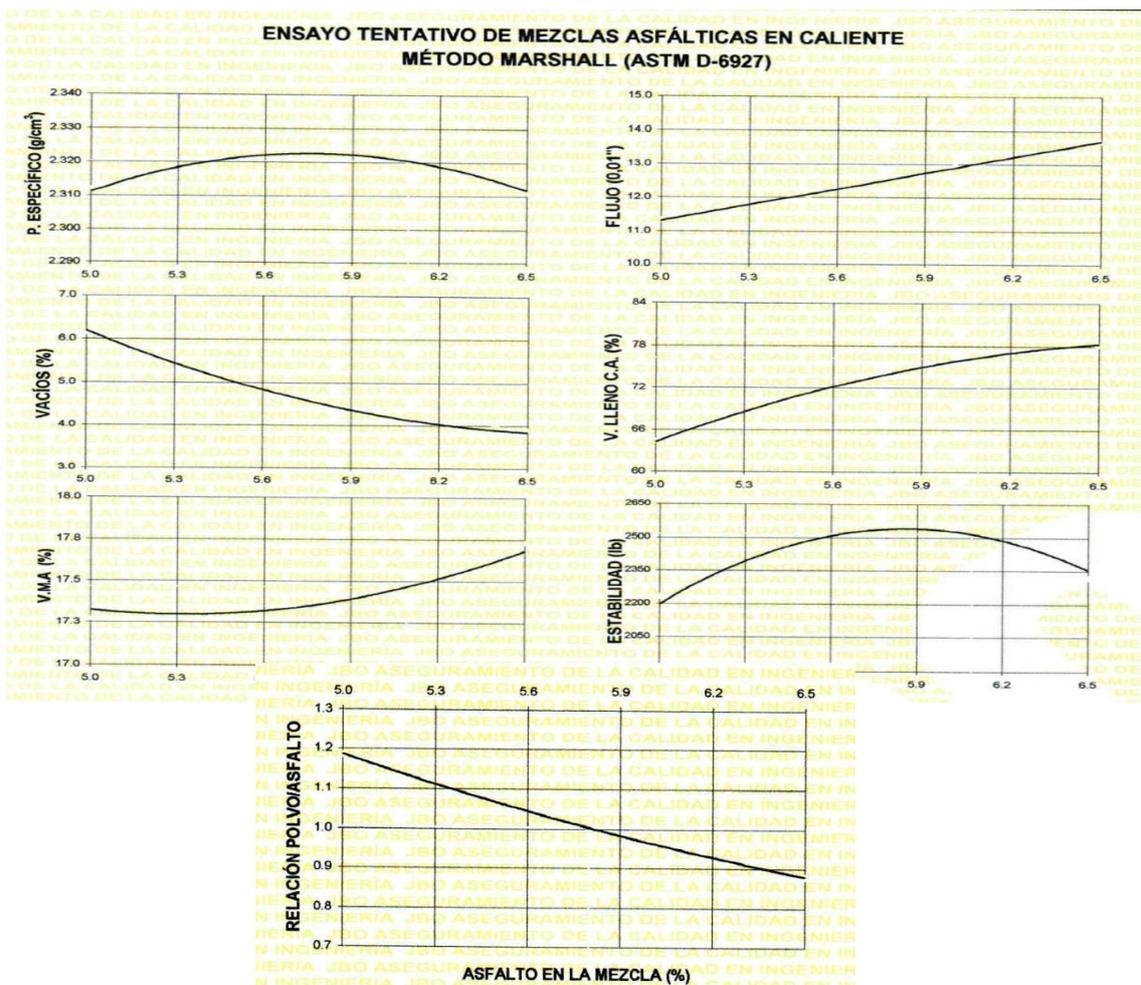


Figura 01. Gráficas del diseño Marshall en caliente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Control de mezcla asfáltica en campo

N°	DENOMINACIÓN	MÉTODO MARSHALL (ASTM D-6927)												
		1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	(%)		5.0				5.5			6.0		6.5	
2	AGREGADO GRUESO N° 4 EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		48.45				48.2			47.94		47.69	
3	AGREGADO FINO (N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		45.60				45.36			45.12		44.88	
4	FILLER MÍNIMO 65% PASA N° 300 EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		0.95				0.95			0.94		0.94	
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	(gl/cm)		1.000				1.000			1.000		1.000	
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO CHANCADO BULK BASE SECA	(gl/cm)		2.629				2.629			2.629		2.629	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO NATURAL - BULK BASE SECA	(gl/cm)		2.692				2.692			2.692		2.692	
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	(gl/cm)		2.300				2.300			2.300		2.300	
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	(cm)	6.70	6.70	6.60	6.80	6.70	6.70	6.70	6.70	6.60	6.60	6.70	6.60
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1)		1214.5	1208.7	1215.5	1220.2	1221.2	1217.1	1231.6	1221.1	1227.3	1235.2	1232.9	1232.2
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2)		1215.5	1211.1	1217.3	1221.6	1222.4	1218.9	1232.4	1223.3	1228.5	1236.4	1234.0	1233.2
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA		690.0	689.0	691.0	695.0	696.0	694.0	702.3	698.2	700.3	702.8	702.6	697.0
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA		525.5	522.1	526.3	526.6	526.4	524.9	530.1	525.1	528.2	533.6	531.4	536.2
14	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA		2311	2.315	2.310	2.317	2.32	2.319	2.323	2.325	2.324	2.315	2.320	2.298
15	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ASTM D-2041)			2.464				2.445			2.423		2.404	
16	VACÍOS	(%)	6.2	6.0	6.2	5.2	5.1	5.1	4.2	4.1	4.1	3.7	3.5	4.4
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL			2.655				2.655			2.655		2.655	
18	VACIOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A)	(%)	17.3	17.2	17.3	17.5	17.4	17.5	17.3	17.2	17.3	17.6	17.4	18.2
19	VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	(%)	64.2	64.9	64.1	70.2	70.8	70.6	76.0	76.4	76.3	78.9	79.8	75.7
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL			2.669				2.669			2.666		2.665	
21	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	(%)		0.20				0.20			0.15		0.14	
22	ASALTO EFECTIVO	(%)		4.8				5.3			5.9		6.4	
23	FLUJO		11	11	12	12	12	12	13	13	13	13	14	14
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR		1024.5	986.4	1119	1124	1123	1124	1245	1265.5	1245.2	1104.0	1110.0	1115.0
25	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
26	ESTABILIDAD CORREGIDA		983.5	986.4	1074.2	1079.0	1078.1	1079.0	1195.2	1205.2	1195.4	1059.8	1065.6	1037.0
27	RELACIÓN ESTAB/FLUJO		3520	3530	3524	3540	3537	3540	3620	3650	3620	3210	2997	2916
28	RELACIÓN POLVO/ASFALTO			1.2				1.1			1.0		0.9	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23. Ensayo de adherencia de agregado grueso

Estado	Unidad	Resultado
Recubrimiento	(%)	100
Adherencia	(%)	+95

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Ensayo de adherencia de agregado fino

Denominación		Desprendimiento Árido - Asfalto	Resultados	
Agua destilada	0	NULO	PARCIAL : Grado 4	
	M/256	1		NULO
	M/128	2		NULO
	M/64	3		NULO
Concentración de Carbonato Sódico	M/32	4	PARCIAL	
	M/16	5	PARCIAL	
	M/8	6	PARCIAL	
	M/4	7	PARCIAL	
	M/2	8	PARCIAL	
	M/1	9	TOTAL	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25. Ensayo de gravedad específica máxima teórica (RICE)

Gravedad específica max. teorica (RICE)					
Nº	Denominación	1B	2B	3B	4B
01	Peso específico máximo (ASTM D-2041)	2.464	2.445	2.423	2.404

Fuente: Elaboración propia

**DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO,****Ensayo tentativo de mezclas asfálticas en frío método Marshall****Mezcla de agregados (Proporción en peso)**

Cantera : San Martin

Piedra chancada : 51 %

Arena natural : 48 %

Asfalto en emulsión : 60 %

Agua en emulsión : 40 %

T. Máximo de agregados : 3/4 pulg.

**Ligante bituminoso**

Tipo de asfalto : Emulsión asfáltica

Clasificación : Emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1HP

**Óptimo cont. asfalto** : 6.2%

Temp. De Mezcla (°C) : Ambiente

Tabla 26: Características Marshall en frío

Características Marshall				
Nº DE GOLPES			75	
CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL	(%)	5.9	6.2	6.5
PESO ESPECÍFICO SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.113	2.123	2.136
ESTABILIDAD MODIFICADA	(lb)	2394	2472	2239
VACIOS (AIRE MAS AGUA)	(%)	4.6	3.7	3.0
TEM. MÁX. MEZCLA DE LABORAT.	(°C)	TEMPERATURA AMBIENTE		

Fuente: Elaboración Propia

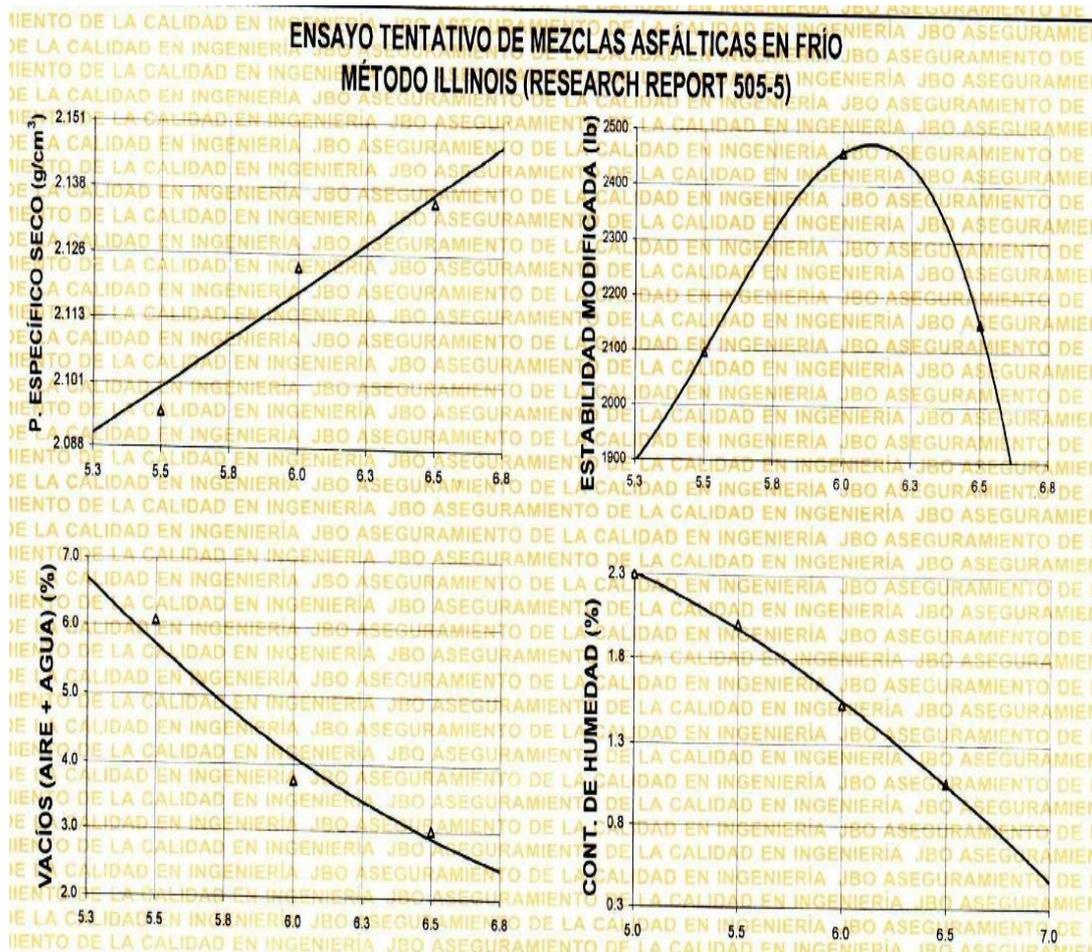


Figura 02. Ensayo tentativo de mezclas asfálticas en frío. Método Illinois (Research Report 505-5)

Fuente: Aseguramiento de la Calidad JBO

Tabla 27: Control en campo mezcla asfáltica en frío

Método Marshall (ASTM D-6927)														
Nº	Denominación		1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C
1	CEMENTO ASFÁLTICO RESIDUAL	(%)		5.0			5.5			6.0			6.5	
2	AGREGADO GRUESO NATURAL (<Nº 4)	(%)		48.94			48.68			48.42			48.17	
3	AGREGADO FINO NATURAL (>Nº 4)	(%)		46.06			45.82			45.58			45.33	
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	(gl/cm <sup>3</sup> )		1.000			1.000			1.000			1.000	
5	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	(cm)	6.40	6.50	6.50	6.50	6.50	6.40	6.50	6.40	6.50	6.50	6.50	6.40
6	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	(g)	1149.8	1156.1	1146.0	1158.2	1157.7	1151.0	1165.0	1165.3	1157.6	1152.3	1158.3	1153.3
7	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	(g)	1150.4	1156.7	1146.7	1161.7	1158.8	1152.2	1165.8	1166.5	1158.8	1153.1	1159.0	1154.0
8	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA	(g)	610.0	615.0	609.0	620.0	618.0	612.0	626.0	625.0	622.0	619.0	622.0	620.0
9	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	(cm <sup>3</sup> )	540.4	541.7	537.7	541.7	540.8	540.2	539.8	541.5	536.8	534.1	537.0	534.0
10	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	(gl/cm <sup>3</sup> )	2.128	2.134	2.131	2.138	2.141	2.131	2.158	2.152	2.156	2.157	2.157	2.160
11	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DE LA BRIQUETA	(gl/cm <sup>3</sup> )	2.078	2.086	2.085	2.096	2.097	2.091	2.122	2.120	2.126	2.134	2.136	2.136
12	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041)	(gl/cm <sup>3</sup> )		2.409			2.395			2.380			2.390	
13	VACÍOS	(%)	7.8	7.5	7.5	6.0	6.0	6.2	3.8	3.9	3.6	3.1	3.0	3.0
14	PESO DEL ESPECIMEN FALLADO	(g)	941.0	928.0	956.3	889.7	901.4	911.0	946.6	913.2	953.1	946.6	913.2	953.1
15	PESO DEL ESPECIMEN FALLADO SECO	(g)	917.3	905.5	934.0	867.9	880.8	891.9	929.1	897.7	938.0	934.8	902.9	941.4
16	CONTENIDO DE HUMEDAD		2.4	2.3	2.2	2.0	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.1	1.0	1.1
17	ESTABILIDAD MODIFICADA SIN CORREGIR	(Kg)	881.0	882.0	889.0	1020.0	1022.0	1030.0	1205.0	1202.0	1200.0	1030.0	1025.0	1033.0
18	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.96	0.93	0.96
19	ESTABILIDAD MODIFICADA CORREGIDA	(Kg)	819.3	820.3	826.8	948.6	950.5	957.9	1120.0	1117.9	1116.0	988.3	953.3	991.7

Fuente: Elaboración Propia

## Discusión

### Determinación de las características de los materiales de cantera.

Para el logro de este objetivo, se llevó a cabo la recolección de agregados de la cantera ya mencionada anteriormente. La adquisición de los agregados se realizó tomándolos directamente de las pilas de material presente en dicha cantera, la cual esta seleccionada por dos tipos de agregados piedra chancada de ½'' y arena gruesa

Seguidamente son llevados a un laboratorio de control de calidad de la Universidad Privada Antenor Orrego y del laboratorio Huertas Ingenieros S.A.C, y se procedió a realizar los ensayos pertinentes a los agregados obtenidos.

En los ensayos mostrados podemos concluir que según los parámetros SUCS para la piedra o grava son pobremente graduada para ambas canteras y para la arena gruesa según los parámetros de AASHTO el tipo de material de suelo es un A3, también para ambas canteras.

Además, podemos observar las Tablas N°01 y 02 en el ensayo de granulometría, pudimos determinar que con la malla ¾'' pasa un 100% y con la malla ½'' pasa un 96.25%, se puede determinar que la cantera San Martin cumple los parámetros de una piedra chancada de ½''. Según MTC (2003).

Para el ensayo de contenido humedad en las Tablas N°03 y 04 pudimos observar que para agregado grueso piedra ½'' tienen una muestra de 0.55% y 0.54% respectivamente, esto quiere decir que cumple con los parámetros establecidos por el MTC de  $\pm 1\%$  y así mismo para el agregado de arena gruesa tiene una muestra 0.22% y 0.21% y está dentro del parámetro indicado.

Para el ensayo de equivalente de arena, observamos en la Tabla N°07 muestra un porcentaje de 91.50%, por lo tanto, se indica que para un tráfico en ejes equivalentes de  $>3 - 30$  (millones), debe satisfacer por lo menos un 50%, en consecuencia, se afirma que los materiales de las canteras cumplen con los parámetros establecidos.

Para el ensayo de abrasión con la máquina de los ángeles, con el material de agregado grueso de la cantera San Martin presenta una resistencia a la abrasión de un 18.06% (ver Tabla N°08), este resultado cumple con los parámetros establecidos por el MTC E207 de  $\leq 3000$  msnm es un 40% como máximo.

En el ensayo de índice de plasticidad (malla, N°200) su resultado es que No presenta ningún porcentaje simbólico, y si cumple los parámetros establecidos por el MTC E111 que dice que  $4_{max}$  en  $\leq 3000$  msnm.

Al observar el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, en los agregados grueso y fino tienen un porcentaje de 10.8 % y 14.3% respectivamente, estos resultados cumplen con las especificaciones técnicas establecida por el MTC E 2019 que para el agregado grueso y fino es 18% max y NP para  $\leq 3000$  msnm.

En el ensayo de sales solubles en agregados tenemos como resultado 0.3155% para el agregado fino y 0.2626 para el agregado grueso estos resultados proceden con los parámetros establecidos por el MTC E 219 con un 0.5% máx. Para el agregado fino y grueso respectivamente.

En el ensayo de angularidad del agregado fino tenemos como resultado de 39.0% este resultado cumple con los parámetros establecidos del MTC E 222 con un 30% máx.  $\leq 3000$  msnm.

Para el ensayo de azul de metileno tenemos como resultado 0.50mg/g este valor está dentro de las especificaciones técnicas del AASTHO TP 57 de 8 máx.  $\leq 3000$  msnm.

Para el ensayo del índice de durabilidad unos de los ensayos más importantes para el diseño Marshall hemos obtenido un valor de 71% para el agregado grueso y 63% para el agregado fino, estos valores cumplen con los parámetros establecidos del MTC E214 con 35% máx.  $\leq 3000$  msnm.

### **Determinación de diseño Marshall en mezcla Asfáltica en Caliente**

Según los ensayos realizados, tanto el agregado fino como el agregado grueso de la cantera San Martín presentan una buena adherencia en mezclas para asfalto líquido PEN60/70. De las curvas podemos describir lo siguiente.

De las curvas de diseño graficadas para determinar el contenido óptimo de asfalto se encuentran en la Fig. 01, se puede observar lo siguiente.

El porcentaje de V.M.A y el porcentaje de V.F.A (Vacíos llenos) aumentan de porcentaje durante su desarrollo de incremento de porcentaje de asfalto, por otro lado, el porcentaje de Vacíos disminuye durante el incremento de porcentaje de asfaltos.

El peso específico aumenta durante el incremento de porcentajes de contenido de asfalto hasta llegar su máximo de 6.0% relativamente, si seguimos esa tendencia el porcentaje disminuye alcanzando su valor máximo para un determinado contenido de asfalto y así formando una parábola invertida.

En la curva flujo vs contenido de asfalto presenta una clara tendencia de aumento cada vez que aumentamos el porcentaje de asfalto

En general, se puede apreciar en las gráficas mantienen un comportamiento típico. Teniendo en cuenta que el diseño de mezclas fue echo para un tránsito pesado, es importante resaltar lo siguiente: El valor de estabilidad vs el contenido de asfalto de 6% tiene un valor de 11817N. Este valor tiene un incremento de 47.6% mayor que lo recomendado por el instituto de asfalto americano. Por lo este diseño de mezcla es recomendable para su tipo de construcción en carreteras en la ciudad de Trujillo. Para el contenido óptimo de asfalto de 6% tiene un valor de VMA de 17.4%, siendo el mínimo exigido de 11%. Los parámetros que debería encontrarse el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) están comprendido entre 65-75%. Y los resultados obtenidos son de 75% con el contenido de asfalto óptimo.

Para el valor de fluencia (flujo) es de 12.8% con el porcentaje óptimo de diseño este valor está dentro del parámetro establecido por el instituto de asfalto americano de 8-14%.

En resumen, tenemos unas características y adherencia de agregados de la cantera San Martín que podrían ser útiles para un diseño de mezcla en caliente con asfalto líquido Pen 60/70 de tránsito pesado y presentar una conducta favorable en su construcción y durabilidad.

### **Determinación de diseño Marshall en mezcla asfáltica en Frio.**

De la Figura N°02 de diseños obtenidos para determinar el contenido óptimo de asfalto, se muestra en lo siguiente: El peso específico Bulk y la estabilidad Marshall alcanzan un máximo para un determinado contenido de asfalto para su óptimo, este tiene como resultado una parábola invertida para la estabilidad. Es importante resaltar las gráficas obtenidas que entre el rango de 5% y 6.5% de cemento asfáltico y el peso específico disminuye con el aumento en el contenido de asfalto, esto es coherente. Además, el máximo valor del peso específico se obtiene con 5%, pero no concuerda con el óptimo contenido de asfalto correspondiente a su valor de estabilidad (6%).

Teniendo en cuenta que la mezcla asfáltica en frío tiene un diseño de para un tránsito pesado, se puede rescatar lo siguiente: Para el contenido óptimo de asfalto de 6%, la estabilidad de las briquetas ensayadas alcanza un promedio de 10963N. Este valor se encuentra aproximadamente un 37% mayor que lo especificado por instituto del asfalto americano, que es 8006N. Por lo tanto, se puede concluir que el diseño es satisfactorio, verificando así el uso de mezclas asfálticas en frío con emulsión en el diseño de mezclas asfálticas para un tránsito pesado.

Para el contenido óptimo de asfalto el porcentaje de vacíos es aproximadamente de 3.8%, podemos deducir que si cumple con los parámetros establecidos.

Para el contenido de húmeda con las gráficas obtenidas que entre el rango de 5% y 6.5% de cemento asfáltico y el contenido de humedad disminuye con el aumento en el contenido de asfalto, esto se deduce es coherente.

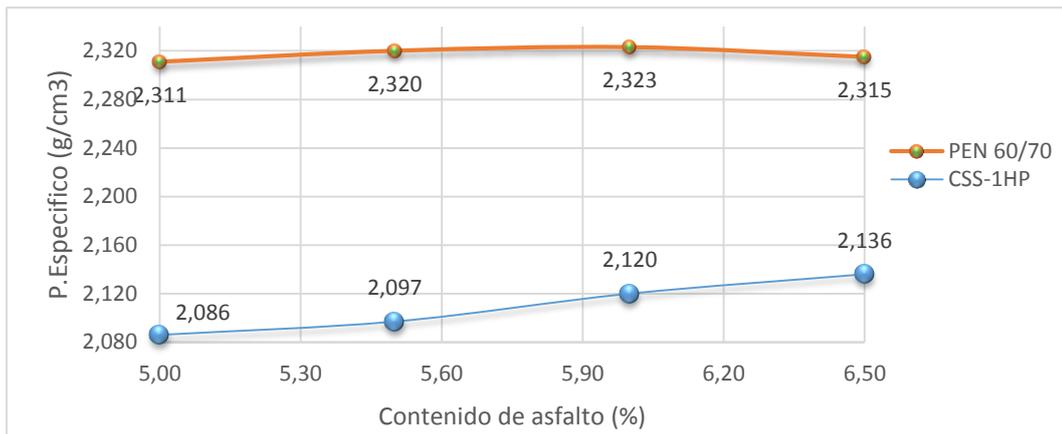
**Comparación de resultados para mezclas asfálticas en frío y caliente con CSS-1HP y PEN60/70 respectivamente**

La comparación hará a partir de las gráficas de porcentaje de vacíos, peso específico y estabilidad, tal como se muestra en la Figura N°03.

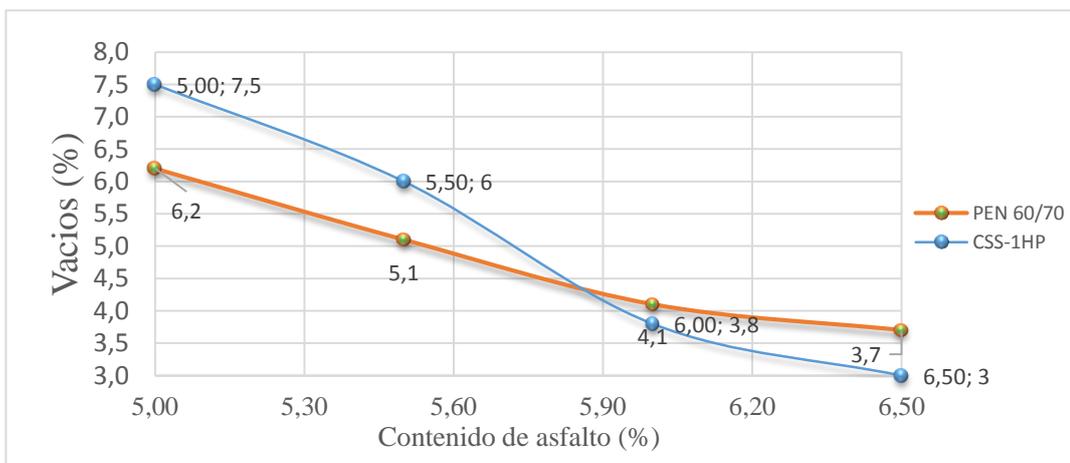
En general el porcentaje de vacíos tiende a disminuir con el aumento de con tenido de asfalto tanto para el PEN 60/70 y para la emulsión CSS-1HP. Estas tendencias son congruentes ver Fig. N°04.

Para los parámetros de contenido de cemento asfáltico PEN60/70 (5-6.5%), el peso específico tiene una forma de parábola invertida llegando a su máxima capacidad con su optimo contenido de asfalto de 6%. Con la emulsión asfáltica CSS-1HP el peso específico tiene un rango de aumento durante el incremento de contenido de asfalto, teniendo su resultado mayor en con el 6.5% de asfalto ver Fig. N°03.

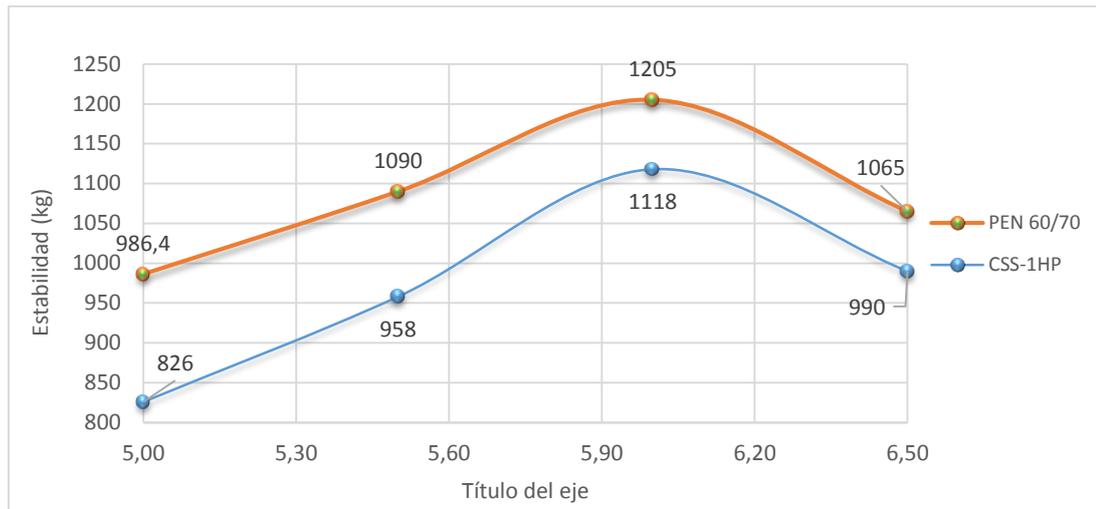
En la curva de estabilidad tiene la forma de parábola invertida, alcanzando un máximo para un determinado contenido de asfalto. Esto es válido como para el cemento asfáltico PEN 60/70 y la emulsión asfáltica CSS-1HP. Para el óptimo contenido de asfalto de PEN60/70 es de 6% y a su vez para la emulsión asfáltico CSS-1HP también es de 6%, los resultados obtenidos tienen un incremento de 47% y 37% mayores que lo establecido respectivamente Fig. N°05. Podemos decir que los valores obtenidos son satisfactorios y cumplen con los parámetros establecidos con el instituto de asfalto americano en diseño Marshall en tránsito pesado.



**Figura 3: Peso Específico vs Contenido de asfalto**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 4: Vacíos (%) vs Contenido de asfalto**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5: Estabilidad (Kg) vs contenido de asfalto**

Fuente: Elaboración propia.

### Conclusiones.

Los agregados gruesos de la cantera San Martín presentan características físicas angulares y/o alargadas ya que estos son formados naturalmente o triturados de piedra de cantera, estos tienen una resistencia al desgaste de 18.06%. De acuerdo a los estudios realizados se determinó que los agregados de dicha cantera con las especificaciones técnicas establecida por el ente normativo del MTC están dentro de los parámetros establecidos y su máxima resistencia es de 40% para  $\leq 3000$  msnm según MTC E207.

De acuerdo a los ensayos realizados en pruebas de laboratorio para la emulsión asfáltica CSS-1HP obtenidos de la empresa J&A Asphalt. S.A, podemos concluir que, si cumplen con las especificaciones establecidas por la Norma Técnica Peruana NTP 321.141, como se comprueba por los resultados en los ensayos realizados en el laboratorio de la empresa Carlos Amorós Heck Contratistas Generales S.A (CAH).

Con respecto a los ensayos realizados en pruebas de laboratorio para el cemento asfáltico PEN60/70 obtenidos por la empresa J&A Asphalt. S.A, podemos concluir que, si cumplen con las especificaciones establecidas por la Norma Técnica Peruana NTP 321.051, como se comprueba por los resultados en los ensayos realizados en el laboratorio de la empresa REPSOL S.A.

La mezcla asfáltica óptima para un diseño de mezcla en caliente es de 6% con un cemento asfáltico PEN 60/70, con 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino. Con respecto al diseño de mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica CSS-1HP tiene un porcentaje óptimo de 6%, con 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino, además debemos de tener en cuenta que para la mezcla tenemos un 60% de emulsión asfáltica y 40% de agua.

El comportamiento de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con su óptimo contenido de asfalto 6% tiene un valor de 11817 N (1205 kg) con un incremento de 47.6% mayor que el parámetro del instituto del asfalto americano, en el diseño de mezcla asfáltica en frío con su óptimo contenido de asfalto de 6% tiene un valor de 10963N (1118Kg) con un incremento de 37% mayor con el parámetro indicado anteriormente.

El uso de emulsiones asfálticas presenta ventajas técnicas, de seguridad y relativamente económicas y de protección ambiental frente a los cementos asfálticos, las cuales están siendo desaprovechadas en nuestra región. Las emulsiones asfálticas también podrían ser utilizadas para un diseño de mezcla asfáltica que soporta un tráfico pesado.

**Referencia Bibliográficas.**

- Arroyo, T. & Rodríguez, M. (2010). *Análisis comparativo de diseños de mezclas asfálticas en caliente, empleando cemento asfáltico AC-20 y AC-30, utilizando agregados de la empresa agremaca* (tesis de pregrado). Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Colombia.
- Corros, M, Urbáez, E. y Corredor, G. (2009). *Manual de herramientas para la evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles*. Lima, Perú. Editorial Universidad Nacional de Ingeniería
- Dávila, J. (2005). *Análisis comparativo de modulo resiliente y ensayos de deformación permanente en mezclas asfálticas del tipo (MDC2) en briquetas compactadas con matillo Marshall y compactador giratorio* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Fonseca A. (2006). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá, Colombia: Editorial La Tercera
- Galván, L. (2015). *Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- López, S. & Veloz, Y. (2013). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador.
- Ministerio de Transporte y Comunicación (2013). *Manual de carreteras, Especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima, Perú. Editorial El Ministerio.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2003), *Manual de ensayos de materiales para carreteras EM-2000*. Lima, Perú. Editorial El Ministerio
- Monsalve, L, Giraldo, L. y Maya, J. (2012). *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Armenia, Colombia. Editorial Universidad del Quindío
- Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima, Perú. Editorial Instituto de la Construcción y Gerencia
- Maila, M. (2010). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)* (tesis de pregrado). Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador
- Rodríguez A. (1998). *Pavimentos flexibles, problemática metodologías. Publicación técnica 104 de Diseño y tendencias*. San Fandil, México. (s.n)
- Rolando, F. (2002). *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y Emulsión* (tesis de pregrado). Universidad de Piura. Piura, Perú.