

Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera San Martín con cemento asfáltico PEN 60/70 y emulsión asfáltica CSS-1HP

Compatibility assessment of mix asphalt using aggregates of quarry San Martin with asphalt cement PEN 60/70 and asphaltic emulsion CSS-1HP

Marco Antonio Ramírez Montenegro¹

Recibido: 13 de setiembre de 2016

Aceptado: 15 de octubre de 2016

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar 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 provenientes de la cantera San Martín. Esto se determinó mediante el método Marshall, en la ciudad de Trujillo – La Libertad, a través de métodos de ensayos en laboratorios de mecánica de suelos y pavimentos con mezclas asfálticas en caliente y en frío. Para facilitar el procesamiento de dichos ensayos se utilizó, tablas, gráficos, imágenes, etc., así como normas y parámetros propuestos por el MTC, AASHTO y ASTM respectivamente. Este proyecto se realizó en la cantera San Martín ubicada en el Kilómetro 590+700 en la carretera Panamericana Norte. Según los análisis de los resultados de ensayos mediante el método Marshall, el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica en caliente empleando cemento asfáltico PEN 60/70 tiene un valor de 6%

con un diseño de 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino. En el caso de la mezcla asfáltica en frío, según el resultado también obtenido con el método Marshall su porcentaje óptimo empleado emulsión asfáltica CSS-1HP tiene un valor de 6% con un diseño de 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino, además debemos tener en cuenta que para la mezcla tenemos un 60% de emulsión asfáltica y 40% de agua. De acuerdo con el comportamiento de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente tenemos como resultado de 11817 N (1205 Kg) y para una mezcla asfáltica en frío tiene un valor de 10963N (1118Kg). Estos resultados cumplen las especificaciones para un tránsito pesado de carpeta y base, según el Instituto de Asfalto americano para el diseño Marshall.

Palabras Claves: Mezcla asfáltica, agregados de cantera, cemento asfáltico, emulsión asfáltica, ensayo Marshall

Abstract

The objective of study was to determine the degree of compatibility of aggregates, their optimum percentage and design of hot-mix asphalt and cold asphalt cement prepared with PEN 60/70 and asphalt emulsion CSS-1 HP and aggregates from the quarry San Martín these are the ones that determined through the Marshall method, in the city of Trujillo - La Libertad, It through obtaining laboratory test methods for mechanical soil and asphalt pavements Mixes in hot and cold, to facilitate the processing of these tests are utilized, tables, gra-

phs, images, etc. In addition to the support of standards and parameters proposed by MTC, AASHTO and ASTM respectively. This project was made with the quarry San Martín located at Kilometer 590 + 700 on the North Panamerican Highway, according to the analysis of the results of tests by Marshall method the optimum percentage of asphalt hot mix asphalt cement by employing PEN 60/70 has a value of 6% with a design 55% of coarse aggregate and 45% fine aggregate. In the result also it made to the Marshall method of mix asphalt cold its opti-

1. Ingeniero civil con maestría en transporte y conservación vial, Universidad Privada Antenor Orrego.

imum percentage employed asphalt emulsion CSS-1 HP has a value of 6% with a design of 55% coarse aggregate and 45% fine aggregate, we must also take into for the mixture that We have a 60% asphalt emulsion and 40% water. According to the stability performance of hot mix asphalt have as a result of 11817 N (1205 Kg) and an asphalt mixture cold is worth 10963N (1118Kg), these results conform to the specifications for heavy traffic the folder and base, according to mentioned by the American institute for Marshall design asphalt.

Key words: Mix asphalt, aggregates, Asphalt Cement, Asphalt Emulsion, Optimum, method Marshall

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 que en las últimas dos décadas se ha dedicado mucho esfuerzo científico y tecnológico 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, menos ahuellamientos por el paso de vehículos, significativa repelencia al agua (alta hidrofobicidad), resistencia a la radiación ultravioleta y 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, que han producido el desarrollo de nuevos materiales asfálticos, así como nuevas formas en las cuales estos pueden ser aplicados al sustrato pétreo.

Trujillo presenta un cambio de las condiciones del medio ambiente ocasionado por lluvias en épocas de verano, además del fenómeno de "El niño" que se repite en un periodo de 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 el 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. A esto hay que agregar una débil adherencia entre el material asfáltico y el material agregado de canteras, lo cual aumenta el daño de las calles de Trujillo.

En este sentido resulta pertinente considerar otros tipos de asfalto que mejoren y desarrollen las condiciones de compatibilidad con el material de agregado de la cantera. Por eso nuestra investigación se planteó 5 objetivos. Primero: determinar las características físicas y mecánicas de los materiales de agregados de la cantera San Martín, teniendo en cuenta las normas del Ministerio de

Transporte y Comunicaciones (MTC). Segundo: ensayos de calidad del cemento asfáltico tipo PEN60/70 para una mezcla asfáltica en caliente. Tercero: ensayos de calidad de la 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. 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, por lo tanto, cumple con los estándares de calidad necesarios para su desarrollo. Además las mezclas asfálticas en frío representan una alternativa para reducir los impactos negativos del medio ambiente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Población

Esta investigación hace el estudio y análisis de las canteras de la ciudad de Trujillo, región de La Libertad.

Muestra

Cuatro sacos de material de agregados finos y gruesos de la cantera San Martín de la ciudad de Trujillo, La Libertad, Perú. Además se utilizaron 40 briquetas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente y frío.

Tipo de estudio

El presente es un estudio de tipo descriptivo porque busca mostrar las características de los agregados de la cantera y además su diseño óptimo de compatibilidad con asfáltico líquido y emulsión asfáltica para un mejoramiento del diseño y de la construcción.

Diseño de la investigación

El esquema a utilizar es el siguiente:



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

O: Representa la información obtenida del proyecto.

Procedimiento de recolección de datos

Los datos se recogieron 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 |
| | | T.M.N. | 3/8 " | |

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 |
| | | M.F | 2.2 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 03. Peso específico y absorción del agregado grueso

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | RESULTADO |
|--|---------|---------------|
| Peso material saturado y superficie seca (en aire) | (g) | 1042.4 |
| Peso material saturado y superficie seca (en agua) | (g) | 650.4 |
| Volumen masa + volumen de vacíos | (cm3) | 392.0 |
| Peso material seco a 105°C | (g) | 1030.7 |
| Volumen de masa | (cm3) | 380.3 |
| Peso bulk base seca | (g/cm3) | 2.629 |
| Peso bulk base saturada | (g/cm3) | 2.659 |
| Peso aparente base seca | (g/cm3) | 2.710 |
| Absorción | (%) | 1.14 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 04. 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% |
| CALCULO DEL EQUIVALENTE DE ARENA | | |
| PROMEDIO | 91.50% | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 05. 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 | - | - | - |
| LA MUESTRA PRESENTA UN DESGASTE DE ABRASIÓN DE : | | | | 18.06% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 06. Resultado de durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino

| ABERTURA MALLA | | N° TARRO | PESO DE LA FRAC. DE ENSAYO (g) | | Pérdida total (%) | Gradación original (%) | Pérdida corre. (%) |
|--------------------------|-------|----------|--------------------------------|---------|-------------------|------------------------|--------------------|
| PASA | RET. | | ANTES | DESPUES | | | |
| 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 |
| PERDIDA TOTAL (%) | | | | | | | 14.3 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 07. Resultado de durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso

| ABERTURA MALLA | | N° TARRO | PESO DE LA FRAC. DE ENSAYO (g) | | Pérdida total (%) | Gradación original (%) | Pérdida corre. (%) |
|--------------------------|-------|-------------|--------------------------------|---------|----------------------|---------------------------|-----------------------|
| PASA | RET. | | ANTES | DESPUES | | | |
| 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 |
| PERDIDA TOTAL (%) | | | | | | | 10.8 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 08. Resultado de sales solubles

| IDENTIFICACIÓN | SALES SOLUBLES (%) |
|----------------|--------------------|
| Arena | 0.3155 |
| Piedra | 0.2626 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 09. Resultado de valor de azul de Metileno

| MUESTRA | VALOR DE AZUL DE METILENO (mg/g) |
|--------------------|----------------------------------|
| Cantera San Martin | 0.50 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resultado de caras fracturadas

| ABERTURA MALLA | | Peso de la fracción de ensayo (g) | Numero 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 |
| TOTAL | | | | | 200 | 100 | 10,000.0 |
| PARTICULAS CON UNA A MÁS CARAS FRACTURA (%) | | | | | | | 100.0% |

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

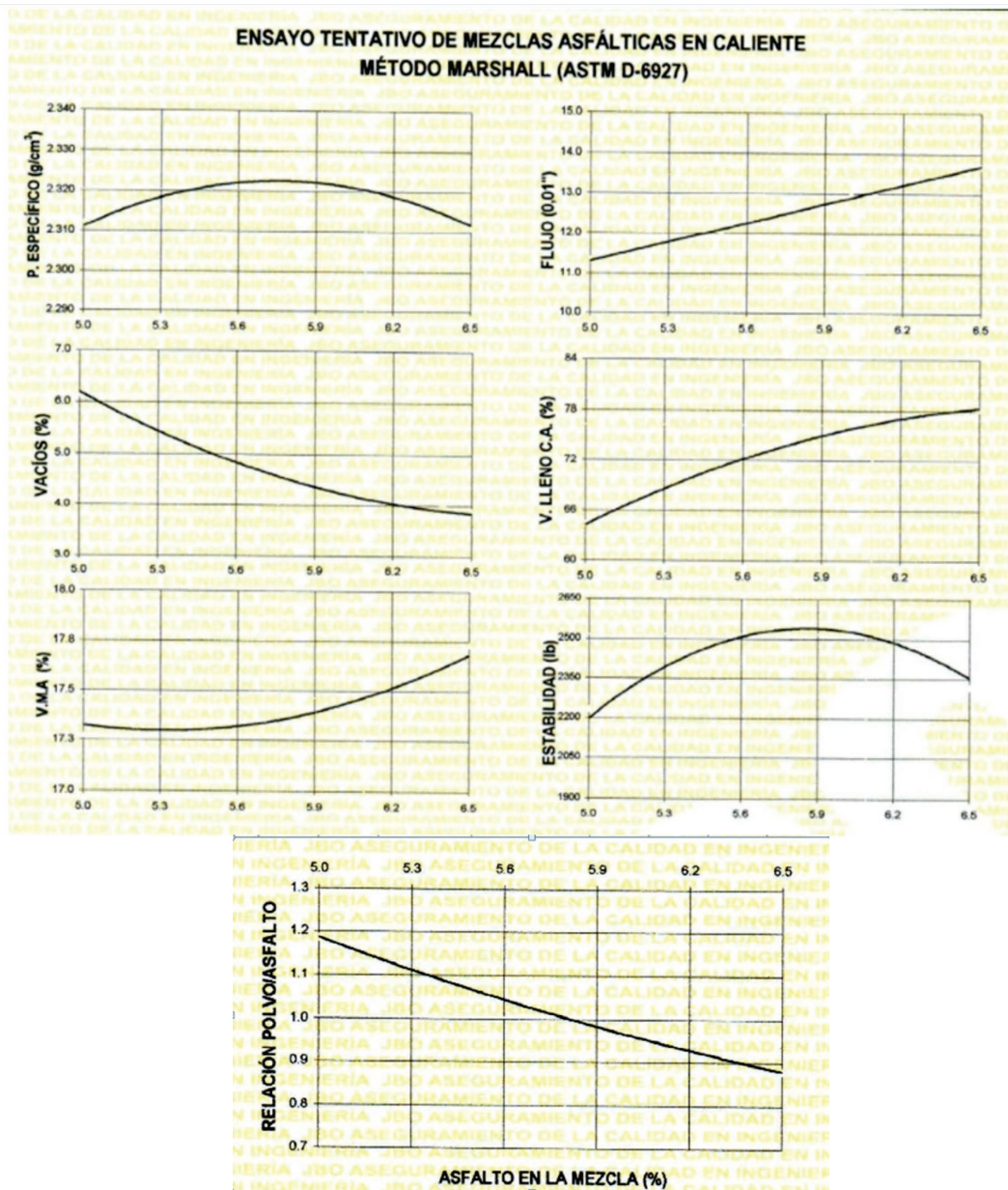


Figura 01. Gráficas del diseño Marshall en Caliente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Control de Mezcla Asfáltica en Campo

| Nº | 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 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | AGREGADO GRUESO Nº 4 EN PESO DE LA MEZCLA | (%) | 48.45 | | | | | | | 47.94 | 6.0 | | | | 6.5 | | |
| 3 | AGREGADO FINO (Nº 4) EN PESO DE LA MEZCLA | (%) | 45.60 | | | | | | | 45.36 | 45.12 | | | | 44.88 | | |
| 4 | FILLER MÍNIMO 65% PASA Nº 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 | 6.70 | 6.70 | 6.60 | 6.60 | 6.70 | 6.60 | 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 | 1221.1 | 1231.6 | 1227.3 | 1235.2 | 1232.9 | 1232.2 | 1232.2 |
| 11 | PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) | | 1215.5 | 1211.1 | 1217.3 | 1221.6 | 1222.4 | 1218.9 | 1232.4 | 1222.4 | 1222.4 | 1232.4 | 1228.5 | 1236.4 | 1234.0 | 1233.2 | 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 | 698.2 | 700.3 | 702.8 | 702.6 | 697.0 | 697.0 | 697.0 |
| 13 | VOLUMEN DE LA BRIQUETA | | 525.5 | 522.1 | 526.3 | 526.6 | 526.4 | 524.9 | 530.1 | 525.1 | 525.1 | 528.2 | 533.6 | 531.4 | 536.2 | 536.2 | 536.2 |
| 14 | PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA | | 2311 | 2315 | 2310 | 2317 | 232 | 2319 | 2323 | 2325 | 2325 | 2324 | 2315 | 2320 | 2320 | 2328 | 2328 |
| 15 | PESO ESPECÍFICO MAXIMO (ASTM D-2041) | | 2464 | | | | 2445 | | | 2423 | | | | | 2404 | | |
| 16 | VACÍOS | (%) | 6.2 | 6.0 | 6.2 | 5.2 | 5.1 | 5.1 | 4.2 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 3.7 | 3.5 | 4.4 | 4.4 |
| 17 | PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL | | 2.655 | 2.655 | | | | | | 2.655 | | | | | 2.655 | | |
| 18 | VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A) | (%) | 17.3 | 17.2 | 17.3 | 17.5 | 17.4 | 17.5 | 17.3 | 17.2 | 17.2 | 17.3 | 17.3 | 17.6 | 17.4 | 18.2 | 18.2 |
| 19 | VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO | (%) | 64.2 | 64.9 | 64.1 | 70.2 | 70.8 | 70.6 | 76.0 | 76.4 | 76.4 | 76.3 | 78.9 | 78.9 | 79.8 | 75.7 | 75.7 |
| 20 | PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL | | 2.669 | 2.669 | | | | | | 2.669 | | | | | 2.665 | | |
| 21 | ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL | (%) | 0.20 | 0.20 | | | 0.20 | | | 0.15 | | | | | 0.14 | | |
| 22 | ASFALTO EFECTIVO | (%) | 4.8 | 4.8 | | | 5.3 | | | 5.9 | | | | | 6.4 | | |
| 23 | FLUJO | | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 |
| 24 | ESTABILIDAD SIN CORREGIR | | 1024.5 | 986.4 | 1119 | 1124 | 1123 | 1124 | 1245 | 1265.5 | 1245.2 | 1104.0 | 1110.0 | 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 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 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 | 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

DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

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

OPTIMO CONT. ASFALTO : 6.2%

- Temp. De Mezcla (°C) : Ambient

Tabla 12. 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 ³) | | 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

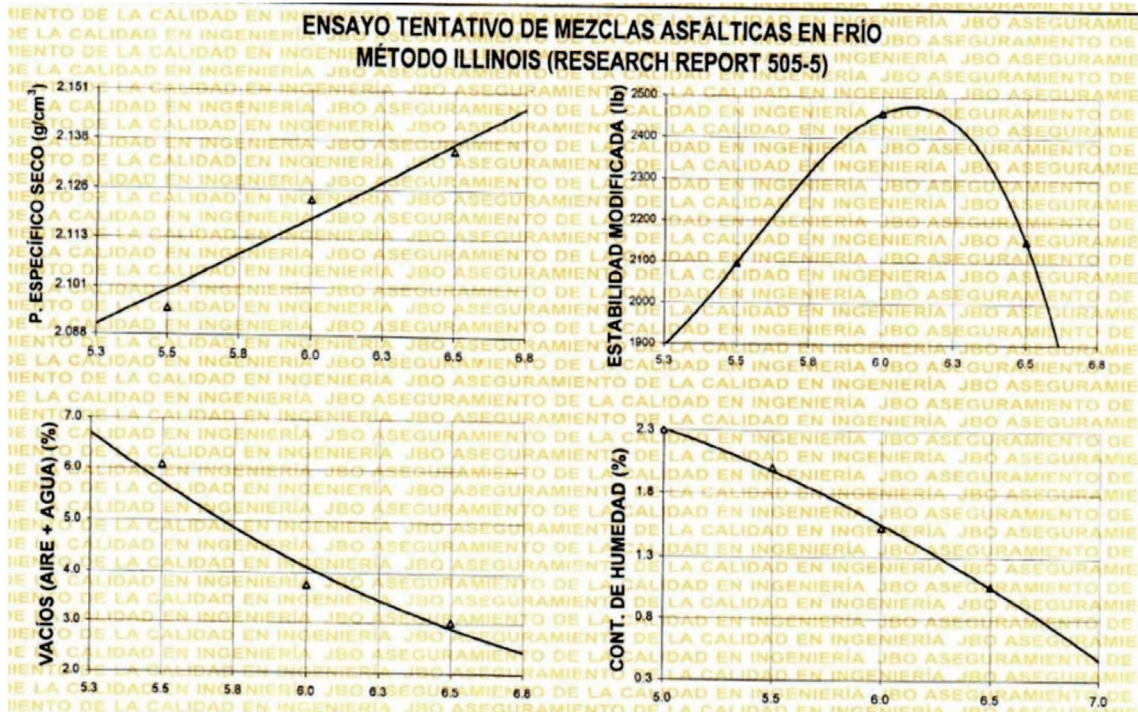


Figura 02. Gráficas del diseño Marshall en frío

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Control en campo mezcla asfáltica en frío

| MÉTODO MARSHALL (ASTM D-6927) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° | DENOMINACIÓN | 1A | 1B | 1C | 2A | 2B | 2C | 3A | 3B | 3C | 4A | 4C |
| 1 | CEMENTO ASFÁLTICO RESIDUAL | | 5.0 | | | 5.5 | | | 6.0 | | | 6.5 |
| 2 | AGREGADO GRUESO NATURAL (<N° 4) | | 48.94 | | | 48.68 | | | 48.42 | | | 48.17 |
| 3 | AGREGADO FINO NATURAL (>N° 4) | | 46.06 | | | 45.82 | | | 45.58 | | | 45.33 |
| 4 | PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE | | 1.000 | | | 1.000 | | | 1.000 | | | 1.000 |
| 5 | ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA | 6.40 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.40 | 6.50 | 6.40 | 6.50 | 6.50 | 6.40 |
| 6 | PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE | 1149.8 | 1156.1 | 1146.0 | 1158.2 | 1157.7 | 1151.0 | 1165.0 | 1165.3 | 1157.6 | 1152.3 | 1153.3 |
| 7 | PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA | 1150.4 | 1156.7 | 1146.7 | 1161.7 | 1158.8 | 1152.2 | 1165.8 | 1166.5 | 1158.8 | 1153.1 | 1154.0 |
| 8 | PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA | 610.0 | 615.0 | 609.0 | 620.0 | 618.0 | 612.0 | 626.0 | 625.0 | 622.0 | 619.0 | 620.0 |
| 9 | VOLUMEN DE LA BRIQUETA | 540.4 | 541.7 | 537.7 | 541.7 | 540.8 | 540.2 | 539.8 | 541.5 | 536.8 | 534.1 | 534.0 |
| 10 | PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA | 2.128 | 2.134 | 2.131 | 2.138 | 2.141 | 2.131 | 2.158 | 2.152 | 2.156 | 2.157 | 2.160 |
| 11 | PESO ESPECIFICO BULK SECO DE LA BRIQUETA | 2.078 | 2.086 | 2.085 | 2.096 | 2.097 | 2.091 | 2.122 | 2.120 | 2.126 | 2.134 | 2.136 |
| 12 | PESO ESPECIFICO MAXIMO (ASTM D-2041) | | 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 |
| 14 | PESO DEL ESPECIMEN FALLADO | 941.0 | 928.0 | 956.3 | 889.7 | 901.4 | 911.0 | 946.6 | 913.2 | 953.1 | 946.6 | 953.1 |
| 15 | PESO DEL ESPECIMEN FALLADO SECO | 917.3 | 905.5 | 934.0 | 867.9 | 880.8 | 891.9 | 929.1 | 897.7 | 938.0 | 934.8 | 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 | 1.1 |
| 17 | ESTABILIDAD MODIFICADA SIN CORREGIR | 881.0 | 882.0 | 889.0 | 1020.0 | 1022.0 | 1030.0 | 1205.0 | 1202.0 | 1200.0 | 1030.0 | 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 | 0.96 |
| 19 | ESTABILIDAD MODIFICADA CORREGIDA | 819.3 | 820.3 | 826.8 | 948.6 | 950.5 | 957.9 | 1120.0 | 1117.9 | 1116.0 | 988.3 | 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. Los agregados fueron recolectados directamente de las pilas de material presente en dicha cantera, seleccionada por dos tipos de agregados piedra chancada de ½" y arena gruesa.

Estos agregados fueron llevados al laboratorio de control de calidad de la Universidad Privada Antenor Orrego y el laboratorio Huertas ingenieros S.A.C, donde se procedió a realizar los ensayos pertinentes.

Después de los ensayos mostrados, se pudo concluir que según los parámetros SUCS para la piedra o grava están pobremente graduadas en ambas canteras y la arena gruesa según los parámetros de AASHTO el tipo de material de suelo es un A3 en ambas canteras.

Además, observando la tabla 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, por lo tanto, que la cantera San Martín cumple los parámetros de una piedra chancada de ½", según MTC (2003).

En el ensayo de contenido humedad, pudimos observar que el agregado grueso piedra ½" tiene 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 asimismo el agregado de arena gruesa tiene una muestra 0.22% y 0.21% y está dentro del parámetro indicado.

En el ensayo de equivalente de arena, observamos que la tabla N°04 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.

En el ensayo de abrasión con la máquina de los ángeles, el material de agregado grueso de la cantera San Martín presenta una resistencia a la abrasión de un 18.06% (ver tabla N°05). Este resultado cumple con los parámetros establecidos por el MTC E207 de ≤ 3000 msnm que 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 sí cumple los parámetros establecidos por el MTC E111 que dice que 4_{max} en ≤ 3000 msnm.

Al observar el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, los agregados grueso y fino tienen un porcentaje de 10.8 % y 14.3% respectivamente. Estos resultados cumplen con las especificaciones técnicas establecidas por el MTC E 2019 que para el agregado grueso y fino es 18% $_{max}$ y NP para ≤ 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 39.0%. Este resultado cumple con los parámetros establecidos del MTC E 222 con un 30% máx. ≤ 3000 msnm.

En 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. ≤ 3000 msnm. En el ensayo del índice de durabilidad, uno 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. ≤ 3000 msnm.

Determinación del 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 que 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 al incrementarse el porcentaje de asfalto. El porcentaje de vacíos, por otro lado, 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.

Se puede apreciar que, en general, las gráficas mantienen un comportamiento típico. Teniendo en cuenta que el diseño de mezclas fue hecho 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. Este diseño de mezcla es recomendable para su tipo de construcción en las carreteras de 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 comprendidos 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 frío

En la figura N°02 de diseños obtenidos para determinar el contenido óptimo de asfalto, se muestra 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 el Instituto del Asfalto Americano, que es 8006N. Por lo tanto, se pue-

de 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 sí cumplen los parámetros establecidos.

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

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

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

El porcentaje de vacíos, en general, tiende a disminuir con el aumento de contenido 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 óptimo 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 con el 6.5% de asfalto, ver fig. N°03.

La curva de estabilidad tiene la forma de parábola invertida, alcanzando un máximo para un determinado contenido de asfalto. Esto es válido tanto para el cemento asfáltico PEN 60/70 como para la emulsión asfáltica CSS-1HP. Para el óptimo contenido de asfalto de PEN60/70 es de 6% y a su vez para la emulsión asfáltica 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 por el Instituto de Asfalto Americano para el diseño Marshall en tránsito pesado.

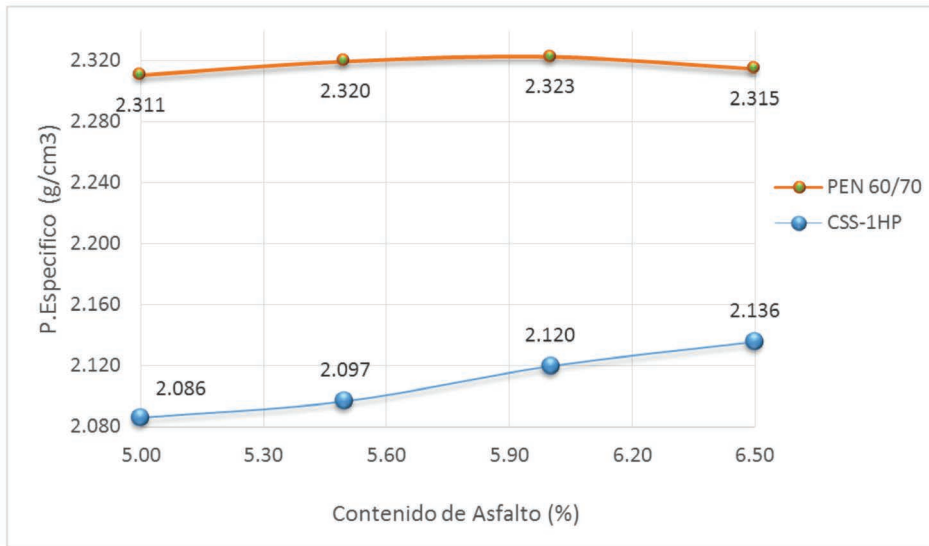


Figura 3. Peso específico vs contenido de asfalto
Fuente: Elaboración propia

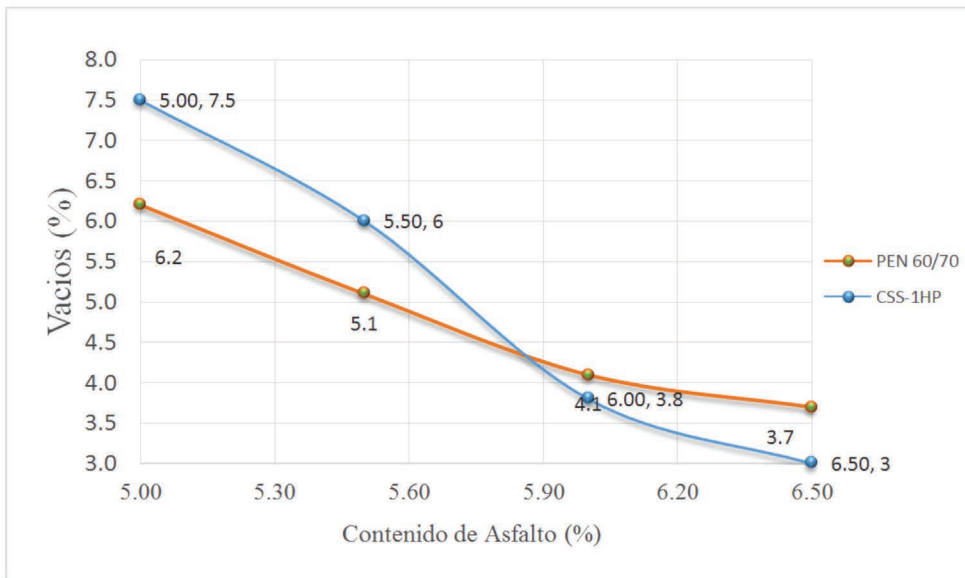


Figura 4. Vacíos (%) vs contenido de asfalto
Fuente: Elaboración propia.

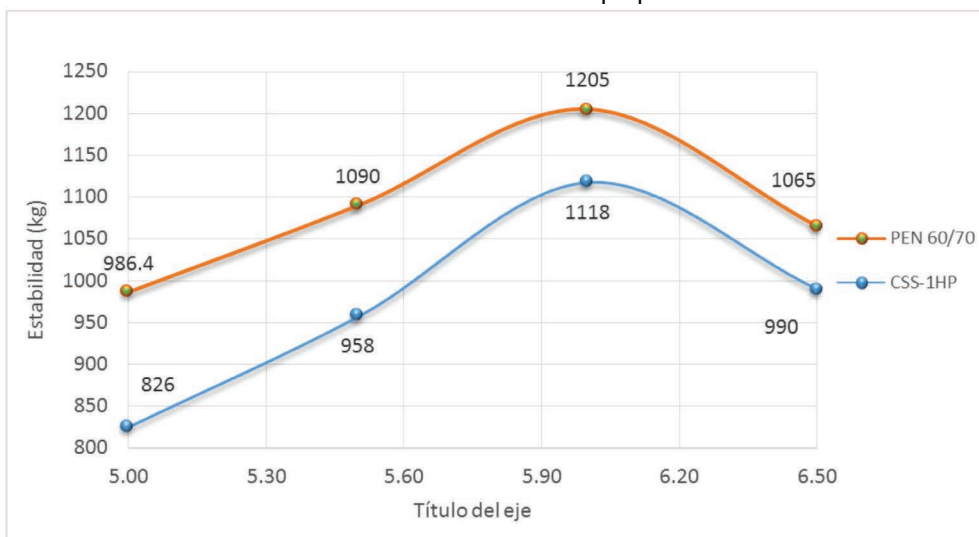


Figura 5. Estabilidad (Kg) vs contenido de asfalto
Fuente: Elaboración propia.

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 y tienen una resistencia al desgaste de 18.06%. De acuerdo a los estudios realizados se determinó que los agregados de dicha cantera cumplen los parámetros establecidos sobre las especificaciones técnicas por el ente normativo que es el MTC y su máxima resistencia es de 40% para ≤ 3000 msnm según MTC E207.
- De acuerdo a los ensayos realizados en pruebas de laboratorio de la empresa J&A Asphalt S.A. en la emulsión asfáltica CSS-1HP, podemos concluir que sí cumple con las especificaciones establecidas por la norma técnica peruana NTP 321.141, como se comprueba en los resultados de los ensayos en el laboratorio de la empresa Carlos Amorós Heck Contratistas Generales S.A (CAH).
- Con respecto a los ensayos realizados en pruebas de laboratorio en la empresa J&A Asphalt S.A. para el cemento asfáltico PEN60/70, podemos concluir que sí cumple 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 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 emulsiones asfálticas, que son desaprovechadas en nuestra región, también podrían ser utilizadas para un diseño de mezcla asfáltica que soporte 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 módulo 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.