



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Evaluación de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente utilizando aditivo SBS,
Trujillo – La Libertad”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Bach. Flores Armas, Sandra Jaqueline (ORCID: 0000-0001-5898-0097)

Bach. Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth (ORCID: 0000-0001-6616-2879)

ASESOR:

Mg. Jorge Luis, Meza Rivas (ORCID: 0000-0002-4258-4097)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

TRUJILLO-PERÚ

2020

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicamos esta tesis a Dios, por guiarnos en cada momento y darnos las fuerzas para no rendirnos ante las adversidades que se han presentado durante nuestra etapa universitaria.

A mi familia, en especial mi padre Juan Flores Peña, por siempre apoyarme y motivarme a superarme cada día; a mis hermanas María y Magaly por estar presente en cada logro obtenido, y a mi madre Rosa Carmen Armas Marquina en el cielo.

Flores Armas Sandra Jaqueline

A mi familia, en especial a mis padres Francisco Paulino Monzón Rodríguez y Flor Esminda Rivera Araujo, por siempre apoyarme y ser el ejemplo de lucha para superarme cada día; a mi hermana Vexsy Evelin Monzón Rivera por estar presente en cada logro obtenido.

Monzón Rivera Yefersong Aderlinth

AGRADECIMIENTO

Nuestro especial reconocimiento al Ing. Jorge Luis Meza Rivas y al Ing. Luis Horna Araujo por su disposición, colaboración y orientación para la realización de la presente tesis y a la Empresa TDM ASFALTOS SAC, en especial a la señorita Wendy Herencia por lo apoyo que brindo para el desarrollo de la tesis y a Amy Mirely Briceño por su inmensa ayuda.

A la Universidad Cesar Vallejo, a la Escuela de Ingeniería Civil y cada ingeniero docente durante todo el periodo universitario, por el afianzamiento de nuestros conocimientos.

PÁGINA DEL JURADO

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Sandra Jaqueline Flores Armas y Yefersong Aderlinth Monzón Rivera, estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificados con DNI N° 76379630 – 77131274; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaramos bajo juramento que la tesis desarrollada es de nuestra autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y auténtica.

En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas

Trujillo, 02 de Julio del 2020



Flores Armas, Sandra Jaqueline

DNI N° 76379630



Monzón Rivera Yefersong Aderlinth

DNI N° 77131274

ÍNDICE

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del Jurado	iv
Declaratoria de Autenticidad	v
Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	13
2.1. Tipo y diseño de investigación	13
2.2. Operacionalización de variables	15
2.3. Población, muestra y muestreo (incluir criterios de selección).....	16
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	19
2.5. Procedimiento	20
2.6. Métodos de análisis de datos.....	21
2.7. Aspectos Éticos	22
III. RESULTADOS	23
3.1. Estudio de mecánica de suelos	23
3.1.1. Análisis Granulométrico de mezcla de agregados pétreos finos y gruesos... 23	
3.1.2. Peso específico y absorción de agregados grueso de la cantera San Martin, según MTC E-205	26
3.1.3. Peso específico y absorción de agregados fino de la cantera San Martín, según MTC E-205	28
3.2. Método Marshall para mezcla asfáltica convencional/modificada con SBS	30
3.2.1. Especificaciones para el diseño de mezcla asfáltica en caliente	30
3.2.2. Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% y 5.80% según MTC E-504.....	35
3.2.3. Estabilidad Marshall de briquetas convencionales con 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% y 5.80% de asfalto.....	41
3.2.4. Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada, utilizando 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% y 6.17% de SBS.....	50
3.3. Estabilidad Marshall de briquetas modificadas, utilizando 4.17% ,4.67% ,5.17% ,5.67% y 6.17% de SBS.	52
3.4. Análisis Estadístico	60
3.4.1. Prueba de Normalidad	62
3.5. Comparación de resultados	64
IV. DISCUSIÓN	69
V. CONCLUSIONES	70
VI. RECOMENDACIONES	72

REFERENCIAS	73
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de cantidad de especímenes que se realizó por cada porcentaje de asfalto.	16
Cuadro 2. Descripción de cantidad de especímenes que se realizó por cada porcentaje de aditivo SBS.....	18
Cuadro 3. Descripción de técnicas e instrumentos que se realizó para cumplir con los objetivos específicos que se ha planteado.....	20
Cuadro 4. Gradación de agregados pétreos.....	23
Cuadro 5. Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos para mezcla asfáltica.....	24
Cuadro 6. Parámetros de requisitos para mezclas densas	25
Cuadro 7. Requerimientos según norma del MTC para los agregados gruesos.....	26
Cuadro 8. Resultados Peso específico y absorción de agregado grueso de cantera San Martín.	27
Cuadro 9. Requerimientos según norma del MTC para los agregados finos.....	28
Cuadro 10. Resultados de peso específico y absorción de agregado fino de cantera - San Martín.	29
Cuadro 11. Grado de asfalto recomendado para diferentes condiciones de temperatura.	30
Cuadro 12. Selección de tipo de cemento asfáltico	30
Cuadro 13. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	31
Cuadro 14. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.....	32
Cuadro 15. Criterios para el método Marshall de diseño de mezclas.	33
Cuadro 16. Criterios para método Marshall de diseño de mezclas.	34
Cuadro 17. Vacíos mínimos en el agregado mineral (VAM).	34
Cuadro 18. Proporciones de asfalto y agregados que se utilizará en el diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional.....	36
Cuadro 19. Proporciones de asfalto y agregados que se utilizará para mezcla asfáltica convencional.	37
Cuadro 20. Promedio de dimensiones con calibrador vernier digital de briquetas con diferentes porcentajes de asfalto.	39
Cuadro 21. Densidad real y gravedad específica bulk en la mezcla compactada.	40
Cuadro 22. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 3.80% de cemento asfáltico.....	41
Cuadro 23. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 4.30% de cemento asfáltico.....	42
Cuadro 24. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 4.80% de cemento asfáltico.....	43
Cuadro 25. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 5.30% de cemento asfáltico.....	44
Cuadro 26. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 5.80% de cemento asfáltico.....	45
Cuadro 27. Proporciones del polímero SBS y Cemento Asfáltico para el diseño de mezcla asfáltica modificada.....	50
Cuadro 28. Proporciones del polímero SBS y Cemento Asfáltico para mezcla asfáltica modificada con SBS.....	51
Cuadro 29. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 4.17% de SBS.....	52
Cuadro 30. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 4.67% de SBS.....	53
Cuadro 31. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 5.17% de SBS.....	54

Cuadro 32. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 5.67% de SBS.....	55
Cuadro 33. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 6.17% de SBS.....	56
Cuadro 34. Prueba de normalidad en programa estadístico SPSS.....	62
Cuadro 35. Tabla de rangos de prueba no paramétrica H. Kruskall-Wallis.....	63
Cuadro 36. Tabla de estadísticos de prueba no paramétrica H. Kruskall-Wallis.....	63
Cuadro 37. Datos de briquetas con mezcla asfáltica convencional.	64
Cuadro 38. Datos de briquetas con mezcla asfáltica modificada.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema que detalla el resumen del proceso que se ha seguido para llegar a medir la estabilidad en la prensa Marshall.	21
Figura 2. Curva Granulométrica.	24
Figura 3. Molde Marshall para el diseño de mezclas.....	35
Figura 4. Formato para registro de ensayo de estabilidad de las briquetas.	40
Figura 5. Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos con aire.	46
Figura 6. Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad.....	47
Figura 7. Porcentaje de asfalto vs. Flujo.	48
Figura 8. Porcentaje de asfalto vs. Vacíos en el agregado mineral.	49
Figura 9. Porcentaje de SBS vs. Porcentaje de vacíos con aire.....	57
Figura 10. Porcentaje de SBS vs. Estabilidad.	58
Figura 11. Porcentaje de SBS vs. Flujo.....	59
Figura 12. Porcentaje de SBS vs. Vacíos en el agregado mineral.....	60
Figura 13. Esquema 1 para aplicación de prueba estadística ANOVA.	61
Figura 14. Esquema 2 para aplicación de Prueba no paramétrica H. Kruskal-Wallis.	61
Figura 15. Comparación de porcentaje de vacíos en la mezcla convencional y modificada con SBS.....	65
Figura 16. Comparación de Estabilidad en la mezcla convencional y modificada con SBS.	66
Figura 17. Comparación de Flujo en la mezcla convencional y modificada con SBS.....	67
Figura 18. Comparación de porcentaje de VAM en la mezcla convencional y modificada con SBS.....	68

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal evaluar la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente utilizando aditivo SBS, nos planteamos los siguientes objetivos específicos: realizar de mecánica de suelos a los agregados pétreos como el análisis granulométrico, peso específico y absorción, realizar el ensayo marshall para el diseño de mezclas convencional y modificada con SBS, determinar la estabilidad para ambos diseños, realizar análisis estadístico y finalmente comparar los resultados de los dos diseños realizados para determinar si la variación de estabilidad es significativa agregándole el aditivo SBS, a fin de ofrecer una alternativa de solución para reducir las fallas en la carpeta asfáltica y así los pavimentos flexibles sean más duraderos. Una vez obtenida la caracterización de los agregados pétreos provenientes de la cantera San Martín se realizó inicialmente el diseño de mezclas para un primer estudio con 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% y 5.80% de asfalto de grado PEN 60/70, para ello se hicieron 15 briquetas con mezcla asfáltica convencional, luego se ensayaron en la prensa Marshall, en el cual se determinó un porcentaje óptimo de asfalto de 5.17% con estabilidad de 10.55 kN. Este porcentaje fue usado en un segundo diseño de mezcla asfáltica modificada con 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% y 6.17% SBS igual se hizo 15 briquetas que al ser ensayadas se determinó el porcentaje óptimo de SBS que es 4.95%, el cual alcanza una estabilidad de 17.60 kN, además comparándolo con lo especificado en la norma del MTC EG-2013 supera notoriamente la estabilidad mínima (8.15 kN). Los vacíos en agregado mineral (VAM) de la mezcla modificada varía de 14-15 siendo menor a los VAM de la mezcla convencional. Por lo tanto, concluimos que el uso de aditivo SBS incorporado en la mezcla asfáltica en caliente mejora notablemente la estabilidad de manera que pueda disminuir las fallas producidas por efectos del clima y tráfico vehicular.

Palabras clave: Estabilidad, mezcla asfáltica y aditivo SBS

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to evaluate the stability of the hot asphalt mix using SBS additive, the following specific objectives were proposed: Characterize the stone aggregates, carry out the design of conventional and modified mixtures with SBS, determine the stability for both designs, finally compare the results of the two designs carried out and determine through the statistical program if the variation of stability is significant in the design of conventional and modified asphalt mixtures, in order to offer an alternative solution to reduce the failures in the asphalt folder and thus the flexible pavements are more durable. Once the characterization of the stone aggregates from the San Martin quarry was obtained, the design of mixtures was initially carried out for a first study with 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% and 5.80% of asphalt grade PEN 60/70, for which 15 briquettes were made with conventional asphalt mix, then the Marshall test was carried out, in which an optimum percentage of asphalt of 5.17% with stability of 11.23 kN was determined. This percentage was used in a second modified asphalt mix design with 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% and 6.17% SBS. 15 briquettes were made and when tested, the optimum percentage of SBS was determined, which is 4.95%, which achieves a stability of 17.60 kN, in addition to comparing it with what is specified in the MTC EG-2013 standard, it notoriously exceeds the minimum stability (8.15 kN). The mineral aggregate (MVA) voids of the modified mixture vary from 14-15 being less than the MVA of the conventional mixture. Therefore, we conclude that the use of SBS admixture incorporated in the hot mix asphalt significantly improves stability so that it can reduce failures caused by the effects of weather and vehicular traffic

Keywords: Stability, asphalt mix and SBS additive

I. INTRODUCCIÓN

Un país bien desarrollado está directamente relacionado con el crecimiento de la infraestructura vial, ya que son vías de comunicación que conectan a grandes ciudades, pueblos y comunidades. Permitiendo el desplazamiento de personas, distribución e intercambio de servicios y bienes a nivel Local, Nacional e Internacional, de manera paralela va aumentando el volumen de tránsito al que van estar expuestos las carreteras, ocasionando el deterioro de los pavimentos flexibles, tanto a nivel estructural (resistencia) como daños en la superficie de rodadura que se evidencia en el desgaste superficial, desprendimiento (huecos), entre otros. Requiriendo posteriormente trabajos de mantenimiento o rehabilitación, esto se deben a las limitaciones que tienen los materiales tradicionales que se emplean para la construcción de la carpeta asfáltica, por lo tanto no llegan a satisfacer las solicitudes del tránsito de vehículos, condiciones climáticas externas y de temperatura; por este motivo la gran necesidad de utilizar nuevas técnicas que han sido estudiadas y aprobadas; las cuales sirven para aumentar el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente (WULF, 2008).

Para la modificación del cemento asfáltico se puede utilizar diversos aditivos; en este caso se usará uno de los polímeros elastómeros que viene hacer el Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) ya que tiene propiedades mecánicas del caucho, capacidad termoplástica, poca deformación permanente, buen comportamiento a bajas temperaturas, por lo tanto, va contribuir para mejorar las propiedades mecánicas; en este caso la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente será medida con la prensa Marshall. Con esta técnica se busca reducir las fallas por fatiga que se presentan con mucha frecuencia en la carpeta asfáltica y a la vez alargar el tiempo de servicio de la carpeta asfáltica en pavimentos flexibles (Mariano,2011).

Según la revista especializada de PERUVIAS (2016), las carreteras están sometidas a una secuencia de amenazas las cuales desgastan su estructura hasta llegar a deteriorarse quedando en algunos casos totalmente inprovechables. Las fallas más recurrentes en la carpeta asfáltica son: fisuras por fatiga, ahuellamiento y la deformación permanente. Que son consecuencia del aumento de la velocidad y el volumen vehicular, además de las condiciones climáticas (temperaturas altas y bajas), como también los impactos que

producen su propio uso de la carpeta asfáltica como: la abrasión, sobrecarga excesivas y repetitivas así que todos los efectos combinados de estos factores con llevan a una falla en la carpeta asfáltica; siempre y cuando no se haya tenido en cuenta las consideraciones necesarias a las que será impuesta, todo esto aumenta su probabilidad del deterioro de la carpeta asfáltica.

Para complementar la información presentamos las siguientes investigaciones: a Nivel Internacional López y Veloz (2013), en su artículo estudió el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBR Y SBS, como objetivos se plantearon evaluar la caracterización de las mezclas asfálticas sin/con la incorporación de polímeros. Inicialmente realizaron estudios a los agregados pétreos como: peso absorción y específico, equivalente de arena, resistencia a la abrasión y limite líquido y plástico, posteriormente hicieron el diseño para mezcla asfáltica en caliente convencional y modificada con polímero SBS y SBR haciendo uso del método Marshall el cual utilizó muestras de prueba estándar de 64.0mm de alto y 102.0mm de diámetro, inicialmente calcularon un porcentaje teórico que es 3.20%, realizaron 3 briquetas por cada incremento de porcentaje, luego graficaron cantidad de vacíos vs porcentaje de asfalto y obtuvieron 5.5% su porcentaje óptimo de asfalto, seguidamente realizaron la mezcla asfáltica modificada con el cual tienen un porcentaje óptimo de polímero SBS que es 2.50%, registraron una estabilidad de 1550 Lb y un flujo de 16.5 (0.01 pulg.). Su porcentaje óptimo de polímero tipo SBR en mezcla en frio es de 3.00%, con este porcentaje tienen una estabilidad de 2667 lb y un flujo de 28 (0.01 pulgadas).

Finalmente, en su artículo muestran que la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero tipo SBS, aumentó la estabilidad de 88.1% y el flujo 13.3%, así también la mezcla en frio modificada con polímero tipo SBR incrementó 3,68% en estabilidad y 3,70% en flujo; en cambio, la mezcla en frio incrementa sus características, pero no son muy notorias respecto a las mejoras que obtuvieron en caliente, entonces los autores llegan a la conclusión que la mezcla asfáltica con polímero tipo SBS por sus características en la estabilidad, flujo y sus condiciones de ensayo son aptas para capas de rodadura, debido a que usan el asfalto como ligante por lo cual existe mejor cohesión, para las mezclas en frio usan emulsión asfáltica con una cantidad de agua

al momento de adicionar en obra, esta se evapora dejando espacios en el agregado y se utiliza para diseños de carpeta asfáltica como base mejorada.

Por otra parte, Múnera (2012), estudiaron las mezclas binarias Asfalto-Polímero, del cual presentaron el efecto de la modificación polimérica a un asfalto 80/100 de acorde a sus características: reológicas, térmicas y morfológicas. Con el objetivo que logren identificar diferentes niveles de modificación, para ello emplearon: estireno-butadieno-estireno (SBS), caucho molido de llanta (CR) y cera de polietileno (CPE), añadidos al asfalto en cantidades de 3%-15% p/p. de ello lograron demostrar que las mezclas con CPE tuvieron los efectos más perceptibles en relación a las propiedades convencionales (asfalto sin modificar), la cual un aumento de 250% en el punto de ablandamiento y una disminución de 75% en penetración.

Borja y Cárdenas (2019), analizaron y compararon el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímero tipo SBS Y SBR y una mezcla convencional, mediante la evaluación del parámetro de deformación plástica y con la aplicación de ensayos normalizados, como estabilidad y flujo Marshall, etc. Cada resultado que obtienen ayuda a proporcionar información para posteriormente ser utilizada para el diseño de carpetas asfálticas modificadas con polímeros, además determinan el comportamiento que tienen la mezclas asfáltica en caliente modificadas con SBS y SBR, finalmente llegan a la conclusión que la mezcla asfáltica modificada con 2% de SBS es la que tiene mejor desempeño ya que cumple con las especificaciones Marshall (porcentaje de vacíos, vacíos en agregado mineral, vacíos llenos de asfalto, etc.) con un valor de estabilidad de 2465.68 libras, en comparación a 2044.78 libras que se obtiene con la mezcla asfáltica convencional, por consiguiente se obtuvo un incremento de 20.58% de estabilidad, y un flujo (con mezcla asfáltica modificada con SBS) de 10 pulg/100, aumentando en un 11.11%, el porcentaje de SBR que presenta mejor desempeño es con 1% con una estabilidad y flujo de 2356.29 lb y 12 pul/100 respectivamente.

A Nivel Nacional tenemos la tesis de Valdivia (2017), analizó la mezcla asfáltica en caliente incorporando polímero SBS, avaluando su comportamiento mecánico en cuanto mejora, además evaluó: trabajabilidad, resistencia y vacíos en las mezclas modificadas con polímero SBS. Para su evaluación empleó el método Marshall con

cemento asfáltico PEN 60/70, el análisis de granulometría lo analizó con la normativa EG-2013 obteniendo su gradación MAC-2. Para su modificación lo trabajó con 2% - 6% de polímero SBS. Para sus ensayos convencionales y modificados con polímero SBS se basó en la norma EM-2016 (Ministerio De Transportes Y Comunicaciones) y EG -2013. Para el diseño de mezcla utilizó la norma MTC E 504 de la cual especificó: resistencia a la tracción, flujo, estabilidad y peso específico teórico máximo. En el análisis de la mezcla convencional obtuvo el asfalto óptimo de 5.6% y en la modificada un 5%, y de ello registró los siguientes resultados: peso específico de 2.466 gr/c.c. y 2.473 gr/c.c., estabilidad de 1389.4 kg y 1921.4 kg, vacíos en un rango de 3%-5% obtuvo un 3.9 %, vacíos de agregado mineral (VMA) de 17.2% y 15.7%, vacíos llenos de cemento asfáltico (V.LL.C.A.) de 77.4% y 76.1% disminuyendo 1.3%, flujo de 3.7 mm y 3.6mm, índice de rigidez de 3788 kg/cm y 5309 kg/cm incrementando un 40% y viscosidad de 143°C – 158°C y 161°C – 168°C buena trabajabilidad en altas temperaturas, en cuanto a mezclas convencionales y mezclas modificadas con polímero SBS respectivamente.

Gargate y Huamani (2018), se plantean como objetivo principal determinar el análisis comparativo de la mezcla asfáltica con polímeros y tradicional para optimizar las propiedades mecánicas del pavimento flexible, para su evaluación realizaron un total de 56 briquetas de asfalto tradicional y modificado, 28 briquetas para cada estudio mediante la prueba Marshall, en el cual está normado en el MTC EG-2013. Las proporciones de material que han usado es 40% de grava triturada, 35% de arena triturada, 25% de arena zarandeada y los porcentajes del ligante asfáltico con de 4.4%,4.9%,5.4%,5.9%. encontrando un óptimo de asfalto de 5.5% para la mezcla asfáltica convencional y 5.1% para la mezcla asfáltica modificada con SBS.

Así también, Cahuana y Limas (2018), plantearon la finalidad de aumentar el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica modificada incorporando Betutec IC + Aditivo Warmix, para ello definieron como objetivo realizar la mezcla asfáltica convencional y modificada con Betutec IC + aditivoWarmi, realizaron un total de 24 muestras, 12 de mezcla asfáltica convencional con porcentajes de 5.0%, 5.5% ,6.0% y 6.5%; y 12 de mezclas asfáltica modificada con Betutec IC + Aditivo Warmix con los mismos porcentajes de la mezcla asfáltica convencional para que encuentren el óptimo porcentaje de Betutec IC + Aditivo Warmix. Concluyeron que la estabilidad de la

mezcla asfáltica modificada con aditivo es significativamente superior a la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en 30.15%, el flujo de la mezcla asfáltica modificada es superior en 3.01% de la convencional, los vacíos en la mezcla asfáltica modificada es menor en 24.39% a la convencional y los vacíos en el agregado mineral de la mezcla modificada es mayor en 2.65% a la mezcla asfáltica convencional.

Finalmente presentamos las investigaciones a Nivel Local, Ibáñez (2015), estudió las propiedades físico-mecánicas del asfalto usando polímeros para mejorarlas, para ello incorporo el polímero Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico, de los cuales realizo ensayos de punto de ablandamiento y penetración para un asfalto convencional (PEN 120/150) según la norma de ASTM D36-95 y ASTM D5:97 respectivamente, encontró el óptimo porcentaje del asfalto convencional con Catalizador elegido y polímero según el ensayo de penetración norma ASTM D5:97 y determino los ensayos comprobatorios. En sus resultados comparativos registro un PEN de 135mm en asfalto convencional y 92mm en asfalto modificado, punto de ablandamiento (método de anillo y bola) de 44°C convencional y 64°C modificados, restauración elástica por torsión de 58% y se encuentra dentro de un rango límite de 40%-60%, restauración elástica mediante ductilometro a 25°C dando un resultado de 88% superando el mínimo de la norma ASTM D6084 de 60%, restauración elástica mediante un ductilometro a 5°C registrando un resultado de 64% superando el mínimo de la norma ASTM D6084 de 50%, mediante la ductibilidad registró un resultado de 150cm superando a las normas ASTM D113-MTC E306-AASTHO T51, pérdida de masa a temperatura "RTFO" registró un 0.67% proporción mínima y separación de asfalto posterior al "RTFO" se obtuvo un resultado de 62°C y 63°C sobrepasando las temperaturas del tramo de estudio

De igual manera, Infante y Vásquez (2016), en su tesis fijaron como objetivo analizar en su estructura y comparar la mezcla asfáltica de tipo convencional y la modificada con polímeros SBS y EVA, de acuerdo a lo anterior demostraron que los polímeros incrementan sus propiedades mecánicas del asfalto que fue modificado en correlación con el asfalto común "convencional", los resultados obtenidos con 5.0% de asfalto es el más óptimo para vehículos livianos y 5.30% de asfalto para tránsito pesado, a partir de estos porcentajes se determinaron el porcentaje óptimo que se va a utilizar de polímero SBS, obteniendo un 5.0% para vehículos livianos y 4.0% para vehículos

pesado. Llegaron a la conclusión que con un porcentaje de 4.0% de polímero SBS incrementó su resistencia al agrietamiento y durabilidad del asfalto y en su estabilidad en 53.20% (1869 kg) y fluencia de 2.70 mm.

También, Salazar (2019), su investigación consistió en determinar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica agregándole caucho por la técnica de vía seca en relación a la mezcla convencional, para ello realizó un 01 diseño patrón de mezcla asfáltica y 03 diseños con la adición de (0.5%, 1.2%, 1.8%), posteriormente a eso realizó la observación directa para que pueda obtener los resultados de las briquetas al someterlo al ensayo por el Método Marshall, según (AASTHO T-245, ASTM- 1559). Concluyendo que 1.2% es su contenido óptimo para las mezclas asfálticas mejoradas con caucho con una estabilidad de 1570 kg, en comparación a la convencional que es 1410 kg. Y el flujo aumenta de 5.56 mm a 6.14 mm de acuerdo a las adiciones de caucho, indican una buena resistencia del pavimento a la deformación.

Este proyecto de investigación se va a sustentar en la siguiente base teórica, las cuales permitirán al lector tener una mayor comprensión del mismo. Como concepto general se sabe que el pavimento Flexible es un paquete estructural que está constituido por capas: subrasante, sub base, base y la carpeta asfáltica; las cuales deben resistir cargas extremas dentro de su tiempo de servicio. La capeta asfáltica está constituida por agregados finos, gruesos y cemento asfáltico, y su función es brindar al tránsito una superficie estable de textura apropiada, uniforme, impermeable.

Las fallas más comunes que se evidencian a nivel de la carpeta asfáltica se deben a la influencia del medio ambiente y al tránsito vehicular, produciendo deformación permanente debido a mezclas inestables por el uso elevado de asfalto, consolidación bajo tráfico, desprendimiento del recubrimiento de asfalto del agregado consecuencia de aumento del tráfico pesado y altas temperaturas. El agrietamiento por fatiga ocurre generalmente cuando el pavimento es esforzado al límite de fatiga debido a las cargas aplicadas y deformación excesivas elásticas. El problema se incrementa cuando no se cuenta con un drenaje en el pavimento, permitiendo que las capas se saturen por exceso de humedad y a la vez pierdan resistencia y rigidez, además como otra fallas en la carpeta asfáltica tenemos la erosión superficial debido a los siguientes factores: Poco contenido de cemento asfáltico, deficiente cantidad de partículas finas para que

mantenga juntas las partículas de agregado grueso, bajo nivel de compactación y envejecimiento excesivo del cemento asfáltico (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 37).

Dentro de los materiales que se utilizan para diseñar mezcla asfáltica en caliente tenemos el cemento asfáltico que es un material derivado de la destilación del petróleo crudo y se utiliza para la pavimentación de carreteras. Los arqueólogos informan que es un material muy antiguo que ha utilizado el hombre, ya que se dieron cuenta rápidamente de las propiedades adhesivas, impermeabilizantes con capacidad de resistir altos esfuerzos instantáneo y bajo la carga de acción de cargas constantes. Su composición es la combinación de moléculas de nitrógeno y carbono, también por cadenas de moléculas compuestas por carbono, azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos (López y Veloz, 2013).

Las propiedades físicas del cemento asfáltico que más destacan son la adhesión que viene a ser la capacidad del cemento asfáltico para que se adhiera al agregado en la pavimentación y la cohesión, es la capacidad de mantenerse firme las partículas de agregado en el pavimento puesto en obra, además tenemos la susceptibilidad a la temperatura siendo la propiedad más importante que es la alteración de sus propiedades al ser sometidas a determinadas temperaturas, seguidamente también tenemos las características reológicas del asfalto refiriéndose a la variación de las propiedades del flujo a través de la aplicación de una carga que viene hacer la viscosidad, la cual varía de acuerdo a la temperatura si es de mayor o menor grado porque en la aplicación de asfalto se debe modificar la viscosidad mediante el grado de temperatura (Infante y Vásquez, 2016, p.46,47).

El comportamiento del cemento asfáltico depende de la temperatura y tiempo de aplicación de carga. El asfalto a temperaturas altas es menos dúctil (consistente), típico durante la temperatura de la mezcla, conforme desciende la temperatura se vuelve más Frágil (consistente). Su comportamiento ideal del asfalto a bajas temperaturas se daría cuanto se vuelve consistente, pero a la vez es totalmente flexible para soportar deformaciones sin agrietarse, ver en anexos, figura 1 (a) similarmente a cargas lentas; mayor tiempo de carga y cargas rápidas; menor tiempo de carga. Ver en anexos, figura 2 (b) (Minaya y Ordóñez, 2006, p.4).

La función del asfalto en los pavimentos viene hacer un aglomerante porque funciona como un ligante en los agregados, además mantiene un comportamiento alto al resistir el trabajo mecánico producidas por el flujo vehicular y también cumple la función de impermeabilizar, que asegura que el pavimento ayude a contrarrestar el agua de las precipitaciones como también del subsuelo por un desarrollo capilar, evitando el ingreso de agua a ninguna de las capas del pavimento flexible (Wulf, 2008, p. 21).

La gradación, dureza y absorción de los agregados beneficia en gran manera a la mezcla asfáltica porque lo vuelve más duradera y rentable. Las propiedades de los agregados tanto finos como gruesos son de mucha importancia en su comportamiento de la estructura del pavimento ya que constituyen el 94% de la mezcla asfáltica en caliente. Actualmente suele realizarse ensayos que buscan caracterizarlos para determinar la calidad de los mismos, tomando como referencia las normas actualizadas ASTM, AASHTO, MTC-2013 que miden el tamaño, gradación, limpieza del agregado, tenacidad y dureza, durabilidad, textura superficial, absorción, forma de partícula. Existen dos factores para minimizar las deformaciones permanentes en mezclas asfálticas en caliente que son: cantidad de caras fracturadas de agregado grueso y el uso de arenas chancadas (Blog de soluciones viales, 2019.)

De acuerdo al Manual de Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras (2013), nos dice que el cemento asfáltico puede ser modificado por aditivos como: rejuvenecedores, los polímeros y cualquier variedad de producto que esté garantizado en base a los ensayos que corresponden. Conociendo los aditivos que modifican al asfalto, para esta presente investigación se va a usar los polímeros; entre ellos tenemos de dos tipos: los Elastómeros que se caracterizan por tener una consistencia elástica son; SBR, Hule, SBS, Látex y Natural y los Plastómeros que son los que tienen una característica no deformable de manera elástica y tiene una consistencia rígida entre ellos tenemos el EVA, polietileno y PVC.

La modificación de asfalto es una técnica que se utiliza para aprovechar al asfalto en las vías (carreteras pavimentadas), consiste en la incorporación de polímeros al asfalto convencional buscando incrementar sus características mecánicas como: resistencia a las deformaciones por factores climáticos y de tránsito vehicular, dentro de los principales modificadores tenemos tres: polímeros de tipo I, son fabricados con

bloques de estireno, en los polímeros elastómeros de tipo bibloque o tribloque, como tenemos Estireno- Butadieno-Estireno “SBS” son los más compatibles con el asfalto, permite mejorar el comportamiento de la mezcla asfáltica en altas y bajas temperaturas; se utiliza para carpetas estructurales de pavimentos con tránsito pesado y carpetas delgadas en climas fríos y cálidos. Polímero tipo II, son fabricados a base de polímeros elastómeros lineales, a través de configuraciones de caucho de Estireno-Butadieno-Látex o Neopreno Látex es utilizado en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos que se busque mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados. Polímeros tipo III, es utilizado en mezclas asfálticas para carpetas estructurales con elevado tránsito vehicular, pero en climas calientes (Avellán,2007, p.32-36).

Se elige polímeros elastómeros porque proporcionan una mayor resistencia, y flexibilidad al pavimento generando una mayor estabilidad y rigidez. Los resultados que se obtiene cuando se modifica al asfalto convencional depende altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero. El SBS presenta dificultades de procesamiento y costos elevados, pero son buenos los resultados que brinda mejorando propiedades reológicas ya que forma su estructura tipo red en el ligante, por lo tanto tenemos que ha menor cantidad de SBS actúa como un polímero disperso y no afecta de manera significativa a las propiedades de la mezcla asfáltica; a mayor cantidad de SBS, empieza a formar estructuras tipo malla y se puede observar un aumento en las temperaturas de punto de ablandamiento y en la dureza de la mezcla (Victoria, Ortiz, etc. 2016, p. 121).

Para el desarrollo de la tesis se utilizó el aditivo Estireno_Butadieno_Estireno “SBS” para modificar el asfalto convencional PEN 60/70, provenientes de la empresa de la ciudad de Lima “TDM Asfaltos” cuyas fichas técnicas se nos proporcionó de ambos productos (ver en anexos 2-5, p.78 y 81).

Las ventajas de modificar el asfalto con polímeros son: reducen el costo del mantenimiento, menos trabajo de conservación, incrementa la resistencia al envejecimiento, mejor compactación y trabajabilidad, decrece la exudación del asfalto por la elevada elasticidad y baja tendencia a fluir y elevada viscosidad de la mezcla. Las desventajas que tiene al modificar el asfalto son: el elevado costo del polímero,

porque no todos los polímeros se adaptan a los estándares del cemento asfáltico (Vásquez 2010, p. 73).

Las propiedades que se consideran en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente son: la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento; las cuales son las que contribuyen a una buena calidad de pavimentos flexibles. La estabilidad es la capacidad de soportar el desplazamiento y deformaciones producto de cargas de tránsito y factores climáticos, depende de su cohesión interna del asfalto y la fricción interna que hay entre las partículas, además debemos tener en cuenta que la estabilidad no debe ser muy alta porque puede producir un pavimento bastante rígido y con poco tiempo de servicio.

El método que se utilizó para diseñar la mezcla asfáltica en caliente será el Método Marshall con el cual se determinó el contenido óptimo del cemento asfáltico en una combinación específica de agregado. El comportamiento y las características de la mezcla se evaluó con el fin de determinar el desempeño de la estructura del pavimento teniendo en cuenta cuatro requisitos que son: solo vacíos o vacíos de aire, densidad de la mezcla, disposición en el agregado mineral y la capacidad de asfalto; definiendo cada una de las características obtuvimos que la densidad es la capacidad de volumen específico de la mezcla asfáltica y es de mucha importancia que el pavimento pueda obtener un rendimiento duradero, estos vacíos o llamados bolsas de aire, que se desarrollan en los agregados compactados de mezcla, además podemos decir que la densidad está relacionada con el porcentaje de vacíos, por lo tanto, a mayor densidad menor va hacer el porcentaje de vacíos y a una baja densidad se tendrá un elevado porcentaje de vacíos. Los vacíos en el agregado mineral vienen hacer las bolsas de aire que existen en los agregados y el asfalto en la mezcla asfáltica y finalmente tenemos el contenido de asfalto que depende de características de los agregados como granulometría, absorción (Infante y Vásquez 2016, p. 71 y 77).

Cada ensayo que se realizó para el diseño de mezcla asfáltica de tipo convencional y modificada con el aditivo SBS a la vez garantizando la calidad de los materiales que se utilizó se tuvo en cuenta el “Manual de Especificaciones Generales para la

Construcción” (EG-2013) y el “Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones” (MTC).

Después de conocer la problemática de acuerdo a los antecedentes referenciados y la revisión teórica se formuló el siguiente problema ¿Cuál es el efecto que tiene el aditivo SBS en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente?

La investigación se justificó porque a medida que un país busca desarrollarse, es primordial que exista una mejor infraestructura vial que llegue a cumplir con las expectativas que el profesional lo diseña, además como justificación social planteamos que todas las vías lleguen a cumplir con su tiempo de servicio establecido con una mayor durabilidad; de manera que se pueda disminuir las fallas en la carpeta asfáltica; las cuales son causa del aumento de tráfico, velocidad excesiva y los impactos que generan su propio uso de las sobrecargas repetitivas, la abrasión; así también la condición climática que se ve expuesto el pavimento al transcurso de su vida útil en temperaturas altas y bajas.

Por tal motivo es de mucha importancia el adecuado diseño de la mezcla asfáltica en caliente respetando las consideraciones del lugar, clima y tráfico vehicular, de acuerdo a esta problemática con la justificación práctica buscamos nuevas técnicas para mejorar el comportamiento de la mezcla asfáltica, la cual consistió en agregar aditivo como es el polímero Estireno- Butadieno- Estireno (SBS) que permitió mejorar la composición del asfalto para una adecuada mezcla asfáltica en caliente para pavimentos flexibles, dando como respuesta alargar la vida útil del pavimento y aumentar su resistencia a la deformación producida por factores de clima, tránsito y grietas por fatiga, además como justificación económica buscamos disminuir los trabajos de mantenimiento o rehabilitación de las vías a la vez contribuyendo con la economía del país.

Para desarrollar la tesis nos planteamos como objetivo principal evaluar la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente, utilizando el aditivo SBS, para el cual se desarrolló los siguientes objetivos específicos: realizar el estudio de mecánica de suelos, realizar la mezcla asfáltica en caliente convencional/modificada utilizando el método Marshall, realizar análisis estadístico, comparar resultados de estabilidad.

El desarrollo de cada objetivo específico contribuyó para dar respuesta a la hipótesis planteada: el uso del aditivo SBS incrementará la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2014) nos dicen que el tipo de investigación se caracteriza según su enfoque es cuantitativa, porque se trabajó con aspectos observables y medibles; también según su finalidad es básica porque al modificar la mezcla con el aditivo SBS buscamos reducir las fallas en la carpeta asfáltica y a la vez alargar la vida útil de la misma; según su nivel es explicativa, porque cada porcentaje de asfalto y SBS que utilizamos en la mezcla asfáltica va registrar resultados diferentes que serán analizados posteriormente en el software Excel y procesados estadísticamente donde se determina si el aditivo SBS tiene efecto y realmente modifica significativamente la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente y finalmente según su temporalidad es transversal, porque la recopilación de datos de la estabilidad que se realizó mediante el ensayo de briquetas en la prensa Marshall realizó en un momento único; es decir se efectuó los ensayos desde la granulometría hasta el diseño mezcla asfáltica en caliente convencional o modificada.

El diseño de investigación es experimental puro con post prueba únicamente y grupo control, ya que se obtuvo el dominio de las condiciones ambientales en el laboratorio donde se evaluó el desarrollo y ensayo de las briquetas diseñadas con mezcla convencional y modificada con aditivo SBS.

El siguiente esquema que lo representa es:

$$RM_C: - O_1$$

$$RM_{E_1}: X_1 O_2$$

$$RM_{E_2}: X_2 O_3$$

$$RM_{E_3}: X_3 O_4$$

$$RM_{E_4}: X_4 O_5$$

$$RM_{E_5}: X_5 O_6$$

Dónde:

R : Muestra Aleatoria (todas las briquetas fueron ensayadas).

M_C : Mezcla asfáltica convencional.

M_{E_i} : Mezcla asfáltica modificada. ($i = 1 - 5$)

O_i : Observación de la estabilidad para M_C y M_E .

X_i : Aditivo SBS en las proporciones

-.: Tratamiento sin estímulo (Sin Aditivo SBS).

2.2.Operacionalización de variables

VARIABLES	VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Dependiente	Proporción de aditivo SBS	El aditivo SBS es un polímero Estireno –Butadieno-Estireno (SBS) que tiene la capacidad de mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente. (Estrada, 2017,p.30)	El aditivo SBS fue utilizado en porcentajes que se añadió en la mezcla asfáltica en caliente.	Porcentaje de SBS	<u>% de Aditivo SBS:</u> 4.17%; 4.67%; 5.17%; 5.67% y 6.17%	De Razón
Variable Independiente	Estabilidad de mezcla asfáltica en caliente	Es la capacidad para resistir y evitar las deformaciones y desplazamientos; producido por las cargas de tránsito. (Infante y Vasquez,2016,p.77)	Para medir la estabilidad se diseñó mezcla asfáltica en caliente utilizando la prensa Marshall.	Estudio de Mecánica de Suelos Método Marshall Análisis Estadístico Comparar Resultados de estabilidad	Análisis Granulométrico Peso específico y absorción de Agregados Diseño mezcla asfáltica convencional 3.80%,4.30%,4.80%,5.30% y 5.80% asfalto Determinar estabilidad Mezcla asfáltica convencional con prensa Marshall Diseño mezcla asfáltica modificada con SBS Determinar estabilidad mezcla asfáltica modificada con SBS con prensa Marshall Prueba de normalidad Prueba H. Kruskal-Wallis. Estabilidad de mezcla asfáltica convencional Estabilidad de mezcla asfáltica modificada con SBS	De Razón

2.3.Población, muestra y muestreo (incluir criterios de selección)

Población: se conformó por el diseño de mezcla asfáltica en caliente que está integrada por el cemento asfáltico PEN 60/70 adquirido de la empresa TDM asfaltos, agregado grueso y fino proveniente de la cantera “San Martín”; por otro lado, se utilizó el aditivo (SBS) que también ha sido comprado de la empresa TDM asfaltos.

Muestra: se conformó por 30 briquetas de forma cilíndrica de mezcla asfáltica de diámetro de 4” (101mm) y altura de 2.5” (64mm), partiendo en dos grupos las primeras 15 briquetas se diseñaron con mezcla asfáltica convencional y 15 restantes con mezcla asfáltica modificadas con aditivo SBS, lo cual para mayor detalle a continuación se presenta los cuadros N° 1 y 2 (MTC E 504, 2016, p. 583).

Cuadro 1. Descripción de cantidad de especímenes que se realizó por cada porcentaje de asfalto.

Descripción	Ensayo	% Asfalto	Cantidad de Briquetas
Briquetas con Mezcla convencional	Estabilidad	3.80	3
Briquetas con Mezcla convencional	Estabilidad	4.30	3
Briquetas con Mezcla convencional	Estabilidad	4.80	3
Briquetas con Mezcla convencional	Estabilidad	5.30	3
Briquetas con Mezcla convencional	Estabilidad	5.8	3
TOTAL			15

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo tentativo del porcentaje de cemento asfáltico se ha utilizado la siguiente fórmula del método del instituto de asfalto (USA), el cual está directamente relacionado con la granulometría del agregado.

$$P = 0.035 (a) + 0.045(b) + kc + F$$

Dónde:

P = Porcentaje de cemento asfáltico respecto al peso de la mezcla.

a = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N° 10.

b = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 10 y se retiene en el tamiz N° 200.

c = Porcentaje de agregado que pasa sobre N° 200.

k = Toma los siguientes valores:

0.20 = Cuando el porcentaje de agregado que pasa el tamiz N° 200 varia del 11% al 15%

0.18 = Cuando el porcentaje del agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 es varia del 06% al 10%

0.15 = Cuando el porcentaje de agregado que pasa por el tamiz N° 200 es menos del 0.5%

F = Varia de 0 a 2, dependiendo del grado de absorción de los pétreos

De acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales del MTC E-504, Resistencia de Mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, nos dice que, para mezcla asfáltica, se deberá realizar el promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de cemento asfáltico que va a variar de 0.5%.

Cuadro 2. Descripción de cantidad de especímenes que se realizó por cada porcentaje de aditivo SBS.

Descripción	Ensayo	% SBS	Cantidad de Briquetas
Briquetas con Mezcla modificada.	Estabilidad	4.17%	3
Briquetas con Mezcla modificada.	Estabilidad	4.67 %	3
Briquetas con Mezcla modificada.	Estabilidad	5.17%	3
Briquetas con Mezcla modificada.	Estabilidad	5.67%	3
Briquetas con mezcla modificada.	Estabilidad	6.17 %	3
TOTAL			15

Fuente: Elaboración Propia.

Para la determinación de porcentajes de SBS que se utilizó, se tomó como referencia el porcentaje óptimo de cemento asfáltico encontrado, se incrementó y disminuyó 0.5% el cual se detallará en la parte de resultados.

El tipo Muestreo de la investigación fue aleatorio simple porque cada Briqueta diseñada tuvo la posibilidad de ser seleccionada de manera independiente.

Criterios de selección:

Inclusión:

Se tomó en cuenta que los materiales empleados para realizar la mezcla asfáltica en caliente, tienen que cumplir con los estándares requeridos por las normas del “Ministerio de Transportes y Comunicaciones” (MTC) y de pavimentos urbanos (CE-010) los cuales son : los agregados gruesos y finos de la cantera han sido adquiridos de la cantera “San Martín”, cemento asfáltico de grado PEN-60/70; según lo indica en la norma de pavimentos urbanos que para un clima cálido $\geq 24^{\circ}\text{C}$; ha sido adquirido de la ciudad de Lima de la empresa TDM asfaltos, además cada ensayo que se realizó a los materiales pétreos y el ensayo Marshall se desarrolló en la ciudad de Trujillo.

El aditivo de tipo estireno-butadieno-estireno (SBS) fue adquirido de la empresa TDM asfaltos ubicada en la ciudad de Lima, es un polímero elastómero que se utiliza para modificar el cemento asfáltico, según la ficha técnica del BETUTEC TIPO IC

ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO, tiene las principales ventajas: aumentar la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas, mayor adhesividad con los agregados, incrementando la vida útil de los pavimentos, resistencia al envejecimiento, formación de ahuellamientos (Ver anexo 4).

Exclusión:

No se utilizó materiales que no cumpla con las especificaciones técnicas según la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnica de Investigación:

La técnica que hemos empleado es la observación experimental de laboratorio porque se realizó diferentes ensayos al agregado grueso y fino para posteriormente ser utilizados en el diseño de mezcla asfáltica en caliente ya sea convencional o modificada usando el aditivo SBS; una vez recopilados los datos en los formatos establecidos para cada ensayo se procedió a procesar en Excel haciendo uso de cuadros y gráficos; los cuales ayudaron para la interpretación de resultados, finalmente se comparó los resultados obtenidos con la respectiva normativa para cada ensayo, dando validez y confiabilidad de los datos que se mostraran más adelante.

Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

A continuación, en el cuadro se detalla los ensayos que se realizaron con las técnicas que hemos utilizado para el control de validez y confiabilidad que se tendrá en cuenta para el desarrollo de la siguiente investigación.

Cuadro 3. Descripción de técnicas e instrumentos que se realizó para cumplir con los objetivos específicos que se ha planteado.

NOMBRE DEL ENSAYO	TÉCNICA	INSTRUMENTO	VALIDEZ Y CONFIABILIDAD
Análisis Granulométrico de los agregados gruesos y finos	Observación	Formato de Excel	MTC E-204 (DG-2013)
Gravedad Especifica y absorción de A.F	Observación	Formato Excel	MTC E-205 (DG-2013)
Peso Específico y Absorción A.G	Observación	Formato Excel	MTC E-206 (DG-2013)
Estabilidad Marshall	Observación	Prensa Marshall y formato Excel	MTC E-504 (DG-2013)

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.Procedimiento

En resumen el procedimiento a seguir para hallar los resultados será el siguiente: primero se va realizar el estudio de mecánica de suelos que consiste en determinar la granulometría, peso específico y absorción de los agregados pétreos, luego usando el método Marshall se realizó el diseño la mezcla asfáltica en caliente convencional con 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% y 5.80% de asfalto para posteriormente determinar la estabilidad de briquetas diseñadas con diferentes porcentajes de asfalto en la prensa Marshall, de lo cual encontraremos un óptimo contenido de asfalto una vez obtenido en porcentaje óptimo de asfalto que servirá como base para realizar e segundo diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con aditivo SBS usando también el método Marshall, el cual será ensayadas para determinar la estabilidad de las briquetas con 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% y 6.17% en la prensa Marshall, también se va realizar prueba estadística de estabilidad convencional y modificada con SBS ya finalmente se realizar la comparación de resultados del grupo control y experimental.

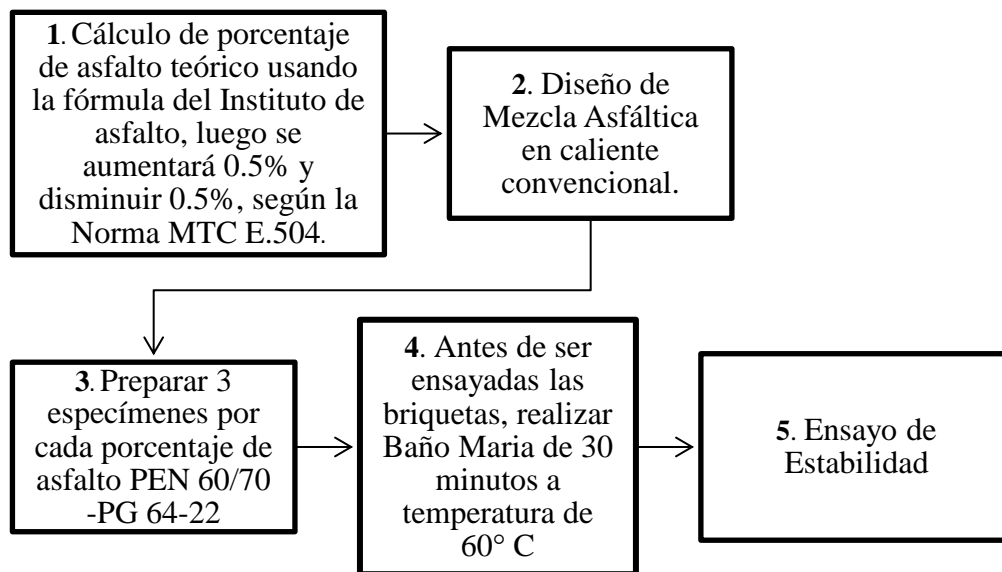


Figura 1. Esquema que detalla el resumen del proceso que se ha seguido para llegar a medir la estabilidad en la prensa Marshall.

Fuente: Elaboración Propia.

2.6. Métodos de análisis de datos

Los datos que se recopilaron en el proceso del diseño de briquetas con mezcla asfáltica en caliente convencional y modificada con aditivo SBS una vez ensayadas en la prensa Marshall, fueron procesadas en el Software Microsoft Excel en cuadros y gráficos, con la finalidad de encontrar la cantidad de vacíos en la mezcla asfáltica, seguidamente la estabilidad y de manera adicional el flujo. Posteriormente se realizó el procesamiento de datos en el software IBM- SPSS STADISTIC V.26, el cual tiene la licencia de la Universidad Cesar Vallejo, aplicando la prueba estadística, finalmente realizar la comparación de Estabilidad obtenida de la mezcla asfáltica convencional y modificada con aditivo SBS. Tomando en cuenta que todo procedimiento y resultado se realizó teniendo como referencia la Norma del Manual de ensayo de materiales “Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el Aparato Marshall” (MTC-504).

2.7.Aspectos Éticos

Para la investigación se tuvo en cuenta el uso correcto de la sección 415 “Disposiciones Generales de Pavimentos Flexibles” y la 431 “Cemento Asfáltico Modificado con polímeros” del Manual de Especificaciones Técnicas (RD-03-2013-MTC-14), también el Manual de Ensayo de Materiales de MTC lo que concierna al agregados y mezcla Bituminosas que son la sección N° 2 y 5 respectivamente, además se tomó como referencia las normas americanas ASTM - AASTHO referido a agregados y mezclas asfálticas en caliente, también la norma de pavimentos urbanos CE-010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La información que ha sido utilizada en esta investigación se citó con la norma pertinente para ingeniería que es la ISO-690, de tal manera que se respetó los derechos de autor.

III. RESULTADOS

3.1. Estudio de mecánica de suelos

3.1.1. Análisis Granulométrico de mezcla de agregados pétreos finos y gruesos.

Para la caracterización del agregado fino y grueso según la sección 423 del manual de especificaciones técnicas RD-03-2013-MTC-14. Para la producción de la mezcla asfáltica la gradación de los agregados pétreos, debe de ajustarse a algunas de las siguientes gradaciones.

Cuadro 4. Gradación de agregados pétreos.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Especificaciones técnicas RD-03-2013-MTC-13.

Cuadro 5. Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos para mezcla asfáltica.

Tamices astm	abertura	Peso Retenido	% Parcial	% Retenido acumulado	% Pasa	Requisitos MAC-2	
	tamiz (mm)					% que pasa	
						Li	Ls
(1")	25.000	0.00					
(3/4")	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
(1/2")	12.700	240.88	8.03	8.03	91.97	80	100
(3/8")	9.525	291.42	9.71	17.74	82.26	70	88
(N°4)	4.178	530.50	17.68	35.43	64.57	51	68
(N°10)	2.000	669.02	22.30	57.73	42.27	38	52
(N°40)	0.420	684.52	22.82	80.54	19.46	17	28
(N°80)	0.180	340.92	11.36	91.91	8.09	8	17
(N°200)	0.074	116.44	3.88	95.79	4.21	4	8
PLATO		126.30	4.21	100.00	0.00		
TOTAL		3000.00	100.00				

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis granulométrico se realizó una combinación de 1500 gr de agregado fino y 1500 gr de agregado grueso, obteniendo como resultado que el agregado extraído de la cantera San Martín se encuentra dentro de los parámetros de gradación indicados. En la tabla 423-03 de MTC.

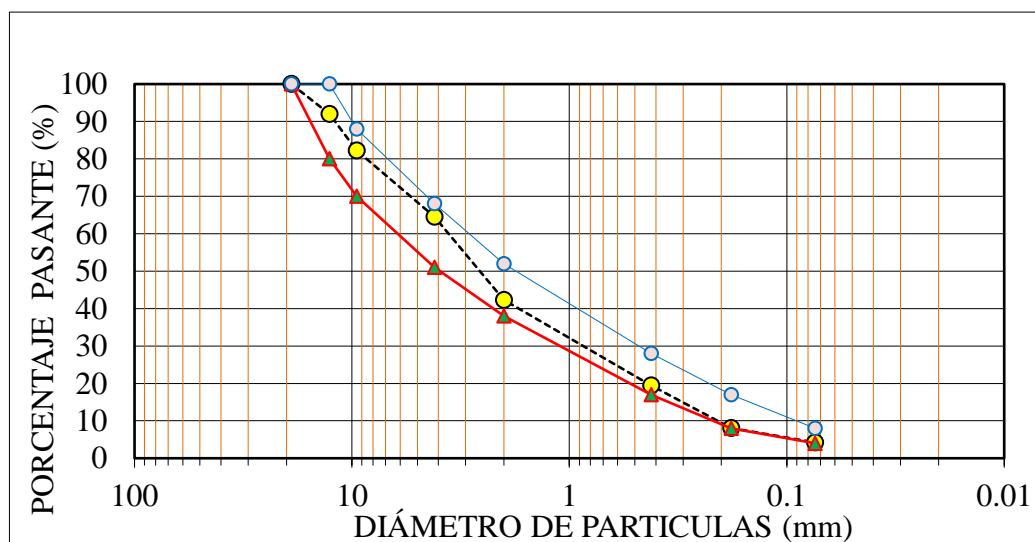


Figura 2. Curva Granulométrica.

Fuente: Elaboración Propia .

Según la sección 403 de MTC, nos dice que se considera agregado grueso, al material retenido en el tamiz N° 4 y agregado fino a los materiales que pasan el tamiz N° 4. Por lo tanto, según el análisis granulométrico realizado tenemos 35.43% de agregado

grueso y 60.36% de agregado fino, lo cual nos sirvió para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

El material extraído de la cantera San Martín tiene mayor presencia de filler, por lo cual consideramos mejorar el agregado grueso extraído de la misma, añadiendo 15% de piedra chancada de ½”. Para el agregado fino que sería la arena gruesa se va a restar el 15% de su mismo peso, quedando finalmente los porcentajes para la mezcla asfáltica en caliente: 50.43% de agregado grueso y 45.36% de arena gruesa.

De acuerdo a lo dictado por el Ing. Jorge Escalante en el curso de especialización para una mezcla asfáltica densa se considera tanto agregado fino como grueso entre 40% y 60%, filler en un rango de 5% - 10% y de ligante asfáltico un 5%, como se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Parámetros de requisitos para mezclas densas

TIPO DE MEZCLAS TIPO DE MISTURAS	Mezcla densa MAC
Agregado grueso (%)	40 - 60
Agregado Fino (%)	40 – 60
Filler (%)	5 - 10
Ligante Asfáltico (%)	5
Fibras (%)	-
Tipo de ligante	CAP 50/70
Vacíos (%)	3-5
Macrotectura (Hs)	0,3-0,7

Fuente: Mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

3.1.2. Peso específico y absorción de agregados grueso de la cantera San Martín, según MTC E-205

Cuadro 7. Requerimientos según norma del MTC para los agregados gruesos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18 máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (*)	MTC E 206	1.0% máx	1,0 máx

Fuente: Especificaciones técnicas RD-03-2013-MTC-13

(*) Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla.

La ciudad de Trujillo se encuentra a 34 msnm, por lo tanto, nos ubicamos en la norma en una altitud menor igual a 3000 msnm, Según la sección 423 “pavimento de concreto asfáltico en caliente” del manual de especificaciones técnicas MTC EG-13. En el siguiente cuadro se tiene los resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.

Cuadro 8. Resultados Peso específico y absorción de agregado grueso de cantera San Martín.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE A° G°	ENSAYO	ENSAYO
	01	02
A= Peso en el aire de la muestra seca (gr)	2695.70	2691.40
B= Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	2754.20	2750.13
C= Peso sumergido en agua de la muestra saturada (g)	1711.60	1715.54
peso específico de masa (Pem)	2.59	2.60
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.64	2.66
Peso específico aparente (Pea)	2.74	2.76
absorción (%)	2.17	2.18
PESO ESPECÍFICO DE MASA PROMEDIO (Pem)	2.59	
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA PROMEDIO (PeSSS)	2.65	
PESO ESPECÍFICO APARENTE PROMEDIO (Pea)	2.75	
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	2.18	

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 423-01 nos indica que se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica. Como resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso se tiene 2.18 % siendo mayor a lo que indica la norma que debe ser 1% máx.

Esto se comprobará cuando se realice más adelante el diseño de mezcla asfáltica donde se evaluará una de las propiedades de la misma, la cual es la estabilidad que viene hacer la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas de tránsito vehicular.

3.1.3. Peso específico y absorción de agregados fino de la cantera San Martín, según MTC E-205

Cuadro 9. Requerimientos según norma del MTC para los agregados finos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Índice de Durabilidad (sulfato de Magnesio)	MTC E 214	-	18% Máx
Durabilidad	MTC E 214	35 mín	36 mín
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	Máx 4	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Especificaciones técnicas RD-03-2013-MTC-13.

Cuadro 10. Resultados de peso específico y absorción de agregado fino de cantera - San Martín.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE A° F°	ENSAYO	ENSAYO
	01	02
A= Peso en el aire de la muestra seca (g)	484.50	484.45
B= Peso de la fiola, aforada llena de agua (g)	669.90	638.00
C= Peso total de la fiola, aforada con la muestra y agua (g)	976.00	944.00
S= Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	500.00	500.00
peso específico de masa (Pem)	2.50	2.50
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.58	2.58
Peso específico aparente (Pea)	2.72	2.71
absorción (%)	3.20	3.21
PESO ESPECÍFICO DE MASA PROMEDIO (Pem)	2.50	
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA PROMEDIO (PeSSS)	2.58	
PESO ESPECÍFICO APARENTE PROMEDIO (Pea)	2.72	
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	3.20	

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 423-01 nos indica que se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica. Como resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso se tiene 3.20 % siendo mayor a lo que indica la norma que debe ser 0.5% máx.

Esto se comprobará cuando se realice más adelante el diseño de mezcla asfáltica donde se evaluará una de las propiedades de la misma, la cual es la estabilidad que viene hacer la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas de tránsito vehicular.

3.2.Método Marshall para mezcla asfáltica convencional/modificada con SBS

3.2.1. Especificaciones para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

Grado y Especificaciones técnicas del asfalto que se va a usar para el diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada.

Cuadro 11. Grado de asfalto recomendado para diferentes condiciones de temperatura.

Condición de Temperatura	Grados de Asfalto
Frio, temperatura media anual del aire $\leq 7^{\circ}\text{C}$	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7°C Y 25°C	PEN 85/100, 60/70
Caliente, temperatura media anual de aire $\geq 24^{\circ}\text{C}$	PEN 60/70, 40/50

Fuente: Norma CE-010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Cuadro 12. Selección de tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	$24^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$	$15^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$	Menos de 5°C
40 -50 ó 60-70 o modificado	60 -70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: Especificaciones Técnicas RD-03-2013-MTC-13.

Cuadro 11 y 12, especifican los grados de asfalto para diferentes variedades de temperatura y características climáticas de la región. Como la tesis se está desarrollando en la ciudad de Trujillo, la cual su temperatura varía entre $15-21^{\circ}\text{C}$ entonces correspondería un asfalto de grado PEN 60/70.

EL CEMENTO ASFÁLTICO EN CALIENTE SE CLASIFICA POR VISCOSIDAD ABSOLUTA Y PENETRACIÓN.

Cuadro 13. Especificaciones del cemento asfaltico clasificado por penetración.

Tipo		Grado penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40 – 50		PEN 60 – 70		PEN 85 - 100		PEN 120 - 150		PEN 200 - 300	
		min	más	min	más	min	más	min	más	min	más
Pruebas sobre el material bituminoso											
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0,1mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Trifloro – Etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de penetración (susceptibilidad térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayos de la mancha (Ilienses) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2mm, 5h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,3		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽¹⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

Fuente: Especificaciones Técnicas RD-03-2013-MTC-13.

Cuadro 14. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.

Características	Grado de viscosidad				
	AC - 2,5	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 40
Viscosidad absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, %masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Ilienses)					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: Especificaciones Técnicas RD-03-2013-MTC-13.

Cuando se realizó el pedido para la colaboración de cemento asfáltico PEN 60/70 a la empresa TDM ASFALTOS SAC. Nos ha brindado su ficha técnica, informe de ensayo y carta de viscosidad del producto (**ver anexos 4 y 5**). Permittiéndonos comparar con las algunas de las especificaciones de la norma peruana que es del MTC, lo cual está cumpliendo.

**CANTIDAD DE GOLPES SEGÚN NORMA CE-010 “PAVIMENTOS URBANOS”
PARA ESPECÍMENES DISEÑADOS CON EL MÉTODO MARSHALL.**

Cuadro 15. Criterios para el método Marshall de diseño de mezclas.

Criterio en el Método Marshall de diseño de Mezclas	Vías locales	Vías Colectoras y artesanales	Vías expresas
	$EAL < 10^4$	$\leq 10^4 EAL < 10^6$	$EAL \geq 10^6$
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito pesado
Número de golpes en cada cara de probeta.	35	50	75
Estabilidad mínima, KN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0.25 mm (min-máx)	8 - 14	8 - 16	8 - 14
Porcentaje de vacíos llenos de aire, (min-máx)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral***, VAM (min-máx)	Ver tabla 32		
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min-máx)	70-80	65-78	65-75

Fuente: Norma CE-010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Para esta presente investigación se ha considerado el método Marshall para el diseño de mezcla asfáltica en caliente para un tráfico pesado, para ello se buscar llegar a los parámetros establecidos en el **cuadro 15**.

Cuadro 16. Criterios para método Marshall de diseño de mezclas.

Parámetros 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” (0.25mm)	8 - 14	8 – 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (1) (MTC E-505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Vacíos en el agregado mineral.	Ver tabla 423.10		
Inmersión – Comprensión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (min.)	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)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de la fracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

Fuente: Especificaciones Técnicas RD-03-2013-MTC-13.

Cuadro 17. Vacíos mínimos en el agregado mineral (VAM).

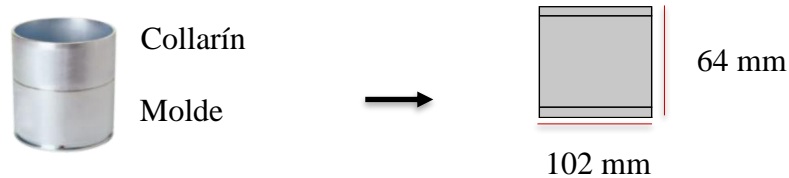
Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N° 8)	21	-
4,75 mm (N° 4)	18	-
9,50 mm (3/8”)	16	15
12,5 mm (1/2”)	15	14
19,0 mm (3/4”)	14	13
25,0 mm (1”)	13	12
37,5 mm (1 ½”)	12	11
50,0 mm (2”)	11,5	10,5

Fuente: Especificaciones Técnicas RD-03-2013-MTC-13.

3.2.2. Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional con 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% y 5.80% según MTC E-504.

Para el diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificada, teniendo en cuenta el método Marshall, para el cual se utilizó especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½”) de altura y 102 (4”) mm de diámetro.

Figura 3. Molde Marshall para el diseño de mezclas



Fuente: elaboración propia

Con las dimensiones del molde de la **figura N° 3** calculamos:

Volumen del molde (V_m):

$$V_m = \pi \times \left(\frac{0.102 \text{ m}}{2}\right)^2 \times 0.064 \text{ m}$$

$$V_m = 0.000523 \text{ m}^3$$

Grado de compactación de la mezcla asfáltica (G_c):

$$G_c = 2250 \text{ kg/m}^3$$

Volumen de mezcla compactada (V_{mc}):

$$V_{mc} = V_m \times G_c$$

$$V_{mc} = \mathbf{1176.7 \text{ gr}}$$

Cálculo de porcentaje de asfalto según la fórmula del instituto de asfalto (USA) que se detalló anteriormente en el **cuadro N° 1**

$$P = 0.035 a + 0.045 b + Kc + F = 4.80 \%$$

$$a = 0.223$$

$$b = 0.0388$$

$$c = 0.042$$

$$K = 0.15$$

$F = 0.0321$ Considerando el mayor valor del Ensayo N° 2 “peso específico y absorción de agregados pétreos

Teniendo el porcentaje de asfalto teórico, realizamos dos incrementos y dos disminuciones de 0.5% según la norma de MTC E-504.

Detallamos el cálculo del peso de asfalto y agregado que se va a utilizar en la mezcla asfáltica en caliente:

$$\text{Peso de la briqueta} = 1176.7 \text{ gr} \rightarrow 100\% \text{ del peso}$$

$$\% CA = 4.8\%$$

$$1176.7 \text{ gr} \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 4.8\%$$

$$x = \frac{1176.7 \times 4.8\%}{100\%}$$

$$\therefore \text{el peso del CA (gr)} = 56.44 \text{ gr}$$

$$\text{El peso total del agregado} = 1176.7 - 56.44 = 1120.225 \text{ gr}$$

Cuadro 18. Proporciones de asfalto y agregados que se utilizará en el diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional.

% CA	3.80%	4.30%	4.80%	5.30%	5.80%
Peso CA (g)	44.673	50.557	56.440	63.323	68.207
Peso Ag. (g)	1131.991	1126.108	1120.225	1114.341	1108.458

Fuente: Elaboración Propia.

Para el ensayo de estabilidad y flujo según la norma MTC E-504 se necesita sacar el promedio de por lo menos 3 especímenes de cada porcentaje de asfalto que se utilizó, entonces como tenemos 5 porcentajes se realizó 15 briquetas para el primer ensayo.

Cuadro 19. Proporciones de asfalto y agregados que se utilizará para mezcla asfáltica convencional.

Porcentaje de cemento asfáltico	3.80%		4.30%		4.80%		5.30%		5.80%	
Peso del agregados gruesos y finos (g)	1132.0	99.59%	1126.1	100.09%	1120.2	100.59%	1114.3	101.09%	1108.5	101.59%
Peso de agregados gruesos (g)	573.2	50.43%	567.4	50.43%	561.6	50.43%	555.9	50.43%	550.3	50.43%
Peso de agregados finos (g)	515.6	45.36%	510.4	45.36%	505.2	45.36%	500.0	45.36%	494.9	45.36%
Peso del cemento asfáltico (g)	44.7	3.80%	50.6	4.30%	56.4	4.80%	62.3	5.30%	68.2	5.80%
Peso total de cada briketa (g)	1133.5	99.59%	1128.3	100.09%	1123.2	100.59%	1118.3	101.09%	1113.4	101.59%

Fuente: Elaboración Propia.

Definido las proporciones de asfalto y agregados se realizaron 3 especímenes por cada porcentaje, siendo un total de 15 especímenes para el primer ensayo (muestra patrón).

A continuación, se detalla el proceso de elaboración de briquetas con mezcla asfáltica convencional.

PASOS PARA ELABORAR BRIQUETAS CON MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.

1. Obtenida la dosificación del diseño de preparamos las proporciones agregados para cada porcentaje de asfalto que están detallados en las tablas 18 se prepara los materiales para cada espécimen.
2. Cada cantidad que se ha pesado se ha tenido en cuenta que el recipiente este tarado, para llegar al peso total de la briqueta.
3. Se colocó los materiales pétreos en las estufas para que calienten a una temperatura de 160 - 180°C, así también en otro recipiente se calienta el asfalto PEN 60/70 a temperatura de 125-140°C.
4. Una vez calentados los materiales se añadieron a un recipiente para mezclarlos de manera que se obtenga una mezcla homogénea.
5. Revisamos que el molde y martillo estén limpios para que posteriormente sean calentados a una temperatura de 95-150°C.
6. Según la norma de pavimentos urbanos CE-010, nos indica la cantidad de golpes (75) que se dará a ambas caras de la briqueta para vías expresas- tránsito pesado
7. Se tiene en cuenta que cuando se agrega el material al molde pre calentado Marshall para su posterior compactación tiene que estar la mezcla asfáltica a una temperatura no menor a 120° C.
8. Con ayuda de una espátula se chucea a la mezcla 15 veces alrededor del molde Marshall que contiene la mezcla y 5 en el centro, para eliminar los vacíos de la misma.
9. El molde es colocado en el pedestal de compactación y con ayuda del martillo se empieza a contar 75 golpes para ambas caras.
10. Una vez que se termina la compactación de las briquetas se deja enfriar a temperatura ambiente y se extraen usando el eyector de muestras de asfalto.
11. Se registra su peso de cada una de las briquetas extraídas.
12. Para las 15 briquetas realizadas se ha seguido el mismo procedimiento y se dejan a temperatura ambiente sobre una superficie nivelada y suave por 24 horas.
13. Para terminar con el procedimiento se toma valores de las dimensiones a cada briqueta con la ayuda del calibrador vernier digital para mayor precisión, detallando 4 medidas en sitios diferentes de sus diámetros y alturas respectivamente para obtener un valor promedio exacto, como indica la Norma MTC E 505 “porcentaje de

vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas” en su apartado 6.2.

14. Pasado 24 horas de realizadas las briquetas se toma nota 3 pesos diferentes: peso de aire, peso saturado superficie seca y peso sumergido.
15. Una vez que han pasado las 24 horas, se realiza el ensayo de estabilidad y flujo de las briquetas, pero previo a este ensayo las briquetas pasan por un baño maría por 30 min a 60°C.

Cuadro 20. Promedio de dimensiones con calibrador vernier digital de briquetas con diferentes porcentajes de asfalto.

Porcentaje de Asfalto		3.80%	4.30%	4.80%	5.30%	5.80%
Alturas (mm)	B1	63	61	62	61	62
	B2	64	62	63	63	62
	B3	64	60	62	61	63
Diámetros (mm)	B1	100	101	101	101	101
	B2	100	101	101	101	101
	B3	100	101	101	101	101

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar la gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk se utilizó la siguiente formula:

$$G \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{Ms}{M_{sss} - M_{sum}} \right) \times 1000$$

$$G \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 2286.74 \frac{kg}{m^3}$$

$$G_{mb} = \frac{G \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{1000} = 2.287 \frac{gr}{m^3}$$


El mismo proceso de cálculo se utilizó para las 15 briquetas (especímenes), detallamos en el siguiente cuadro los valores obtenidos para cada porcentaje.

Cuadro 21. Densidad real y gravedad específica bulk en la mezcla compactada.

1	DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA					
	% CA	M _s	M _{SSS}	M _{SUM}	G (kg/m ³)	G _{mb}
	3.80%	1197.2	1205.7	678.8	2272.16	2.272
	4.30%	1211.5	1217.9	689.0	2290.60	2.291
	4.80%	1209.0	1217.9	689.2	2286.74	2.287
	5.30%	1213.0	1219.5	694.3	2309.60	2.310
	5.80%	1220.0	1223.1	697.0	2318.95	2.319

Fuente: Elaboración Propia.

Para el registro de datos del ensayo de estabilidad y adicionalmente el flujo de las briquetas diseñadas con mezcla convencional en la prensa Marshall, se consideró conveniente realizar un formato en Excel considerando lo especificado en la norma del MTC E-504.



ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE PARA TESIS:
 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO TRUJILLO- LA LIBERTAD

TESISTA 1: YEFERSONG ADERLINTH MONZÓN RIVERA
 TESISTA 2: SANDRA JAQUELINE FLORES ARMAS

CANTERA: **SAN MARTÍN**

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559, MTC 507

Fórmula de Trabajo: **Cantera San Martín (Piedra Triturada) 50.43 % + Cantera San Martín (Arena) 45.36 %**
(Diseño Tentativo, Asfalto semisólido, Pen 60 - 70, TDM Asfaltos)

FECHA: Octubre - 2019

N°	ESPECIMEN N°	UNIDAD	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla																
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla																
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla																
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla																
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente																
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk																
7	Peso Específico Agregado fino - bulk																
8	Peso Específico Filler - aparente																
8a	Altura del Especimen 01	(mm)															
8b	Altura del Especimen 02	(mm)															
8c	Altura del Especimen 03	(mm)															
8d	Altura del Especimen 04	(mm)															
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	(mm)															
9	Peso del Especimen en el aire (gr)																
9a	Peso del Especimen Saturado																

Figura 4. Formato para registro de ensayo de estabilidad de las briquetas.

Fuente: Adaptado de formato en línea – Rio Santa.

A continuación, presentamos los cuadros con los datos que se han tomados y han sido procesados para cada porcentaje de asfalto (3.80%; 4.30%; 4.80%; 5.30% y 5.80%), donde evaluamos la estabilidad y de manera adicional el flujo.

3.2.3. Estabilidad Marshall de briquetas convencionales con 3.80%, 4.30%, 4.80%, 5.30% y 5.80% de asfalto.

Cuadro 22. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 3.80% de cemento asfáltico.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	3.80		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8a	Altura del Espécimen	63.0	64.0	64.0
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	63.7		
9	Peso del Espécimen en el aire (gr)	1197.20	1204.80	1208.50
9a	Peso del Espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1205.70	1216.40	1213.30
9b	Agua absorbida	8.50	11.60	4.80
10	Peso de la Espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	678.80	683.20	685.10
11	Volumen del Espécimen por desplazamiento	518.40	521.60	523.40
12	Peso Específico bulk de la Espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.31	2.31	2.31
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.44		
14	% de Vacíos	5.35	5.34	5.37
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	16.21	16.19	16.22
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	66.97	67.05	66.89
18	Peso Específico del Agregado total	2.67		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	0.49		
20	% de Asfalto Efectivo	3.33		
21	Flujo (cm)	2.83	2.92	2.59
22	Lectura del Dial	287.50	298.90	296.80
	Estabilidad sin corregir (Kg)	922.13	958.24	951.59
23	Factor de Estabilidad	1.00	1.00	0.96
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	922.13	958.24	913.53
25	Relación Estabilidad / flujo: $10 * 24/21$ (kg/cm.)	3255.99	3277.67	3526.04
	Promedio del flujo	2.78		
	Promedio de % vacíos	5.35		
	Estabilidad (KN)	9.05	9.40	8.96
	Estabilidad Promedio Corregida (KN)	9.14		
	VMA	16.21		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 4.30% de cemento asfáltico.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	4.30		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8	Peso Específico Filler - aparente	-		
8a	Altura del Espécimen	61.0	62.0	60.0
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	61.0		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1211.50	1212.30	1212.40
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1217.90	1221.30	1215.90
9b	Agua absorbida	6.40	9.00	3.50
10	Peso de la espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	689.00	689.30	690.30
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	522.50	523.00	522.10
12	Peso Específico bulk de la Espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.32	2.32	2.32
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.44		
14	% de Vacíos	4.78	4.81	4.63
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	15.87	15.89	15.74
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	69.89	69.76	70.56
18	Peso Específico del Agregado total	2.72		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	1.09		
20	% de Asfalto Efectivo	3.25		
21	Flujo (cm)	2.88	2.85	3.04
22	Lectura del Dial	326.30	332.40	328.30
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1044.93	1064.21	1051.25
23	Factor de Estabilidad	1.00	0.96	1.00
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1044.93	1021.64	1051.25
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	3627.77	3581.65	3454.74
	Promedio del flujo	2.93		
	Promedio de % vacíos	4.74		
	Estabilidad (KN)	10.25	10.02	10.31
	Estabilidad Promedio Corregida (KN)	10.20		
	VMA	15.84		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 4.80% de cemento asfáltico.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	4.80		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8a	Altura del Espécimen	62.0	63.0	62.0
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	62.3		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1209.00	1205.60	1210.00
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1217.90	1212.90	1219.00
9b	Agua absorbida	8.90	7.30	9.00
10	Peso de la espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	689.20	687.00	689.00
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	519.80	518.60	521.00
12	Peso Específico bulk de la espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.33	2.32	2.32
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.43		
14	% de Vacíos	4.36	4.41	4.50
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	15.61	15.65	15.73
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	72.05	71.81	71.37
18	Peso Específico del Agregado total	2.76		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	1.73		
20	% de Asfalto Efectivo	3.15		
21	Flujo (cm)	3.16	3.37	3.46
22	Lectura del Dial	334.30	338.60	339.50
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1070.21	1083.79	1086.64
23	Factor de Estabilidad	1.00	1.00	1.00
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1070.21	1083.79	1086.64
25	Relación Estabilidad / flujo: $10 * 24/21$ (kg/cm.)	3389.72	3215.45	3141.04
	Promedio del flujo	3.33		
	Promedio de % vacíos	4.43		
	Estabilidad (KN)	10.50	10.63	10.66
	Estabilidad promedio (KN)	10.60		
	VMA	15.66		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 5.30% de cemento asfáltico.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	5.30		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8	Peso Específico Filler - aparente	-		
8a	Altura del Espécimen	61.0	63.0	61.0
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	61.7		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1213.00	1213.50	1215.20
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1219.50	1218.70	1219.50
9b	Agua absorbida	6.50	5.20	4.30
10	Peso de la espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	694.30	692.20	692.10
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	518.70	521.30	523.10
12	Peso Específico bulk de la espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.34	2.33	2.32
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.42		
14	% de Vacíos	3.49	3.93	4.12
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	15.15	15.54	15.71
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	76.99	74.72	73.75
18	Peso Específico del Agregado total	2.80		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	2.25		
20	% de Asfalto Efectivo	3.15		
21	Flujo (cm)	3.63	3.59	3.52
22	Lectura del Dial	337.50	337.40	339.60
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1080.32	1080.00	1086.95
23	Factor de Estabilidad	1.00	1.00	0.96
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1080.32	1080.00	1043.47
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	2976.36	3009.19	2961.91
	Promedio del flujo	3.58		
	Promedio de % vacíos	3.85		
	Estabilidad (KN)	10.60	10.59	10.24
	Estabilidad promedio (KN)	10.48		
	VMA	15.46		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica convencional Marshall con 5.80% de cemento asfáltico.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	5.80		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8	Peso Específico Filler - aparente	-		
8a	Altura del Espécimen	62.0	62.0	63.0
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	62.3		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1220.00	1219.20	1221.40
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1223.10	1222.50	1224.20
9b	Agua absorbida	3.10	3.30	2.80
10	Peso de la espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	697.00	698.30	699.20
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	523.00	520.90	522.20
12	Peso Específico bulk de la espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.33	2.34	2.34
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.42		
14	% de Vacíos	3.65	3.32	3.39
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	15.36	15.07	15.13
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	76.25	77.96	77.61
18	Peso Específico del Agregado total	2.85		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	2.88		
20	% de Asfalto Efectivo	3.04		
21	Flujo (cm)	3.92	3.87	3.98
22	Lectura del Dial	327.30	318.70	313.70
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1048.09	1020.90	1005.08
23	Factor de Estabilidad	0.96	1.00	1.00
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1006.17	1020.90	1005.08
25	Relación Estabilidad / flujo: $10 * 24/21$ (kg/cm.)	2567.26	2637.33	2525.22
	Promedio del flujo	3.92		
	Promedio de % vacíos	3.45		
	Estabilidad (KN)	9.87	10.02	9.86
	Estabilidad promedio (KN)	9.92		
	VMA	15.19		

Fuente: Elaboración propia.

PORCENTAJE DE ASFALTO vs. % DE VACÍOS CON AIRE

% de Asfalto	3.80	4.30	4.80	5.30	5.80
Vacíos con aire	5.35	4.74	4.43	3.85	3.45

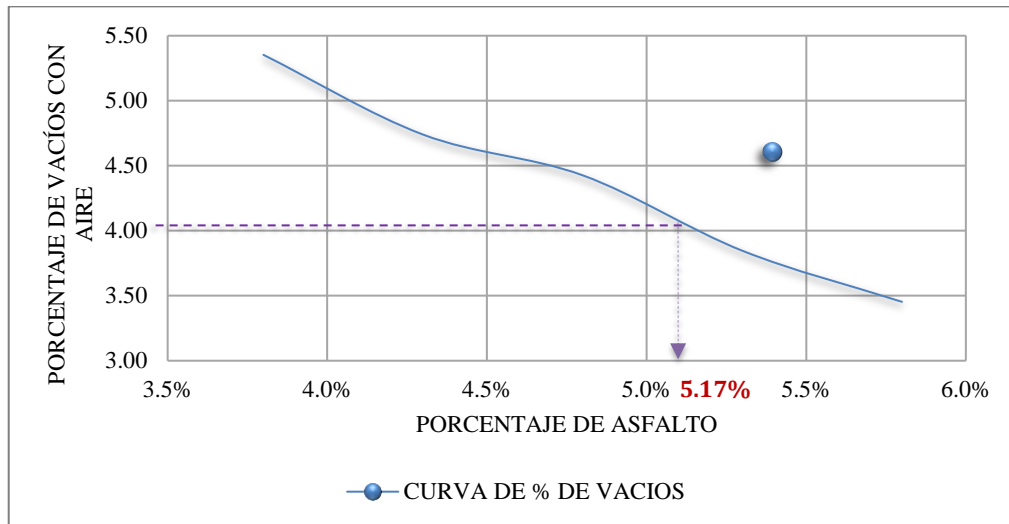


Figura 5. Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos con aire.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Según la sección 423 de la norma de especificaciones generales del MTC EG-13 tenemos que el rango de porcentaje de vacíos con aire varía entre 3-5, por lo tanto, tomamos un valor medio que sería 4 para encontrar el óptimo porcentaje de asfalto para el que se registró un 5.17%, el cual se utilizó para el diseño de mezclas modificadas con SBS.

PORCENTAJE DE ASFALTO vs. ESTABILIDAD

% de Asfalto	3.80	4.30	4.80	5.30	5.80
Estabilidad Promedio (KN)	9.14	10.20	10.60	10.48	9.92

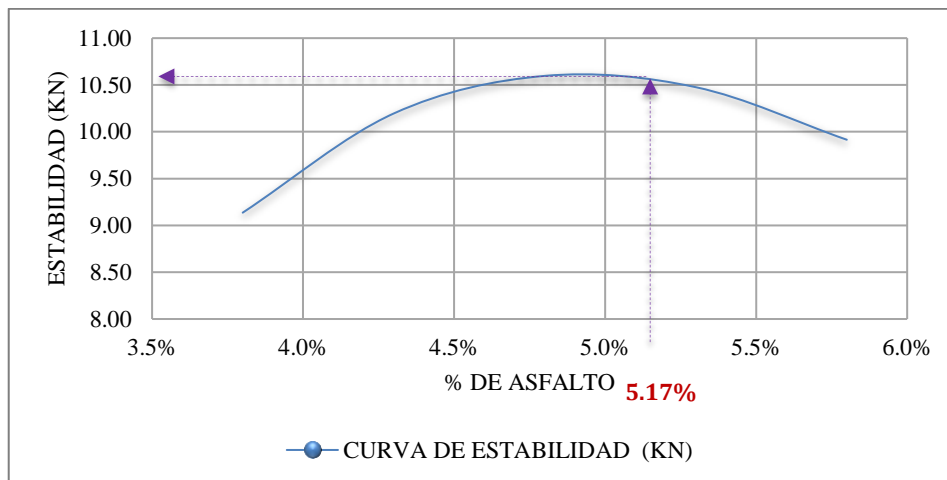


Figura 6. Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Ubicamos 5.17% con ayuda de una línea discontinua encontramos el valor de estabilidad que es 10.55 KN, luego lo comparamos con las especificaciones generales de MTC EG-13 que nos dice la estabilidad para un tránsito pesado mínimo es 8.15 KN, llegando a la conclusión que cumple con lo establecido.

PORCENTAJE DE ASFALTO vs. FLUJO

% de Asfalto	3.80	4.30	4.80	5.30	5.80
Flujo	2.78	2.93	3.33	3.58	3.92

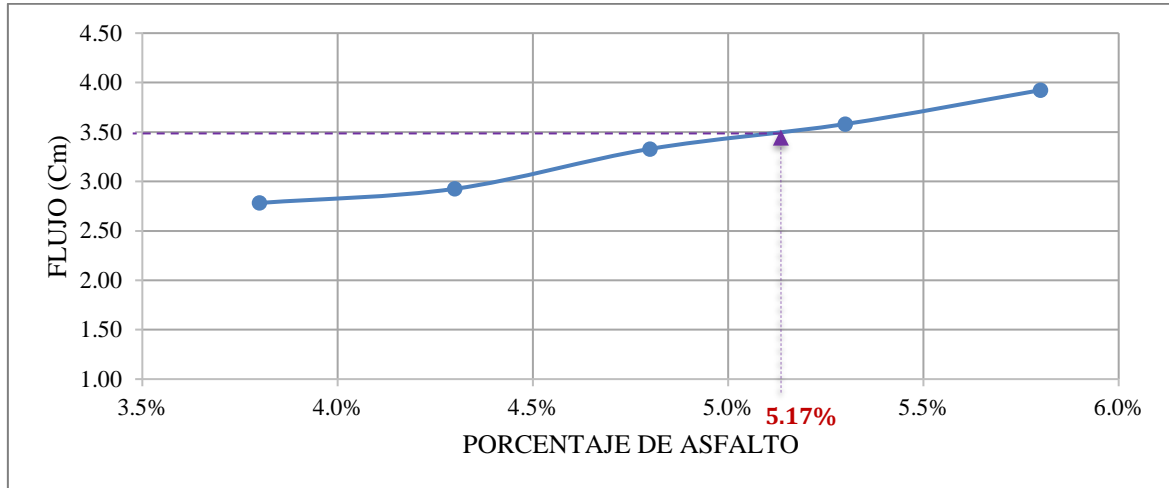


Figura 7. Porcentaje de asfalto vs. Flujo.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se observa que el comportamiento de la mezcla asfáltica incrementa a mayor contenido de asfalto y aumenta su deformación o flujo, ya que se vuelve más plástico, comparando con las especificaciones generales de MTC EG-13 que nos dice que el flujo 0.01" (0.25mm) para un tránsito pesado mínimo debería de estar entre 8-14, corroborando con el gráfico tenemos que para 5.17% su flujo es 3.50cm.

PORCENTAJE DE ASFALTO vs. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

% de Asfalto	3.80	4.30	4.80	5.30	5.80
VAM	16.21	15.84	15.66	15.46	15.19

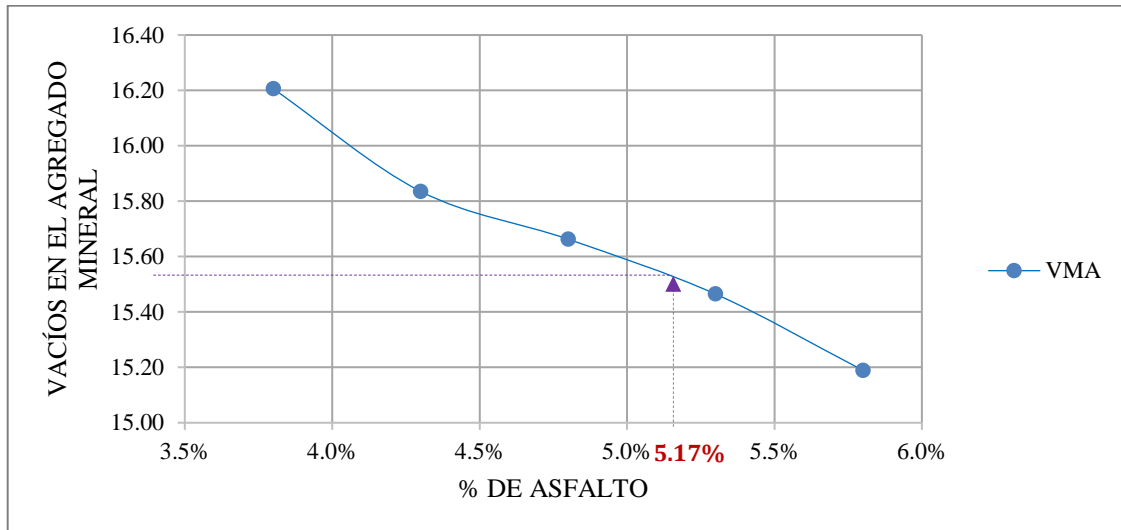


Figura 8. Porcentaje de asfalto vs. Vacíos en el agregado mineral.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

El valor de los vacíos en el agregado mineral va disminuyendo conforme el asfalto va incrementando en la mezcla asfáltica, comparando con la norma del MTC EG-13 el valor que se obtuvo es 15.54 para el porcentaje óptimo de asfalto que es 5.17%.

3.2.4. Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada, utilizando 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% y 6.17% de SBS.

Como material de apoyo para la modificación de asfalto tenemos la Guía Rápida para la modificación de Asfalto con polímero. Una vez encontrado en el porcentaje óptimo (5.17%) de asfalto, como lo podemos ver en la **Figura 5**. Definimos los porcentajes de SBS que se utilizó en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

$$\%Optimo\ de\ Asfalto = 5.17\%$$

$$100\% \rightarrow 1200\ gr$$

$$5.17\% \rightarrow X$$

$$X = \frac{1200 \times 5.17}{100}$$

$$X = 62\ gr$$

El 5.17% será el porcentaje base para incrementar y disminuir en 0.5% de acuerdo a la norma MTC E 504 la cantidad del polímero SBS como se detalla a continuación.

Peso del A = 62 gr. que es el 100% de su peso

$$\% polimero\ SBS = 5.17\%$$

$$62\ gr \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 5.17\%$$

$$x = \frac{62 \times 5.17\%}{100\%}$$

∴ el peso del polímero SBS = 3.2 gr.

$$Peso\ del\ A = 62 - 3.2 = 58.8\ gr$$

Cuadro 27. Proporciones del polímero SBS y Cemento Asfáltico para el diseño de mezcla asfáltica modificada.

% polímero SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
Peso del polímero SBS (g)	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8
Peso CA (g)	59.4	59.1	58.8	58.5	58.2

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 28. Proporciones del polímero SBS y Cemento Asfáltico para mezcla asfáltica modificada con SBS.

Porcentaje de cemento asfáltico con SBS	4.17%		4.67%		5.17%		5.67%		6.17%	
Peso total de la briqueta (g)	1200	100%	1200	100%	1200	100%	1200	100%	1200	100%
Peso óptimo del CA (g)	62.0	100.00%	62.0	100.00%	62.0	100.00%	62.0	100.00%	62.0	100.00%
Peso de agregados gruesos y finos (g)	1138	94.83%	1138	94.83%	1138	94.83%	1138	94.83%	1138	94.83%
Peso del agregado grueso (g)	605.2	50.43%	605.2	50.43%	605.2	50.43%	605.2	50.43%	605.2	50.43%
Peso del agregado fino (g)	544.3	45.36%	544.3	45.35%	544.3	45.36%	544.3	45.36%	544.3	45.36%
Peso del polímero SBS (g)	2.6		2.9		3.2		3.5		3.8	
Peso del cemento asfáltico (g)	59.4		59.1		58.8		58.5		58.2	

Fuente: Elaboración propia.

Definido las proporciones de asfalto y agregados se realizaron 3 especímenes por cada porcentaje, siendo un total de 15 especímenes para el último ensayo (muestra experimental). Para la elaboración de la mezcla asfáltica modificada se sigue el mismo procedimiento del diseño de mezcla convencional con diferencia que al asfalto se le va añadir según corresponda un porcentaje en peso del polímero SBS.

3.3. Estabilidad Marshall de briquetas modificadas, utilizando 4.17% ,4.67% ,5.17% ,5.67% y 6.17% de SBS.

Cuadro 29. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 4.17% de SBS.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de SBS en peso de la mezcla	4.17		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8a	Altura del Espécimen	62.8	63.9	63.1
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	63.3		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1192.8	1198.3	1196.0
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1194.8	1201.6	1198.1
9b	Agua absorbida	2.00	3.30	2.10
10	Peso de la espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	682.30	683.20	685.30
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	510.50	515.10	510.70
12	Peso Específico bulk de la espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.34	2.33	2.34
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.46		
14	% de Vacíos	5.02	5.43	4.80
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	15.22	15.59	15.03
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	67.03	65.15	68.05
18	Peso Específico del Agregado total	2.74		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	1.34		
20	% de Asfalto Efectivo	2.89		
21	Flujo (cm)	2.97	3.12	2.87
22	Lectura del Dial	464.10	600.00	492.00
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1478.62	1902.61	1565.97
23	Factor de Estabilidad	1.09	1.04	1.04
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1611.70	1978.72	1628.61
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	5423.30	6333.52	5684.25
	Promedio del flujo	2.99		
	Promedio de % vacíos	5.08		
	Estabilidad (KN)	15.81	19.41	15.98
	Promedio de Estabilidad (KN)	17.07		
	VMA	15.28		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 4.67% de SBS.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de SBS en peso de la mezcla	4.67		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8	Peso Específico Filler – aparente	-		
8a	Altura del Espécimen	64.1	63.9	64.2
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	64.1		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1198.4	1196.6	1202.1
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1202.0	1199.1	1204.9
9b	Agua absorbida	3.60	2.50	2.80
10	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	688.30	683.10	687.60
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	510.10	513.50	514.50
12	Peso Específico bulk del espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.35	2.33	2.34
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.45		
14	% de Vacíos	3.91	4.69	4.44
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	14.76	15.45	15.22
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	73.49	69.63	70.84
18	Peso Específico del Agregado total	2.77		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	1.77		
20	% de Asfalto Efectivo	2.97		
21	Flujo (cm)	3.37	3.42	3.34
22	Lectura del Dial	480.50	577.50	568.00
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1529.98	1832.67	1803.11
23	Factor de Estabilidad	1.04	1.04	1.00
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1591.18	1905.98	1803.11
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	4727.92	5579.07	5398.37
	Promedio del flujo	3.37		
	Promedio de % vacíos	4.35		
	Estabilidad (KN)	15.61	18.70	17.69
	Promedio de Estabilidad (KN)	17.33		
	VMA	15.14		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 5.17% de SBS.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de SBS en peso de la mezcla	5.17		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8	Peso Específico Filler – aparente	-		
8a	Altura del Espécimen	63.4	63.4	65.1
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	64.0		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1196.8	1204.5	1200.4
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1198.7	1207.2	1203.6
9b	Agua absorbida	1.90	2.70	3.20
10	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	692.40	685.40	687.30
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	504.40	519.10	513.10
12	Peso Específico bulk del espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.37	2.32	2.34
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.44		
14	% de Vacíos	2.56	4.71	3.92
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	13.91	15.81	15.11
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	81.61	70.22	74.05
18	Peso Específico del Agregado total	2.81		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	2.28		
20	% de Asfalto Efectivo	2.99		
21	Flujo (cm)	2.98	4.27	4.28
22	Lectura del Dial	616.80	541.70	541.90
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1954.77	1721.18	1721.80
23	Factor de Estabilidad	1.04	1.04	1.00
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	2032.96	1790.02	1721.80
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	6811.73	4194.84	4018.22
	Promedio del flujo	3.85		
	Promedio de % vacíos	3.73		
	Estabilidad (KN)	19.94	17.56	16.89
	Promedio de Estabilidad Corregida (KN)	18.13		
	VMA	14.94		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 32. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 5.67% de SBS.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de SBS en peso de la mezcla	5.67		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente	1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk	2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk	2.580		
8	Peso Específico Filler - aparente	-		
8a	Altura del Espécimen	64.3	64.2	64.4
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	64.3		
9	Peso del espécimen en el aire (gr)	1197.3	1204.6	1198.6
9a	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1200.0	1206.9	1203.0
9b	Agua absorbida	2.70	2.30	4.40
10	Peso del espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	689.30	687.90	689.30
11	Volumen del espécimen por desplazamiento	508.00	516.70	509.30
12	Peso Específico bulk del espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.36	2.33	2.35
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.42		
14	% de Vacíos	2.61	3.66	2.75
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	14.48	15.41	14.61
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	81.99	76.22	81.17
18	Peso Específico del Agregado total	2.84		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	2.69		
20	% de Asfalto Efectivo	3.09		
21	Flujo (cm)	6.40	4.33	3.66
22	Lectura del Dial	506.00	658.00	504.10
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1609.74	2082.44	1603.80
23	Factor de Estabilidad	1.04	1.04	1.04
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1674.13	2165.74	1667.95
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	2615.50	5000.90	4553.91
	Promedio del flujo	4.80		
	Promedio de % vacíos	3.01		
	Estabilidad (KN)	16.42	21.25	16.36
	Promedio de Estabilidad Corregida (KN)	18.01		
		14.83		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 33. Resumen de resultados de diseño con mezcla asfáltica modificada Marshall con 6.17% de SBS.

N°	ESPÉCIMEN N°	1	2	3
1	% de SBS en peso de la mezcla		6.17	
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla		50.430	
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla		45.360	
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla		-	
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente		1.016	
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk		2.640	
7	Peso Específico Agregado fino - bulk		2.580	
8	Peso Específico Filler – aparente		-	
8a	Altura del Espécimen	64.0	65.2	64.3
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	64.5		
9	Peso del Espécimen en el aire (gr)	1202.8	1202.3	1203.7
9a	Peso del Espécimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1205.2	1205.4	1206.4
9b	Agua absorbida	2.40	3.10	2.70
10	Peso de la Espécimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	691.20	687.90	691.20
11	Volumen del Espécimen por desplazamiento	511.60	514.40	512.50
12	Peso Específico bulk de la Espécimen (MTC E 514 - 2000)	2.35	2.34	2.35
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041	2.41		
14	% de Vacíos	2.24	2.82	2.34
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	2.64		
16	VMA	14.69	15.19	14.78
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	84.74	81.47	84.16
18	Peso Específico del Agregado total	2.87		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	3.10		
20	% de Asfalto Efectivo	3.20		
21	Flujo (cm)	4.97	7.23	4.74
22	Lectura del Dial	561.70	531.90	526.70
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1783.50	1690.61	1674.38
23	Factor de Estabilidad	1.04	1.00	1.04
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	1854.84	1690.61	1741.36
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	3735.29	2339.52	3676.00
	Promedio del flujo	5.64		
	Promedio de % vacíos	2.47		
	Estabilidad (KN)	18.20	16.58	17.08
	Promedio de Estabilidad Corregida (KN)	17.29		
	VMA	14.89		

Fuente: Elaboración propia.

CURVA DE % DE SBS vs. PORCENTAJE DE VACÍOS

% de Asfalto	4.17	4.67	5.17	5.67	6.17
Vacíos en aire	5.08	4.35	3.73	3.01	2.47

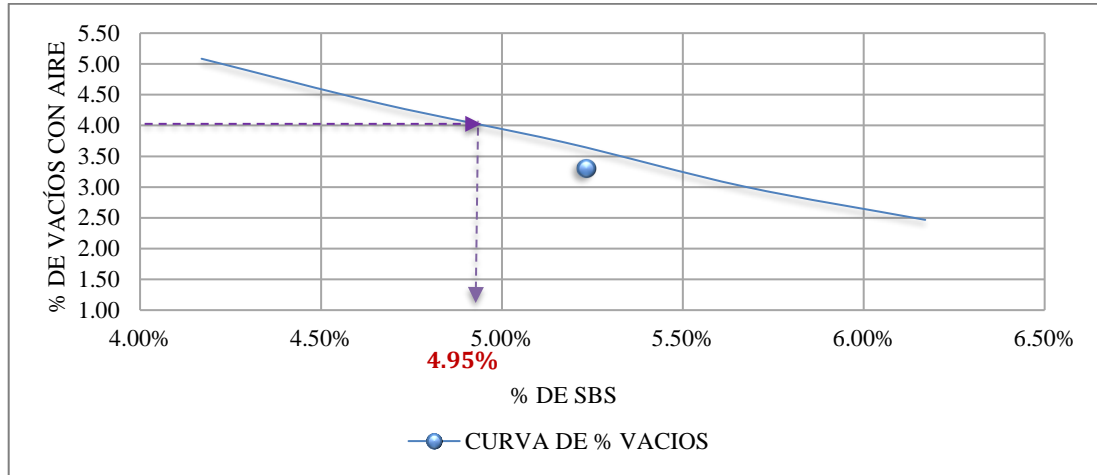


Figura 9. Porcentaje de SBS vs. Porcentaje de vacíos con aire.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Según la sección 423 de la norma de especificaciones técnicas del MTC EG-13, nos da el rango de porcentaje de vacíos que esta entre 3-5, entonces tomamos el promedio que seria 4 para encontrar el óptimo porcentaje de SBS registrando un 4.95%.

CURVA DE % DE SBS vs. ESTABILIDAD

% de Asfalto	4.17	4.67	5.17	5.67	6.17
Estabilidad Promedio (KN)	17.07	17.33	18.13	18.01	17.29

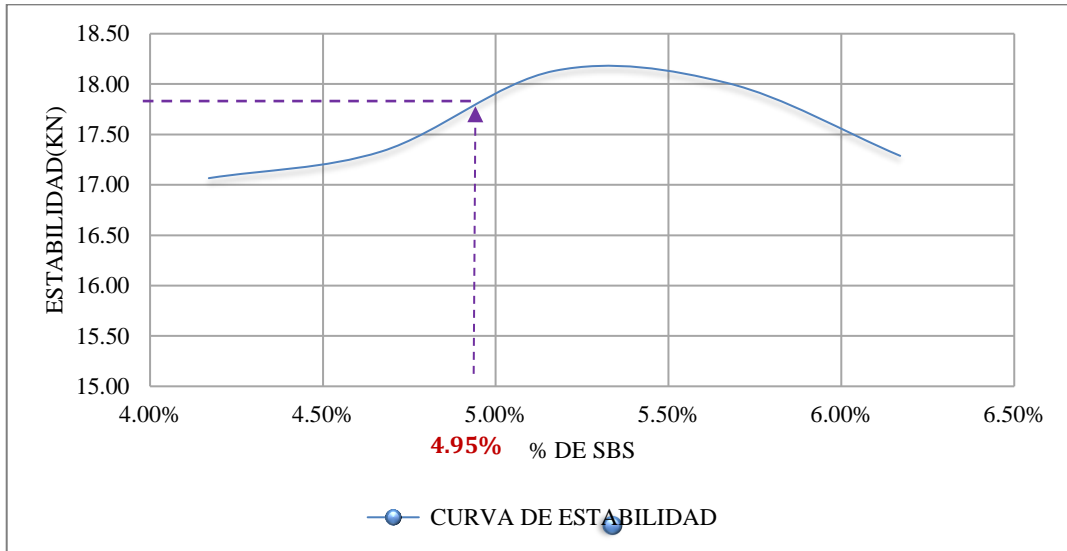


Figura 10. Porcentaje de SBS vs. Estabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

La estabilidad que se obtiene utilizando en la mezcla asfáltica en caliente, añadiendo SBS es 17.82 kN, entonces nos podemos dar cuenta que definitivamente la estabilidad es mayor al valor encontrado con la mezcla asfáltica convencional que es 10.55 kN.

CURVA DE % DE SBS vs. FUJO

% de Asfalto	4.17	4.67	5.17	5.67	6.17
Flujo	2.99	3.37	3.85	4.80	5.64

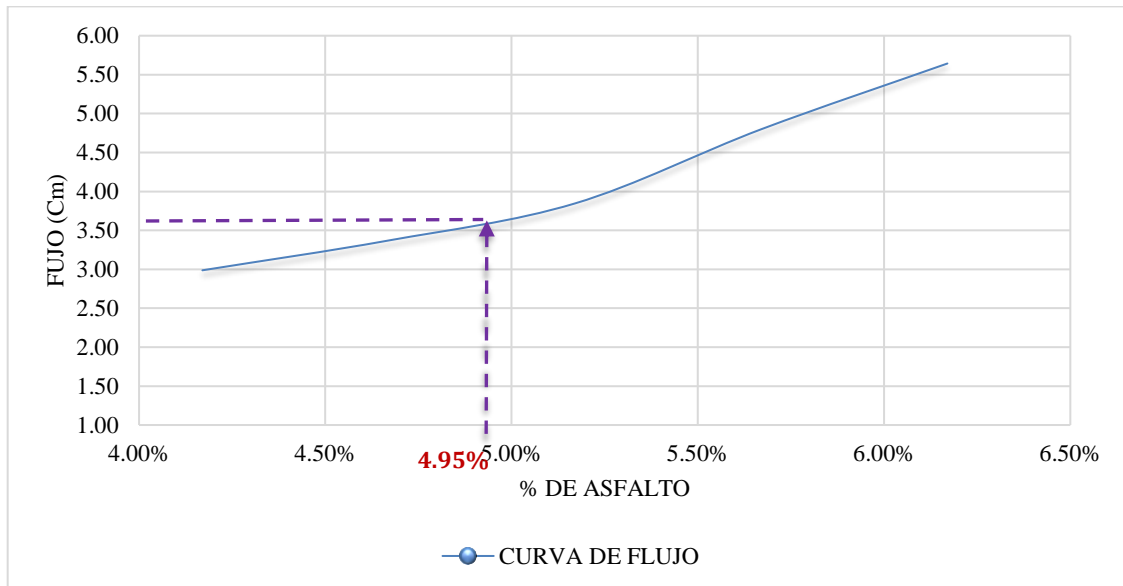


Figura 11. Porcentaje de SBS vs. Flujo.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

El flujo Marshall según el gráfico se encuentra con el óptimo porcentaje de SBS en la mezcla asfáltica en caliente es 3.60 cm, por lo tanto, decimos que el tiempo de deformación de la briqueta va aumentando a mayor cantidad de asfalto.

CURVA DE % DE SBS vs. VACÍOS EN EL AGREGADO

% de Asfalto	4.17	4.67	5.17	5.67	6.17
VAM	15.28	15.14	14.94	14.83	14.89

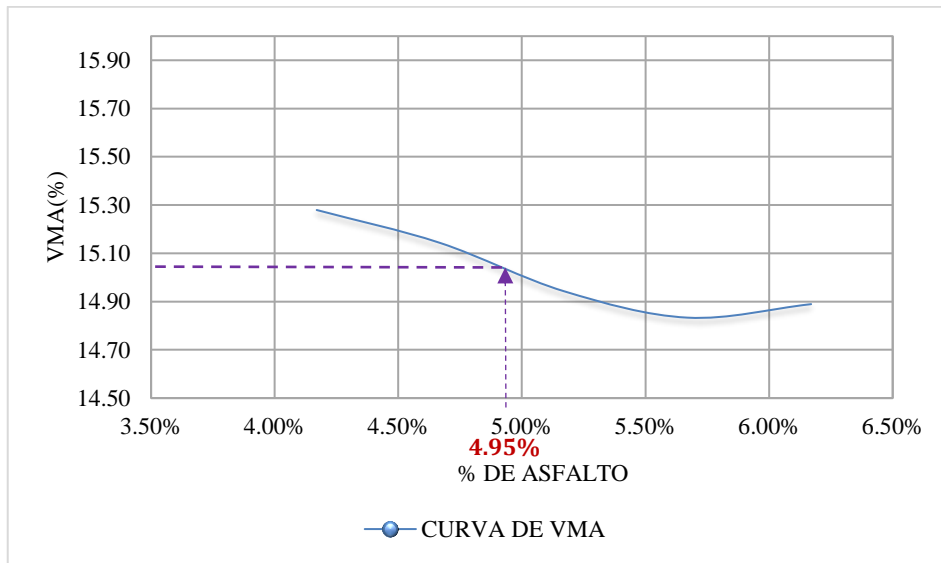


Figura 12. Porcentaje de SBS vs. Vacíos en el agregado mineral.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral es menor, a mayor cantidad de asfalto modificado con SBS, luego insertando en la gráfica el 4.95% que es el óptimo de SBS en la mezcla asfáltica en caliente se tiene 15.03% el valor de vacíos en el agregado mineral.

3.4. Análisis Estadístico

Se realizó el análisis estadístico para determinar si los resultados de estabilidad del grupo control/modificadas tienen una distribución normal a la vez determinar cuál es la diferencia significativa que existe en la estabilidad de ambos grupos.

Se seguirá los siguientes esquemas:

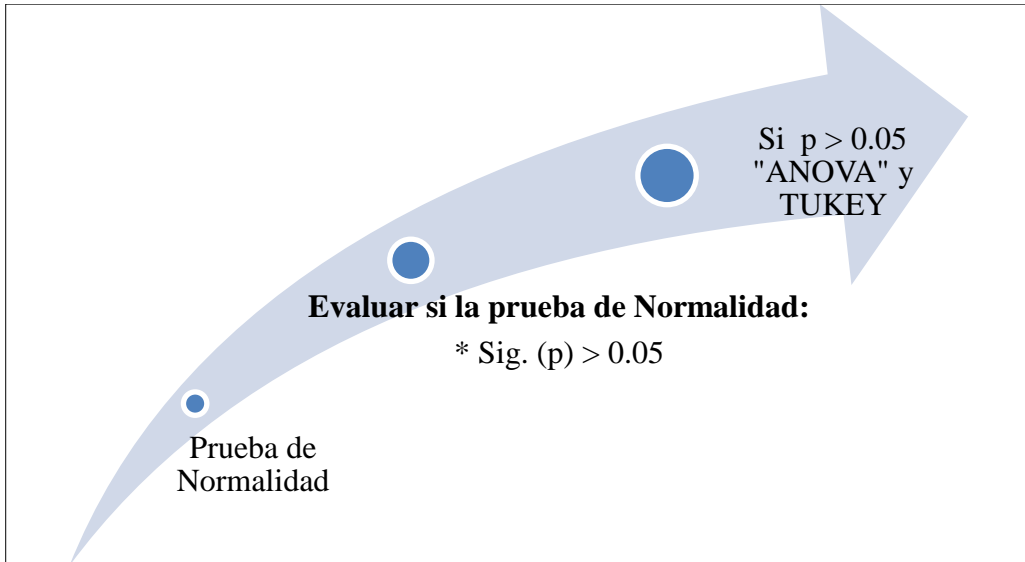


Figura 13. Esquema 1 para aplicación de prueba estadística ANOVA.

Fuente: Elaboración Propia.

Se realiza la prueba de normalidad para determinar si la significancia es > 0.050 cumple con la prueba estadística ANOVA y TUKEY.

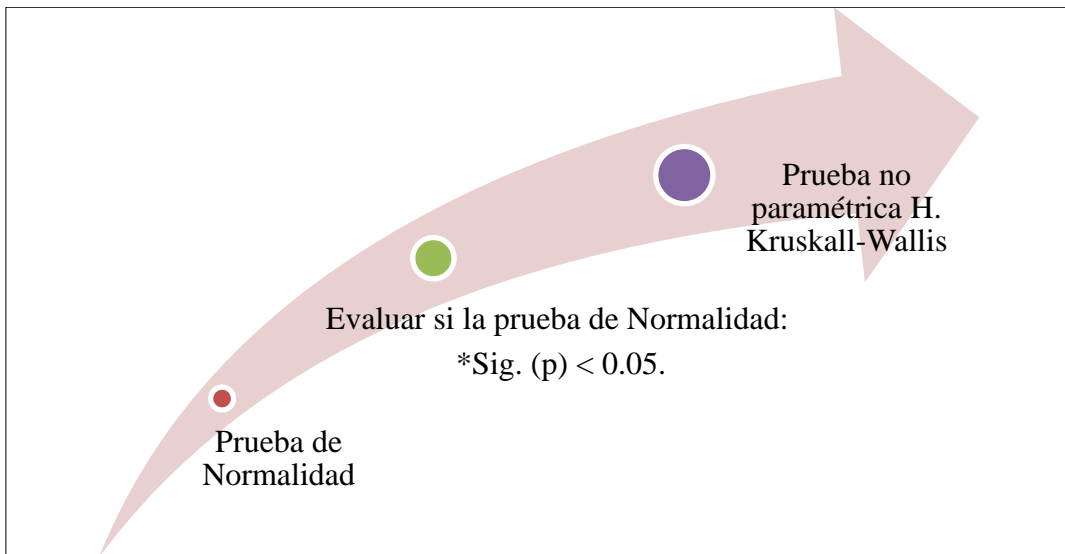


Figura 14. Esquema 2 para aplicación de Prueba no paramétrica H. Kruskal-Wallis.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1. Prueba de Normalidad

GRUPO CONTROL	GRUPO EXP. 1	GRUPO EXP. 2	GRUPO EXP. 3	GRUPO EXP. 4	GRUPO EXP. 5
10.56	15.81	15.61	19.94	16.42	18.20
10.58	19.41	18.70	17.56	21.25	16.58
10.56	15.98	17.69	16.89	16.36	17.08

Fuente: Elaboración propia.

GRUPO CONTROL: Mezcla asfáltica en caliente convencional con porcentaje óptimo de asfalto (5.17%).

GRUPO EXP 1,2,3,4,5: Mezcla asfáltica en caliente modificada con 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% y 6.17% de SBS.

Cuadro 34. Prueba de normalidad en programa estadístico SPSS.

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
GRUPO CONTROL	0.765	3	0.033
GRUPO EXP. 1	0.785	3	0.080
GRUPO EXP. 2	0.964	3	0.637
GRUPO EXP. 3	0.905	3	0.402
GRUPO EXP. 4	0.759	3	0.020
GRUPO EXP. 5	0.953	3	0.585

Fuente: Elaboración propia.

Para que cumpla con la prueba de normalidad los valores de significancia tienen que ser > 0.050 para determinar si tenemos una distribución normal de datos y poder realizar la prueba ANOVA, pero como se puede observar en el **cuadro 34** no cumple con la condición en el grupo control y en el grupo experimental 4 por lo tanto se utilizó el **Esquema 2** de la prueba H. Kruskal-Wallis, la cual es una prueba no paramétrica.

Tenemos lo siguiente:

Cuadro 35. Tabla de rangos de prueba no paramétrica H. Kruskall-Wallis.

Rangos			
FACTOR		N	Rango promedio
MEDIDAS POR GRUPOS	1	3	2.00
	2	3	9.00
	3	3	10.67
	4	3	13.00
	5	3	11.00
	6	3	11.33
	Total	18	

Fuente: Elaboración propia.

En el **cuadro 35** se analizaron 18 briquetas, 3 briquetas de cada grupo. El rango promedio mayor fue del grupo 4 “grupo experimental 3”, en tanto el menor fue para el grupo 1 “grupo control”.

Cuadro 36. Tabla de estadísticos de prueba no paramétrica H. Kruskall-Wallis.

Estadísticos de prueba^{a,b}	
	MEDIDAS POR GRUPOS
H de Kruskal-Wallis	7.979
gl	5
Sig. asintótica	0.157
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: FACTOR	

Fuente: Elaboración propia.

En el **cuadro 36** se observa que, para 5 grados de libertad fue 7.979 y su significancia asintótica es 0.157.

3.5.Comparación de resultados

Cuadro 37. Datos de briquetas con mezcla asfáltica convencional.

porcentajes de C.A.	flujo convencional (cm)	% vacíos	Estabilidad convencional. (kN)	% VAM convencional
3.8%	2.78	5.35	9.14	16.21
4.3%	2.93	4.74	10.20	15.84
4.8%	3.33	4.43	10.60	15.66
5.3%	3.58	3.85	10.48	15.46
5.8%	3.92	3.45	9.92	15.19

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 38. Datos de briquetas con mezcla asfáltica modificada.

porcentajes de C.A + SBS	flujo Mz. modificada (cm)	% vacíos Mz. modificada.	Estabilidad Mz. modificada. (kN)	% VAM Mz. modificada.
4.17%	2.99	5.08	17.07	15.28
4.67%	3.37	4.35	17.33	15.14
5.17%	3.85	3.73	18.13	14.94
5.67%	4.80	3.01	18.01	14.83
6.17%	5.64	2.47	17.29	14.89

Fuente: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DE CURVA DE % DE VACÍOS

% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
% Vacíos	5.35	4.74	4.43	3.85	3.45
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
% Vacíos	5.08	4.35	3.73	3.01	2.47

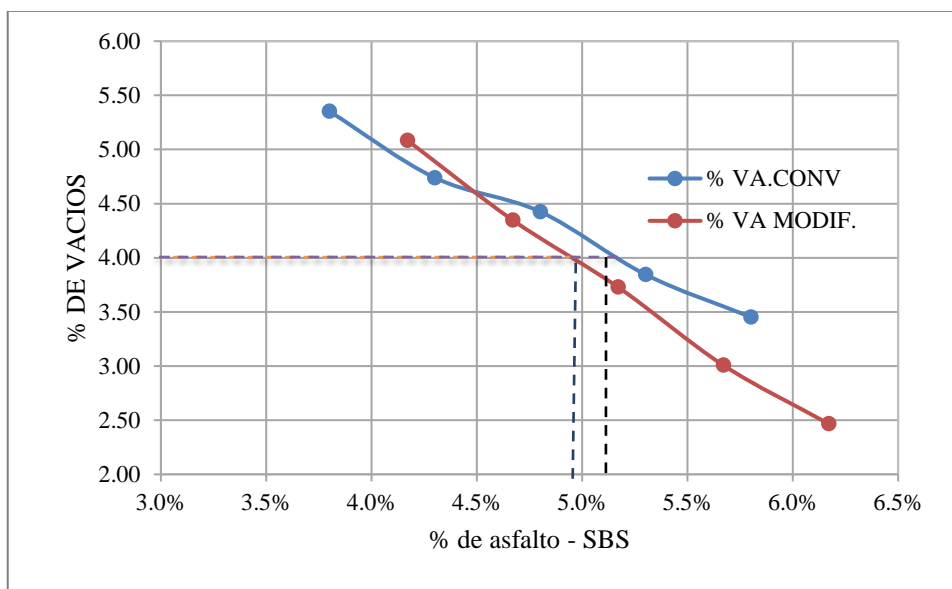


Figura 15. Comparación de porcentaje de vacíos en la mezcla convencional y modificada con SBS.

Fuente: Elaboración propia.

Ubicamos el valor promedio según la norma MTC EG-2013 tenemos la variación de 0.22% de mezcla asfáltica modificada (muestra experimental) respecto a la mezcla asfáltica convencional (muestra patrón).

COMPARACIÓN DE CURVA DE ESTABILIDAD

% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
Estabilidad	9.14	10.20	10.60	10.48	9.92
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
Estabilidad	17.07	17.33	18.13	18.01	17.29

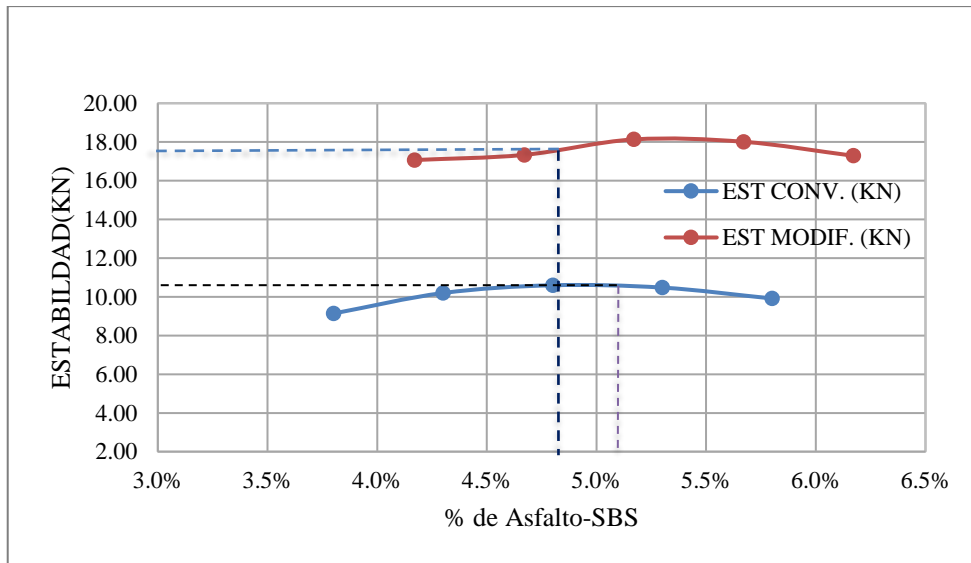


Figura 16. Comparación de Estabilidad en la mezcla convencional y modificada con SBS.

Fuente: Elaboración propia.

La variación de la estabilidad con mezcla asfáltica convencional y modificada con SBS es 89.2%.

COMPARACIÓN DE CURVA DE FLUJO

% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
Flujo (cm)	2.78	2.93	3.33	3.58	3.92
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
Flujo (cm)	2.99	3.37	3.85	4.80	5.64

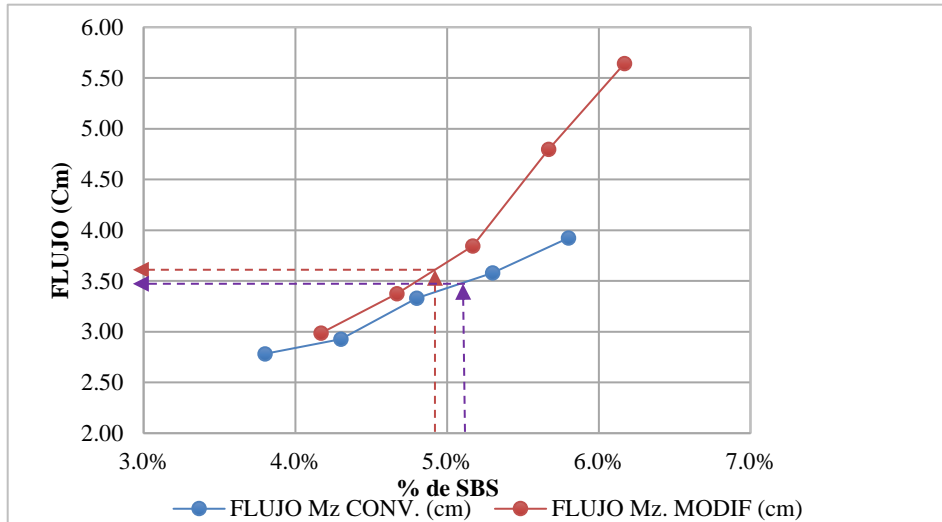


Figura 17. Comparación de Flujo en la mezcla convencional y modificada con SBS.

Fuente: Elaboración propia.

La variación del flujo con respecto a las muestras ensayadas tanto con asfalto convencional y modificadas es 0.10 cm.

COMPARACIÓN DE CURVA DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
VAM	16.21	15.84	15.66	15.46	15.19
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
VAM	15.28	15.14	14.94	14.83	14.89

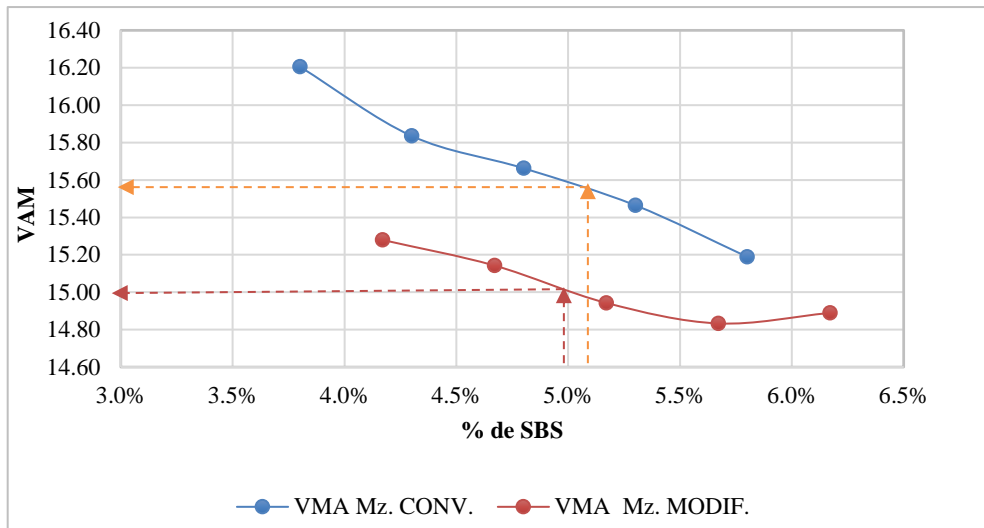


Figura 18. Comparación de porcentaje de VAM en la mezcla convencional y modificada con SBS.

Fuente: Elaboración propia.

Tenemos que el porcentaje de vacíos en agregado mineral de la mezcla asfáltica convencional y modificada con SBS son: 15.54% y 15.05% respectivamente, estando dentro de los parámetros que permite la norma del MTC-13 y de pavimentos urbanos de RNE.

IV. DISCUSIÓN

Infante y Vásquez (2016) señalan un incremento de estabilidad en la mezcla asfáltica modificada con SBS de 53.20% respecto a su mezcla convencional, de acuerdo con nuestros resultados obtenemos un incremento de 89.20% en la mezcla asfáltica modificada con respecto a la convencional. Por lo tanto, se muestra que el aditivo SBS mejora de manera significativa la estabilidad ayudando a soportar las cargas de tránsito aplicadas sobre la carpeta asfáltica.

Valdivia (2017) utilizó el método Marshall para evaluar su comportamiento de la mezcla asfáltica, donde inicialmente realizó el ensayo de granulometría en el cual obtuvo una gradación MAC-2 para luego determinar el porcentaje de peso de cada material, en comparación el análisis granulométrico realizado en esta presente investigación tenemos como resultado el mismo tipo de gradación a pesar que la procedencia de los materiales pétreos es diferente, lo cual fue utilizado también para los dos diseños de mezcla asfáltica convencional/modificado.

Cahuana y Limas (2018) diseñaron un total de 12 muestras para mezcla asfáltica convencional/modificada de 5%, 5.5%, 6% y 6.5% de asfalto/aditivo Betutec IC + warmix, utilizando el método Marshall, teniendo como resultado un porcentaje óptimo de 5.5% de asfalto y aditivo con una estabilidad de 13.60 kN a 17.70kN respectivamente, en nuestra investigación se diseñó 15 briquetas, pero se utilizó porcentajes diferentes tanto para mezcla asfáltica convencional (3.80%, 4.30%, 5.30% y 5.80%) como modificada (4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67%, 6.17%) obteniendo como óptimo de asfalto 5.17% y 4.95% de aditivo SBS y para ellos una estabilidad de 10.55 kN a 17.82 kN respectivamente, según la sección 423 de EG MTC-13 se está cumpliendo con la estabilidad mínima establecida.

V. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente utilizando aditivo SBS incrementando significativamente en 89.20% en comparación con la mezcla asfáltica convencional; eso quiere decir que la mezcla aplicado a la carpeta asfáltica va tener un buen comportamiento frente a las cargas vehiculares y cambios climáticos que se puedan presentar por lo tanto su tiempo de servicio será mayor.
2. En el estudio de mecánica de suelos se realizó el análisis granulométrico, peso específico y absorción de los agregados pétreos extraídos de la cantera San Martín-Trujillo donde se obtiene el huso granulométrico MAC-2 con 60.36% de agregado fino (arena gruesa) y 35.42% de agregado grueso (piedra chancada ½”). El peso específico y absorción de agregado fino y grueso es 3.20% y 2.18% respectivamente.
3. Se diseñó 15 briquetas con mezcla asfáltica en caliente convencional utilizando el método Marshall de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro con diferentes porcentajes de asfalto (3.80, 4.30, 4.80, 5.30 y 5.80) + 50.43% de piedra chancada de ½” + 45.36% de arena gruesa.
Se determinó en la prensa Marshall la estabilidad de los especímenes diseñados con diferentes porcentajes, donde encontramos un porcentaje óptimo de asfalto que es 5.17% lo cual tiene una estabilidad de 10.55 kN encontrándose dentro de los parámetros mínimos permitidos (8.15 kN) según EG MTC-13, de tal manera que se reduzca las fallas a base de la carpeta asfáltica productos de una baja calidad de la mezcla.
Una vez que se encontró el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla convencional de 5.17% se diseñó la mezcla asfáltica modificada utilizando 4.17%, 4.67%, 5.17%, 5.67% y 6.17% de aditivo SBS +50.43% de piedra chancada de ½” + 45.36% de arena gruesa. Finalmente se determinó la estabilidad Marshall modificada con cada porcentaje de aditivo SBS, de lo cual se encontró el porcentaje óptimo de aditivo SBS de 4.95%, con el cual se obtuvo una estabilidad de 17.82 KN.
4. Realizando la prueba de normalidad se determinó que los resultados de estabilidad del grupo control/experimental no tienen una distribución normal por lo tanto se utilizará la prueba estadística H. Kruskal-Wallis.

5. Se comparó la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional, dando como resultado 10.55 KN con 5.17% de asfalto (porcentaje óptimo) para la mezcla asfáltica convencional y 17.82 KN con 4.95% de aditivo SBS para la mezcla asfáltica modificada, incrementando un 89.20% de la estabilidad en mezcla asfáltica modificada con respecto a la mezcla asfáltica convencional, en relación a la estabilidad mínima establecida por la norma EG MTC -13.

VI. RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar más de un ensayo para la caracterización de los agregados pétreos, establecidos en la norma del Manual de Especificaciones Generales de MTC-13 de caracterización para los materiales pétreos.

Para la trituración del polímero SBS en el molino de mesa, recomendamos que se caliente a una temperatura de 180°C para poder triturar con facilidad.

En el Departamento de la Libertad la preparación de mezclas asfálticas modificada con aditivo (polímero) no es muy conocido, por eso se recomienda a los profesionales competentes de las entidades de MTC que se pueda empezar a elaborar y ejecutar proyectos de infraestructura vial tomando en cuenta la exigencia de nuestra geografía, climas, carga que van a soportar y especialmente en grado de asfalto y tipo de polímero que se va utilizar.

Es importante que investigaciones futuras de diseño de mezcla asfáltica estén de la mano con el medio ambiente para generar nuevos proyectos de infraestructura vial, buscando el equilibrio de las condiciones climáticas existentes de cada lugar.

Se recomienda ampliar el presente proyecto de investigación hasta llegar al diseño de la carpeta asfáltica y se pueda aplicar a un lugar determinado, así poder ver de una mejor perspectiva el comportamiento de la carpeta asfáltica.

Se recomienda que en futuras investigaciones se utilice el análisis estadístico de los resultados para darle mayor precisión, coherencia y confiabilidad

REFERENCIAS

Avellán Martha. Asfalto modificado con polímeros. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. Disponible en file: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf

BORJA, Stalin. Y CARDENAS, Joffre. Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBR. Tesis (Título profesional de Ingeniería Civil). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2019. Disponible en file: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18757>

CAHUANA, Patricia y LIMAS, Herless. Análisis comparativo mecánico de una mezcla asfáltica modificada con BETUTEC IC + ADTIVO WARMIX respecto a la mezcla asfáltica. Tesis (Título de Ingeniería Civil). Lima: Universidad de San Martín de Porres, 2018 39 pp.

ESTRADA, Victor. Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Cusco: Universidad Andina del Cusco, 2017.

GUÍA Rápida Para La Modificación De Asfalto Con Polímeros Comerciales [en línea]. Costa Rica: centro de transparencia tecnológica. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019].

Disponible en <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/979>

GARATE Felipe y Huamaní Jheyson. Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible. Tesis (Título de ingeniería civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2018.

Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/34891>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Lucio. Metodología de la Investigación 6ª ed. México: Punta Santa Fe, 2014. 34pp.

ISBN: 978-1-456-2396-0

IBÁÑEZ, Walter. Uso de polímero en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto: Contribución para el tramo de la carretera Chilete – Cajamarca. Tesis (Maestría en ciencias). Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, 2015.

Disponible en file: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1639>

INFANTE, Carlos. y VASQUEZ, Deynis. Estudio comparativo del método convencional y uso de polímero EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas. Tesis (Título profesional de Ingeniería Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2016.

Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/INFORME%20FINAL.pdf

LÓPEZ, Stalin y VELOZ, Yadira. Análisis comparativo de mezclas asfaltas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Sangolqui: Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE de Ecuador, 2013.

Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/T-ESPE-047105.pdf

Ministerio de Transportes – MTC. (2013). Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima: MTC.

Ministerio de transporte y comunicaciones – MTC (Perú). Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para construcción tomo I. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2013. 1281 pp.

Ministerio de transporte y comunicaciones – MTC (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2016. 1269 pp.

MINAYA, Selene y ORDÓNEZ, Abel. Diseño moderno de pavimentos modernos segunda edición. Lima: Instituto de Investigadores, 2013.9pp.

Disponible en file:

https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISEÑO_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASFALTICOS M.Sc. SILENE_MINAYA_GONZALEZ

MODIFICACION de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos de México por Victoria Palma Carolina [et al]. México: Universidad Autónoma de Coahuila, (1): 119-124, octubre 2015.

ISSN: C.P: 25290

MÚNERA, Juan. Modificación polimérica de asfaltos. Tesis (Maestría en Ingeniería). Escuela de Administración, Finanzas y Tecnología (EAFIT). Medellín. Colombia. 2012, 23 pp.

REVISTA especializada Peruvias [en línea] 5ª. Lima: Peruvias prensa, 2019 [fecha de consulta: 13 mayo de 2019].

Disponible en <http://peruvias.pe/aditivos-logran-mejorar-composicion-de-las-carreteras/>

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO (Perú). Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. Lima: Industria Gráfica Apolo, 2010. 79 pp.

ISBN 9789972943355

SALAZAR, Giancarlo. Comportamiento de las mezclas asfálticas adicionándole caucho por la técnica de vía seca. Tesis (Título de Ingeniería Civil). Chimbote: Universidad César Vallejo, 2019. 28 pp.

Tecnología de los plásticos [mensaje en un blog]. Lima: Mariano, (23 de diciembre de 2011). [Fecha de consulta: 227 de octubre de 2019]. Recuperado de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>.

VALDIVIA Sánchez, Vitmer. Análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente incorporado polímero SBS en la Av. Universitaria cuadra 53 al 57 – Comas, Lima 2017. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2017. 162 pp.

VÁZQUEZ Ruiz, Idalit. Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos. Tesis (Ingeniero Civil). Coatzacoalcos, Veracruz: Universidad Veracruzana. 2010. 73 pp.

WULF, Fernando. Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Tesis (Título de Ingeniero Constructor). Chile: Universidad Austral 2008 de Chile.

Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/doc/bmfciw961a.pdf>

ANEXOS

Ubicación de la cantera San Martín-Trujillo –Lugar de extracción de Material Granular para ENSAYO MARSHALL

Por el Sur	7° 54' 19" S
Por el Norte	79° 06' 06.54" W



Imagen 1. Cartel de descripción.



Imagen 2. Punto de acceso a la cantera S.M.



Imagen 3 Extraccion de gravilla.



Image 4. Extracion de arena gruesa.

Preparación de diseño de mezclas y ensayo de estabilidad



Figura N° 1: Piedra chancada de ½”.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 2: Dosificación de materiales.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 3: Peso de las muestras.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4: Calentar los materiales en la estufa

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 5: Mezclado de materiales

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 6: calentar el molde y martillo Marshall

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 7: Colocar la muestra en el molde Marshall y chucear.

Fuente: Elaboración propia

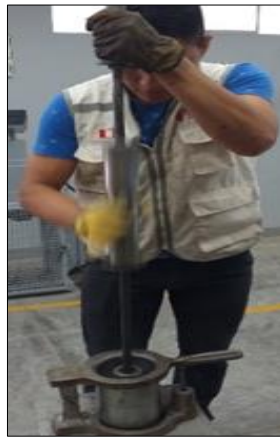


Figura N° 8: Compactar los 75 golpes por cada cara.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 9: Extracción de las briquetas y registro de su peso.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 10: Reposo de las briquetas convencionales (muestra patrón) por un periodo de 24 horas.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 11: Registro de dimensiones con el *calibrador vernier digital*.

Fuente: elaboración propia



Figura N° 12: Registro de los pesos: M_s , M_{SUM} y M_{SSS}

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 13: Baño maría.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 14: Calentar el cabezal de rotura (mordaza Marshall).

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 15: Colocar las briquetas en la mordaza Marshall.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 16: Colocar la mordaza en la prensa Marshall.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 17: Ensayo de las briquetas en la prensa Marshall.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 18: Briquetas convencionales (muestra patrón) ensayadas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 19: Molido para trituración del polímero SBS

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 20: Reposo de las briquetas modificadas (muestra experimental) por un periodo de 24 horas.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 18: Briquetas modificadas (muestra experimental) ensayadas

Fuente: elaboración propia



Figura N° 1: Guantes

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 2: Trapo

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 3: Tamices y cepillo

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4: Cuchara

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 5: Bandeja

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 6: Balanza de 6000 gr

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 7: Bowls

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 8: Termómetro digital

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 9: Estufas eléctricas

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 10: Grasa y molde Marshall

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 11: Espátula

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 12: Martillo y pedestal de compactación

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 13: Eyector de muestras de asfalto

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 16: Agua destilada

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 14: Calibrador vernier digital

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 15: Bulk

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 18: Molino de mano

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 17: Baño maría

Fuente: Elaboración propia

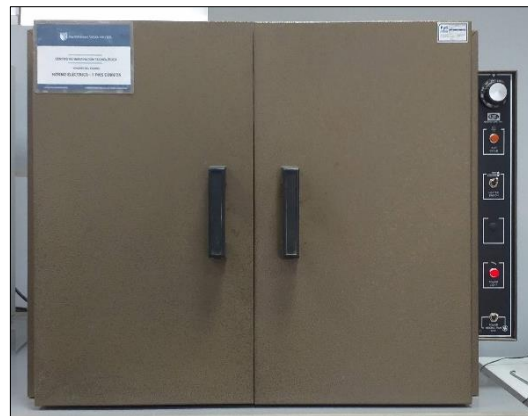


Figura N° 18: Horno eléctrico

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 18: Cabezal de rotura (mordaza Marshall)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 19: Prensa Marshall

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta los resultados de laboratorio de los agregados y del Ensayo Marshall.

- **Agregados**
- **Ensayo Marshall**

RESULTADOS DE ENSAYO DE AGREGADOS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS
ASTM C 127**

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO ADITIVO SBS

SOLICITANTE : FLORES ARMAS, SANDRA JAQUELINE - MONZÓN RIVERA YEFERSONG ADERLINTH

RESPONSABLE : ING. BRYAN EMANUEL CÁRDENAS SALDAÑA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

FECHA : JULIO DEL 2019

MUESTRA : C-X / A°G / CANTERA SAN MARTÍN / (MUESTRA EXTRAÍDA Y TRANSPORTADA POR EL SOLICITANTE)

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE A° G°	Ensayo 01	Ensayo 02
A= Peso en el aire de la muestra seca (g)	2695.70	2691.40
B= Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	2754.20	2750.13
C= Peso sumergido en agua de la muestra saturada (g)	1711.60	1715.54
Peso específico de masa (Pem)	2.59	2.60
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.64	2.66
Peso específico aparente (Pea)	2.74	2.76
Absorción (%)	2.17	2.18
PESO ESPECÍFICO DE MASA PROMEDIO (Pem)	2.59	
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA PROMEDIO (PeSSS)	2.65	
PESO ESPECÍFICO APARENTE PROMEDIO (Pea)	2.75	
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	2.18	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña
 CIP: 211074
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO
 Av. Larco 1770.
 Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.
 Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru
 @ucv_peru
 #saliradelante
 ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
ASTM C 128

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO ADITIVO SBS

SOLICITANTE : FLORES ARMAS, SANDRA JAQUELINE - MONZÓN RIVERA YEFERSONG ADERLINTH

RESPONSABLE : ING. BRYAN EMANUEL CÁRDENAS SALDAÑA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

FECHA : JULIO DEL 2019

MUESTRA : C-X / A°F° / CANTERA SAN MARTÍN / (MUESTRA EXTRAÍDA Y TRANSPORTADA POR EL SOLICITANTE)

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE A° F°	Ensayo 01	Ensayo 02
A= Peso en el aire de la muestra seca (g)	484.50	484.45
B= Peso de la fiola afroada llena de agua (g)	669.90	638.00
C= Peso total de la fiola, aforada con la muestra y agua (g)	976.00	944.00
S= Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	500.00	500.00
Peso específico de masa (Pem)	2.50	2.50
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.58	2.58
Peso específico aparente (Pea)	2.72	2.71
Absorción (%)	3.20	3.21
PESO ESPECÍFICO DE MASA PROMEDIO (Pem)	2.50	
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (PeSSS)	2.58	
PESO ESPECÍFICO APARENTE PROMEDIO (Pea)	2.72	
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	3.20	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña
CIP: 211074
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO
Av. Larco 1770.
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru
@ucv_peru
#saliradelante
ucv.edu.pe

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
ASTM C 136**

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO ADITIVO SBS

SOLICITANTE : FLORES ARMAS, SANDRA JAQUELINE - MONZÓN RIVERA YEFERSONG ADERLINTH

RESPONSABLE : ING. BRYAN EMANUEL CÁRDENAS SALDAÑA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

FECHA : JULIO DEL 2019

MUESTRA : C-X / A*G / CANTERA SAN MARTÍN / (MUESTRA EXTRAÍDA Y TRANSPORTADA POR EL SOLICITANTE)

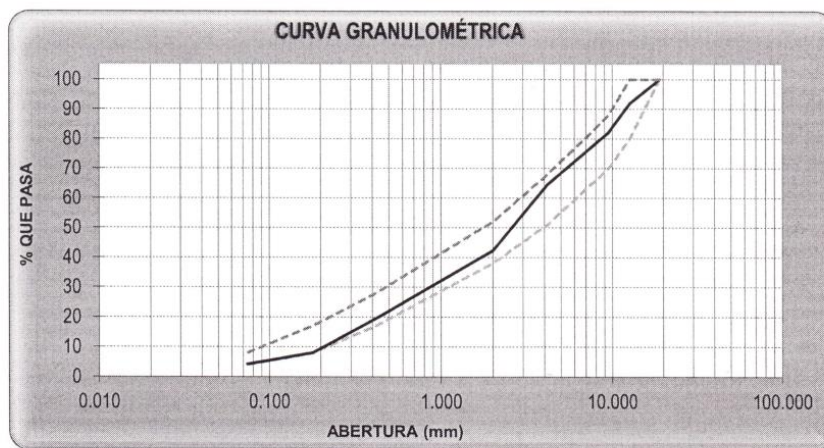
DATOS DEL ENSAYO

Peso total de la muestra tamizada : 3000.00

Peso de muestra tamizada sin plato : 2873.70

Peso de muestra en el plato : 126.30

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	%Que Pasa	Requisito de % que Pasa
1 plg	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4 plg	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2 plg	12.700	240.88	8.03	8.03	91.97	80 - 100
3/8 plg	9.525	291.42	9.71	17.74	82.26	70 - 88
No4	4.178	530.50	17.68	35.43	64.57	51 - 68
No10	2.000	669.02	22.30	57.73	42.27	38 - 52
No40	0.420	684.52	22.82	80.54	19.46	17 - 28
No80	0.180	340.92	11.36	91.91	8.09	8 - 17
No200	0.074	116.44	3.88	95.79	4.21	4 - 8
PLATO		126.30	4.21	100.00	0.00	
Total		3000.00	100.00			



CAMPUS TRUJILLO
Av. Larco 1770.
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.
Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña
CIP: 211074
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru
@ucv_peru
#saliradelante
ucv.edu.pe

RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL



ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE PARA TESIS:
EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO 5B8
TRUJILLO- LA LIBERTAD

TESISTA 1 YEFERSON ADERLINTH MONZÓN RIVERA
TESISTA 2 SANDRA JAQUELINE FLORES ARMAS
CANTERA SAN MARTIN

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559, MTC 507

Fórmula : Cantera San Martín (Piedra Triturada) 50.43 % + Cantera San Martín (Arena) 45.36 % FECHA: Octubre - 2019
de Trabajo (Diseño Tentativo, Asfalto Pen 60 - 70, TDM Asfaltos)

N°	ESPECIMEN N°	UNIDAD	1			2			3			4			5		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla																
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla																
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla																
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla																
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente																
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk																
7	Peso Específico Agregado fino - bulk																
8	Peso Específico Filler - aparente																
8a	Altura del Especimen 01	(mm)															
8b	Altura del Especimen 02	(mm)															
8c	Altura del Especimen 03	(mm)															
8d	Altura del Especimen 04	(mm)															
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	(mm)															
9	Peso del Especimen en el aire (gr)																
9a	Peso del Especimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)																
9b	Agua absorbida																
10	Peso de la Especimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)																
11	Volumen del Especimen por desplazamiento	(9/10)															
12	Peso Específico bulk de la Especimen (MTC E 514 - 2000)	(9/11)															
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041																
14	% de Vacíos	$100 \cdot \frac{(9-10)}{10}$															
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	$\frac{(9+10)}{(9/9)+(10/10)}$															
16	VMA	$100 - \frac{(9-10)}{10}$															
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	$\frac{(9-10)}{10}$															
18	Peso Específico del Agregado total	$\frac{(9+10)}{(9/9)+(10/10)}$															
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	$100 \cdot \frac{(9-10)}{10}$															
20	% de Asfalto Efectivo	$1 - \frac{(9-10)}{10}$															
21	Flujo (mm)																
22	Lectura del Dial																
23	Estabilidad sin corregir (Kg)																
24	Factor de Estabilidad																
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	$22 \cdot 23$															
25	Relación Estabilidad / flujo: $10 \cdot \frac{24}{21}$ (kg/cm.)	$\frac{10 \cdot 24}{21}$															



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña
CIP: 211977
Escuela de Ingeniería de Alimentos y Alimentos

ELABORACION DE ESTUDIO DE PARA TESIS:

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO SBS
 TRUJILLO- LA LIBERTAD
 ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559, MTC 507 - MEZCLA MODIFICADA

TESISTA 1
 TESISTA 2

YEFERSONG ADERLINTHMONZON RIVERA
 SANDRA JAQUELINE FLORES ARMAS

CANTERA

SAN MARTIN

Cantera San Martín (Piedra Triturada) 50.43 % + Cantera San Martín (Arena) 45.36 %
 (Diseño Tentativo, cemento asfáltico, Pen 60 - 70, TDM Asfaltos)

FECHA: Noviembre - 2019

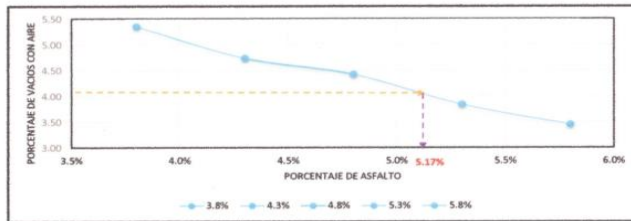
Nº	ESPECIMEN N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla		4.17			4.67			5.17			5.67			6.17	
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla		50.430			50.430			50.430			50.430			50.430	
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla		45.360			45.360			45.360			45.360			45.360	
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla		-			-			-			-			-	
5	Peso Especifico del Cemento Asfáltico - aparente		1.016			1.016			1.016			1.016			1.016	
6	Peso Especifico Agregado Grueso - bulk		2.640			2.640			2.640			2.640			2.640	
7	Peso Especifico Agregado fino - bulk		2.580			2.580			2.580			2.580			2.580	
8a	Altura del Especimen (mm)	62.8	63.9	63.1	64.1	63.9	64.2	63.4	63.4	65.1	64.3	64.2	64.4	64.0	65.2	64.3
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000) (mm)		63.3			64.1			64.0			64.3			64.5	
9	Peso del Especimen en el aire (gr)	1192.8	1198.3	1196.0	1198.4	1196.6	1202.1	1196.8	1204.5	1200.4	1197.3	1204.6	1198.6	1202.8	1202.3	1203.7
9a	Peso del Especimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	1194.8	1201.6	1198.1	1202.0	1199.1	1204.9	1198.7	1207.2	1203.6	1200.0	1206.9	1203.0	1205.2	1205.4	1206.4
9b	Agua absorbida	2.00	3.30	2.10	3.60	2.50	2.80	1.90	2.70	3.20	2.70	2.30	4.40	2.40	3.10	2.70
10	Peso de la Especimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	682.30	683.20	685.30	688.30	683.10	687.60	692.40	685.40	687.30	689.30	687.90	689.30	691.20	687.90	691.20
11	Volumen del Especimen por desplazamiento (9 - 10)	510.50	515.10	510.70	510.10	513.50	514.50	504.40	519.10	513.10	508.00	516.70	509.30	511.60	514.40	512.50
12	Peso Especifico bulk de la Especimen (MTC E 514 - 2000) (9 / 11)	2.34	2.33	2.34	2.35	2.33	2.34	2.37	2.32	2.34	2.36	2.33	2.35	2.35	2.34	2.35
13	Peso Especifico Máximo ASTM D-2041		2.46			2.45			2.44			2.42			2.41	
14	% de Vacios	$100 * \frac{(13 - 12)}{13}$	5.02	5.43	4.80	3.91	4.69	4.44	2.56	4.71	3.92	2.61	3.66	2.75	2.24	2.82
15	Peso Especifico Bulk del Agregado total	$\frac{(2+3+4)}{(2/6+3/7+4/8)}$	2.64			2.64			2.64			2.64			2.64	
16	VMA	$100 - \frac{(2+3+4) * 12}{15}$	15.22	15.59	15.03	14.76	15.45	15.22	13.91	15.81	15.11	14.48	15.41	14.61	14.69	15.19
17	% de Vacios Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	$100 * \frac{(16 - 14)}{16}$	67.03	65.15	68.05	73.49	69.63	70.84	81.61	70.22	74.05	81.99	76.22	81.17	84.74	81.47
18	Peso Especifico del Agregado total	$\frac{(2+3+4)}{(100/13-1/5)}$	2.74			2.77			2.81			2.84			2.87	
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	$100 * \frac{5 * (18 - 15)}{18 * 15}$	1.34			1.77			2.28			2.69			3.10	
20	% de Asfalto Efectivo	$1 - \frac{19 * (2+3+4)}{100}$	2.89			2.97			2.99			3.09			3.20	
21	Flujo (cm)	2.97	3.12	2.87	3.37	3.42	0.80	2.98	4.27	4.28	6.40	4.33	3.66	4.97	7.23	4.74
22	Lectura del Dial	464.10	600.00	492.00	480.50	577.50	568.00	616.80	541.70	541.90	506.00	658.00	504.10	561.70	531.90	526.70
	Estabilidad sin corregir (Kg)	1478.62	1902.61	1565.97	1529.98	1832.67	1803.11	1954.77	1721.18	1721.80	1609.74	2082.44	1603.80	1783.50	1690.61	1674.38
23	Factor de Estabilidad	1.09	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00	1.04	1.04	1.00	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00	1.04
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	$22 * 23$	1611.70	1978.72	1628.61	1591.18	1905.98	1803.11	2032.96	1790.02	1721.80	1674.13	2165.74	1667.95	1854.84	1741.36
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	$\frac{10 * 24}{21}$	5423.30	6333.52	5684.25	4727.92	5579.07	22536.05	6811.73	4194.84	4018.22	2615.50	5000.90	4553.91	3735.29	2339.52



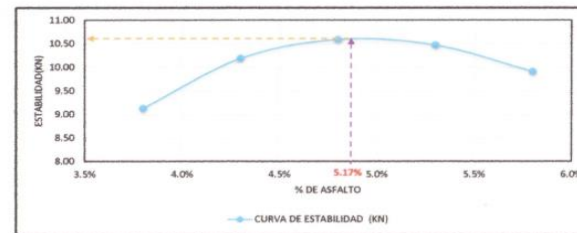
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
 Ing. Bryan Emmanuel Cárdenas Saldaña
 CIP: 211074
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

GRÁFICAS DE BRIQUETAS CON MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL - ENSAYO MARSHALL

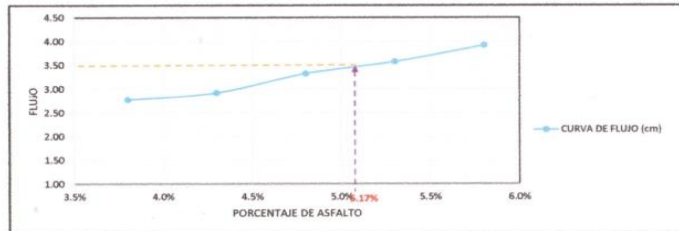
Grafica 1: Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacios



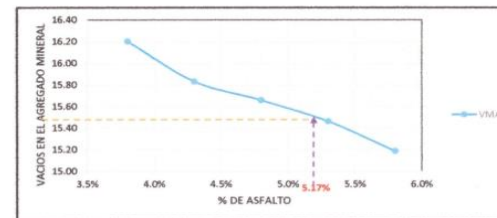
Grafica 2: Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad



Grafica 3: Porcentaje de asfalto vs. Flujo



Grafica 4: Porcentaje de asfalto vs. VAM



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña
 CIP: 211074
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



ELABORACION DE ESTUDIO DE PARA TESIS:
EVALUACION DE ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE,
UTILIZANDO SBS
TRUJILLO- LA LIBERTAD

TESISTA 1 YEFERSONG ADERLINTH MONZON RIVERA
TESISTA 2 SANDRA JAQUELINE FLORES ARMAS
CANTERA SAN MARTIN
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559, MTC E- 504

: Cantera San Martin (Piedra Triturada) 50.43 % + Cantera San Martin (Arena) 45.36 %
(Diseño Tentativo, Cemento Asfáltico, Pen 60 - 70, TDM Asfaltos)

FECHA: Octubre - 2019

N°	ESPECIMEN N°	UNIDAD	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla		3.80			4.30			4.80			5.30			5.80		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla		50.430			50.430			50.430			50.430			50.430		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla		45.360			45.360			45.360			45.360			45.360		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla		-			-			-			-			-		
5	Peso Específico del Cemento Asfáltico - aparente		1.016			1.016			1.016			1.016			1.016		
6	Peso Específico Agregado Grueso - bulk		2.640			2.640			2.640			2.640			2.640		
7	Peso Específico Agregado fino - bulk		2.580			2.580			2.580			2.580			2.580		
8	Peso Específico Filler - aparente		-			-			-			-			-		
8a	Altura del Especimen	(mm)	63.0	64.0	64.0	61.0	62.0	60.0	62.0	63.0	62.0	61.0	63.0	61.0	62.0	62.0	63.0
8 Prom	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	(mm)		63.7			61.0		62.3			61.7			62.3		
9	Peso del Especimen en el aire (gr)		1197.20	1204.80	1208.50	1211.50	1212.30	1212.40	1209.00	1205.80	1210.00	1213.00	1213.50	1215.20	1220.00	1219.20	1221.40
9a	Peso del Especimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)		1205.70	1216.40	1213.30	1217.90	1221.30	1215.90	1217.90	1212.90	1219.00	1219.50	1218.70	1219.50	1223.10	1222.50	1224.20
9b	Agua absorbida		8.50	11.60	4.80	6.40	9.00	3.50	8.90	7.30	9.00	6.50	5.20	4.30	3.10	3.30	2.80
10	Peso de la Especimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)		678.80	683.20	685.10	689.00	689.30	690.30	689.20	687.00	689.00	694.30	692.20	692.10	697.00	698.30	699.20
11	Volumen del Especimen por desplazamiento	(9 - 10)	518.40	521.60	523.40	522.50	523.00	522.10	519.80	518.80	521.00	518.70	521.30	523.10	523.00	520.90	522.20
12	Peso Específico bulk de la Especimen (MTC E 514 - 2000)	(9 / 11)	2.31	2.31	2.31	2.32	2.32	2.32	2.33	2.33	2.32	2.34	2.33	2.32	2.33	2.34	2.34
13	Peso Específico Máximo ASTM D-2041			2.44			2.44			2.43			2.42			2.42	
14	% de Vacíos	$100 \cdot \frac{(13 - 12)}{13}$	5.35	5.34	5.37	4.78	4.81	4.63	4.36	4.41	4.50	3.49	3.93	4.12	3.65	3.32	3.39
15	Peso Específico Bulk del Agregado total	$\frac{(2 + 3 + 4)}{(2 / 6 + 3 / 7 + 4 / 8)}$		2.64			2.64			2.64			2.64			2.64	
16	VMA	$100 - \frac{(2 + 3 + 4) \cdot 12}{15}$	16.21	16.19	16.22	15.87	15.89	15.74	15.61	15.65	15.73	15.15	15.54	15.71	15.36	15.07	15.13
17	% de Vacíos Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	$100 \cdot \frac{(16 - 14)}{16}$	66.97	67.05	66.89	69.89	69.76	70.56	72.05	71.81	71.37	76.99	74.72	73.75	76.25	77.96	77.61
18	Peso Específico del Agregado total	$\frac{(2 + 3 + 4)}{(100 / 13 - 1 / 5)}$		2.67			2.72			2.76			2.80			2.85	
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	$100 \cdot 5 \cdot \frac{(18 - 15)}{18 \cdot 15}$		0.49			1.09			1.73			2.25			2.88	
20	% de Asfalto Efectivo	$1 - 19 \cdot \frac{(2 + 3 + 4)}{100}$		3.33			3.25			3.15			3.15			3.04	
21	Flujo (cm)		2.83	2.92	2.59	2.88	2.85	3.04	3.16	3.37	3.46	3.63	3.59	3.52	3.92	3.87	3.98
22	Lectura del Dial		287.50	298.90	296.80	326.30	332.40	328.30	334.30	338.60	339.50	337.50	337.40	339.60	327.30	318.70	313.70
23	Estabilidad sin corregir (Kg)		922.13	958.24	951.59	1044.93	1064.21	1051.25	1070.21	1083.79	1086.64	1080.32	1080.00	1086.95	1048.09	1020.90	1005.08
24	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	0.96	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00
24	Estabilidad Corregida: (22*23) (Kg)	22 * 23	922.13	958.24	913.53	1044.93	1021.64	1051.25	1070.21	1083.79	1086.64	1080.32	1080.00	1043.47	1006.17	1020.90	1005.08
25	Relación Estabilidad / flujo: 10 * 24/21) (kg/cm.)	$\frac{10 \cdot 24}{21}$	3255.99	3277.67	3526.04	3627.77	3581.65	3454.74	3389.72	3215.45	3141.04	2976.36	3009.19	2961.91	2567.26	2637.33	2525.22



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
Ing. Brian Ezequiel Cárdenas Saldaña
CIP: 211074
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

GRÁFICAS DE BRIQUETAS CON MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON SBS - ENSAYO MARSHALL

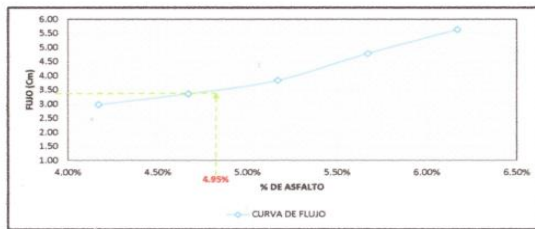
Gráfica 1 : Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos



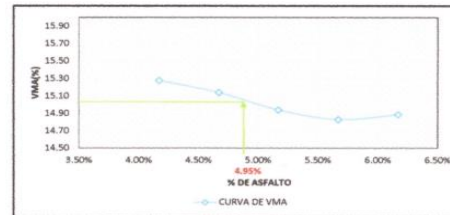
Gráfica 2 : Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad



Gráfica 3 : Porcentaje de asfalto vs. Flujo



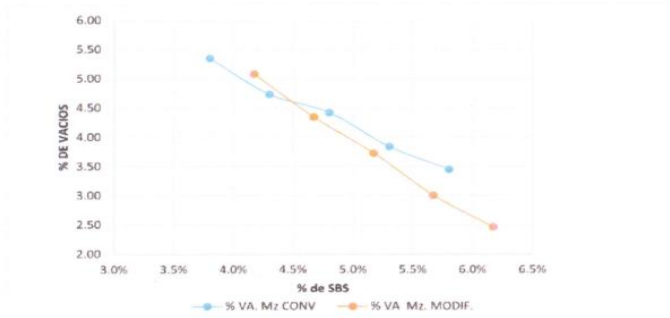
Gráfica 4 : Porcentaje de asfalto vs. Vacíos en el agregado mineral



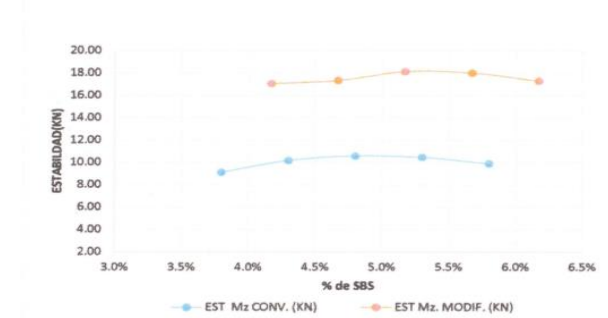
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldana
 CIP: 211074
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



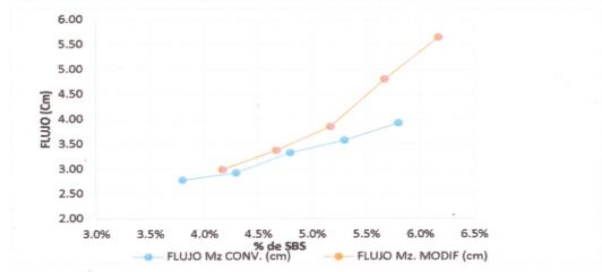
COMPARACION DE CURVAS DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL -MODIFICADA CON SBS



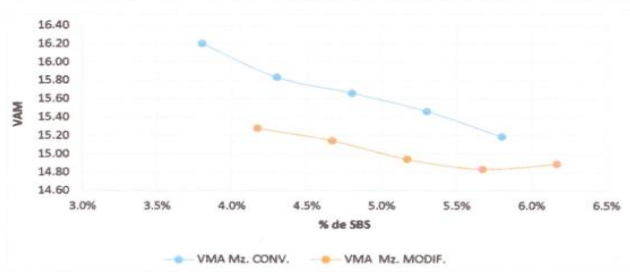
% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
% Vacios	5.35	4.74	4.43	3.85	3.45
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
% Vacios	5.08	4.35	3.73	3.01	2.47



% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
ESTABILIDAD	9.14	10.20	10.60	10.48	9.92
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
ESTABILIDAD	17.07	17.33	18.13	18.01	17.29



% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
FLUJO	2.78	2.93	3.33	3.58	3.92
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
FLUJO	2.99	3.37	3.85	4.80	5.64



% Asfalto	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%	5.8%
VAM	16.21	15.84	15.66	15.46	15.19
% SBS	4.17%	4.67%	5.17%	5.67%	6.17%
VAM	15.28	15.14	14.94	14.83	14.89



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña
 CIP: 211074
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales