

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL



UPLA

TESIS

**Influencia del polímero SBS en las propiedades de
las mezclas asfálticas en caliente**

Para Optar : El Grado Académico de Maestro en
Ingeniería Civil Mención en: Ingeniería
de Transportes

Autor : Bach. Lifonzo Balbin Ruth Katia

Asesor : Mg. Perez Canchanya Job

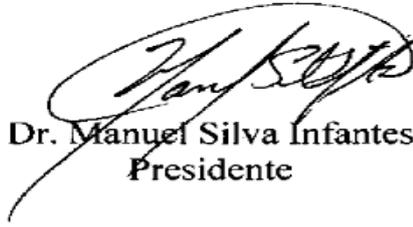
**Línea de investigación
Institucional** : Transporte y Urbanismo.

**Fecha de inicio y
culminación de la
Investigación** : 13-01-2020 / 06-08-2021

Huancayo – Perú

2023 - diciembre

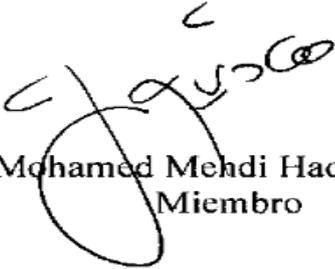
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



Dr. Manuel Silva Infantes
Presidente



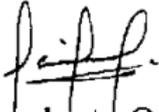
Mtro. Alcides Luis Fabian Brañez
Miembro



Dr. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed
Miembro



Dr. Julio César Llallico Colca
Miembro



Dr. Jaime Humberto Ortiz Fernández
Secretario Académico

Dedicatoria

- A Dios y a mi familia por estar cuando más los necesito.

Agradecimiento

Al Mg. Job Pérez Canchanya por su apoyo durante la ejecución de esta investigación.

Constancia de similitud



Oficina de
Propiedad Intelectual
y Publicaciones

NUEVOS TIEMPOS
NUEVOS DESAFIOS
NUEVOS COMPROMISOS

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0086- POSGRADO - 2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **Tesis**, titulada:

INFLUENCIA DEL POLÍMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : Bach. LIFONZO BALBIN RUTH KATIA

Asesor(a) : Mg. PEREZ CANCHANYA JOB

Fue analizado con fecha 16/05/2024; con 146 págs.; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

Excluye Citas.

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

Otro criterio (especificar)

X

X

X

El documento presenta un porcentaje de similitud de 16%.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención Version 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 16 de mayo del 2024.



MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

Contenido

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Constancia de similitud	v
Contenido	vi
Contenido de tablas	ix
Contenido de figuras	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
Introducción	14
CAPÍTULO I	17
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Descripción de la realidad problemática	17
1.2. Delimitación del problema	18
1.2.1. Temporal	18
1.2.2. Espacial	19
1.3. Formulación del problema	19
1.3.1. Problema general	19
1.3.2. Problemas específicos	19
1.4. Justificación	20
1.4.1. Social	20
1.4.2. Metodológica	20
1.5. Objetivos	21
1.5.1. Objetivo general	21
1.5.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	22
2 MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. Nacionales	22
2.1.2. Internacionales	25
2.2. Bases teóricas o científicas	33
2.2.1. Asfalto	33
2.2.2. Mezcla asfáltica en caliente	33
	vi

2.2.3. Composición del asfalto	34
2.2.4. Propiedades mecánicas del asfalto	35
2.2.5. Propiedades físicas del asfalto	36
2.2.6. Tipos de asfaltos	36
2.2.7. Requisitos de calidad de la mezcla asfáltica	37
2.2.8. Determinación del contenido de asfalto	38
2.2.9. Polímeros	38
2.2.10. Clasificación de los polímeros	39
2.2.11. Asfaltos modificados	41
2.2.12. Mezcla asfáltica	42
2.3. Marco conceptual	44
CAPÍTULO III	46
3 HIPÓTESIS	46
3.1. Hipótesis general	46
3.2. Hipótesis específicas	46
3.3. Variables	46
3.3.1. Definición conceptual de las variables	46
3.3.2. Operacionalización de las variables	47
CAPÍTULO IV	49
4 METODOLOGÍA	49
4.1. Método de investigación	49
4.2. Tipo de investigación	49
4.3. Nivel de investigación	50
4.4. Diseño de la investigación	50
4.5. Población y muestra	51
4.5.1. Población	51
4.5.2. Muestra	51
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	51
4.6.1. Técnicas de recolección de datos	51
4.6.2. Instrumentos de recolección de datos	52
4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	52
4.8. Aspectos éticos de la investigación	53
CAPÍTULO V	54
5 RESULTADOS	54

5.1. Descripción de resultados	54
5.1.1. Diseño de mezcla	54
5.1.2. Efecto del polímero SBS en las características físicas de las mezclas de asfalto	57
5.1.3. Influencia del polímero SBS en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	66
5.2. Contrastación de hipótesis	71
5.2.1. Hipótesis específica “a”	71
5.2.2. Hipótesis específica “b”	71
5.2.3. Hipótesis específica “c”	77
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
6.1. Diseño de la mezcla en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS	82
6.2. El impacto de la cantidad de polímero SBS en los niveles de porosidad, compresión de vacíos en el material agregado, espacios llenos de cemento asfáltico, proporción de polvo a asfalto y densidad de las mezclas asfálticas a altas temperaturas.	82
6.3. La cantidad de polímero SBS tiene un impacto significativo en la estabilidad, fluidez y la relación entre estabilidad y fluidez de las mezclas asfálticas calientes	83
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	95
Matriz de consistencia	96
Matriz de operacionalización de variables	98
Certificados de ensayos realizados	100
Panel fotográfico	140

Contenido de tablas

Tabla 2.1. Requisitos de calidad de la mezcla asfáltica.	38
Tabla 3.1. Operacionalización de las variables.	48
Tabla 4.1. Normalidad de los datos obtenidos en cuanto a propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas.	53
Tabla 5.1. Primera dosificación de la mezcla asfáltica para determinar el contenido de ligante asfáltico.	54
Tabla 5.2. Segunda dosificación de la mezcla asfáltica para obtener el contenido de ligante asfáltico.	54
Tabla 5.3. Tercera dosificación de la mezcla asfáltica para determinar el contenido de ligante asfáltico.	55
Tabla 5.4. Cuarta dosificación de la mezcla asfáltica para determinar el contenido de ligante asfáltico.	55
Tabla 5.5. Características de la mezcla asfáltica convencional.	55
Tabla 5.6. Características de la mezcla asfáltica con 1 % de polímero SBS.	56
Tabla 5.7. Características de la mezcla asfáltica con 2 % de polímero SBS.	56
Tabla 5.8. Características de la mezcla asfáltica con 3 % de polímero SBS.	56
Tabla 5.9. Características de la mezcla asfáltica con 4 % de polímero SBS.	57
Tabla 5.10. Porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas en caliente.	57
Tabla 5.11. Vacíos de material agregado compactados en las mezclas asfálticas en caliente.	59
Tabla 5.12. Vacíos llenos de cemento asfáltico en las mezclas asfálticas en caliente.	61
Tabla 5.13. Relación polvo/asfalto en las mezclas asfálticas en caliente.	62
Tabla 5.14. Peso específico en las mezclas asfálticas en caliente.	64
Tabla 5.15. Estabilidad en las mezclas asfálticas en caliente.	66

Tabla 5.16. Flujo en las mezclas asfálticas en caliente.	67
Tabla 5.17. Estabilidad/flujo en las mezclas asfálticas en caliente.	69
Tabla 5.18. Análisis ANOVA para las propiedades físicas de las mezclas asfálticas en caliente.	73
Tabla 5.19. Comparación de grupos en base a las propiedades físicas de las mezclas asfálticas en caliente.	75
Tabla 5.20. Grupos homogéneos según el porcentaje de vacíos.	76
Tabla 5.21. Grupos homogéneos según los vacíos de material agregado compactados.	76
Tabla 5.22. Grupos homogéneos según los vacíos llenos de cemento asfáltico.	77
Tabla 5.23. Grupos homogéneos según el peso específico.	77
Tabla 5.24. Análisis ANOVA para las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.	78
Tabla 5.25. Comparación de grupos en base a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.	80
Tabla 5.26. Grupos homogéneos según la estabilidad.	81
Tabla 5.27. Grupos homogéneos según el flujo.	81
Tabla 5.28. Grupos homogéneos según la estabilidad/flujo.	81
Tabla 0.1. Operacionalización de las variables.	99

Contenido de figuras

Figura 2.1. Propiedades físicas del asfalto en relación a su composición química.	36
Figura 5.1. Porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas en caliente.	58
Figura 5.2. Variación porcentual del contenido de vacíos en las mezclas asfálticas en caliente.	59
Figura 5.3. Vacíos de material agregado compactados en las mezclas asfálticas en caliente.	60
Figura 5.4. Variación de vacíos de material agregado compactados en las mezclas asfálticas en caliente.	60
Figura 5.5. Vacíos llenos de cemento asfáltico en las mezclas asfálticas en caliente.	61
Figura 5.6. Variación de vacíos llenos de cemento asfáltico en las mezclas asfálticas en caliente.	62
Figura 5.7. Relación polvo/asfalto en las mezclas asfálticas en caliente.	63
Figura 5.8. Variación de la relación polvo/asfalto en las mezclas asfálticas en caliente.	64
Figura 5.9. Peso específico en las mezclas asfálticas en caliente.	65
Figura 5.10. Variación del peso específico en las mezclas asfálticas en caliente.	65
Figura 5.11. Estabilidad en las mezclas asfálticas en caliente.	66
Figura 5.12. Variación de la estabilidad en las mezclas asfálticas en caliente.	67
Figura 5.13. Flujo en las mezclas asfálticas en caliente.	68
Figura 5.14. Variación del flujo en las mezclas asfálticas en caliente.	69
Figura 5.15. Estabilidad/flujo en las mezclas asfálticas en caliente.	70
Figura 5.16. Variación de la estabilidad/flujo en las mezclas asfálticas en caliente.	70

Resumen

El propósito objetivo de esta investigación consistió en examinar cómo el polímero SBS afecta las propiedades de las mezclas asfálticas. Se llevaron a cabo pruebas utilizando una mezcla asfáltica convencional y otras variantes que contenían 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de SBS. Se evaluaron diversos parámetros como el porcentaje de vacíos, los vacíos del material agregado compactado, la cantidad de vacíos llenos de cemento asfáltico, el peso específico, la estabilidad, el flujo, así como la relación entre estabilidad y flujo. Después de la dosificación, se logró un nivel óptimo de 5.5% de cemento asfáltico. Además, al aumentar los vacíos tanto en el material agregado compactado como en el cemento asfáltico, se observaron cambios en la estabilidad y la relación entre estabilidad y flujo. Tras el análisis, se notó una disminución en la densidad, mientras que la proporción de polvo/asfalto y el flujo permanecieron estables. La investigación concluyó que el polímero SBS afecta las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente, aumentando los vacíos en el material agregado compactado y los vacíos llenos de cemento asfáltico. También mejora la estabilidad y la relación estabilidad/flujo, aunque disminuye el peso específico. Se sugiere utilizar hasta un 2% de SBS.

Palabras clave: polímero SBS, MAC, estabilidad, flujo, rigidez.

Abstract

The main objective of this research was to examine how the SBS polymer affects the properties of asphalt mixes. Tests were conducted using a conventional asphalt mix and other variants containing 1%, 2%, 3%, and 4% of SBS. Various parameters were evaluated such as void percentage, voids in compacted aggregate material, the quantity of voids filled with asphalt cement, specific weight, stability, flow, as well as the relationship between stability and flow. After dosing, an optimal level of 5.5% asphalt cement was achieved. Additionally, by increasing the voids in both the compacted aggregate material and asphalt cement, changes in stability and the stability-flow relationship were observed. Upon analysis, a decrease in density was noted, while the asphalt/powder ratio and flow remained stable. The research concluded that the SBS polymer affects the properties of hot asphalt mixes, increasing the voids in compacted aggregate material and voids filled with asphalt cement. It also enhances stability and the stability/flow relationship, although it decreases specific weight. It is suggested to use up to 2% of SBS.

Key words: SBS polymer, MAC, stability, flow, stiffness.

Introducción

Este estudio se origina en la preocupación global por los daños que sufren las carreteras flexibles debido a la fatiga causada por el clima y el tráfico, lo que resulta en deformaciones en el pavimento (Escalante, 2015); Según estudios como el realizado por León, Maila y Albuja (2020), se ha observado que al incorporar cantidades adecuadas de polímeros en las mezclas asfálticas, se puede mejorar significativamente sus propiedades mecánicas. Esto se traduce en una mayor estabilidad y una reducción del desgaste, lo que a su vez disminuye la probabilidad de sufrir deformaciones por huellado o fisuras. Swamy, Rongali y Jain (2017) indican que el polímero estireno-butadieno-estireno (SBS) mejora las características del aglutinante asfáltico. En esta investigación, se plantea como objetivo general evaluar cómo afecta el polímero SBS a las mezclas asfálticas en caliente. Los objetivos específicos son determinar el diseño de la mezcla con diferentes porcentajes de SBS (1 %, 2 %, 3 % y 4 %), Examinar su efecto en los niveles de porosidad, vacíos de agregado compactado y llenado de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico de las mezclas, además, considerar su efecto en la estabilidad, fluidez y relación entre estabilidad y fluidez de las mezclas asfálticas en caliente.

Los resultados a los que se llegó fueron que para el diseño de mezcla en cada uno de los grupos el contenido óptimo de asfalto correspondió a 5.50 %, en cuanto a las propiedades físicas se encontró que el porcentaje de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto, estabilidad y la relación estabilidad/flujo se incrementaron en comparación de lo obtenido para la MAC convencional, a diferencia del peso específico y flujo que se

redujeron. Con ello se llegó a concluir que, el polímero SBS influye en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente, incrementando los vacíos de material agregado compactado, los vacíos llenos de cemento asfáltico, la estabilidad y la relación estabilidad/flujo; además de reducir el peso específico, siendo recomendable utilizar hasta 2 % de SBS.

Por consiguiente, se tiene la siguiente organización de la investigación:

En el primer capítulo, se presenta el problema abordando la descripción detallada de la situación, estableciendo claramente sus límites tanto en términos de tiempo como de espacio. Se plantean tanto el problema general como los específicos, se proporciona una justificación tanto social como metodológica, y se detallan los objetivos tanto generales como específicos.

En el segundo capítulo, denominado Marco Teórico, se abordaron los precedentes tanto a nivel nacional como internacional, así como los fundamentos teóricos y científicos relacionados con el asfalto. Se discutieron temas como la mezcla asfáltica en caliente, la composición y propiedades mecánicas del asfalto, así como los diversos tipos de asfaltos y los estándares de calidad para las mezclas asfálticas. Además, se exploraron aspectos como la determinación del contenido de asfalto, la clasificación de polímeros, los asfaltos modificados y las mezclas asfálticas, ofreciendo un detallado marco conceptual.

En el tercer capítulo, se plantearon tanto la hipótesis general como las específicas, se detallaron las variables junto con sus definiciones conceptuales y su operacionalización.

En el cuarto capítulo, se describieron el enfoque de investigación, la tipología y el nivel, el diseño, la población y la muestra, así como las herramientas y metodologías empleadas para recolectar y analizar datos, junto con las consideraciones éticas.

En el quinto capítulo, se presentó un análisis minucioso de los resultados obtenidos a partir del diseño de mezcla y la influencia del polímero SBS en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. También se realizó la confirmación de las hipótesis propuestas.

El examen y el debate de los resultados se realizaron teniendo en cuenta los objetivos y las suposiciones respaldadas por investigaciones anteriores.

Al final del proceso, se incluyen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que abarcan la matriz de consistencia, la matriz de operacionalización de variables, así como los certificados de los ensayos llevados a cabo y una colección de fotografías relevantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel internacional, se prefiere el uso de pavimentos flexibles debido a sus ventajas como bajo costo inicial y mantenimiento en comparación del pavimento rígido (Raol, Parmar, Patel, & Jayswal, 2014). Entonces, los pavimentos flexibles son estructuras viales importantes, pero presentan dos defectos que requieren mucha atención por ser las que causan más daño: el surgimiento y propagación de las fisuras por fatiga del revestimiento asfáltico, y la deformación permanente que se presenta principalmente en los primeros años por estar más relacionado a la adhesividad. Un buen grado de desempeño de los ligantes asfálticos, asegura tener un comportamiento adecuado frente a situaciones climatológicas y de tránsito liviano y pesado (Escalante, 2015). Es así que, los profesionales relacionados a pavimentos buscan diseñar un capa óptima de mezcla asfáltica que garantice las cargas repetitivas bajo los efectos del clima (Karahancer et al., 2016).

Mientras que, el Perú es un país con distintos fenómenos climáticos como El Niño Costero que se hizo presente en el año 2017, lo cual afectó considerablemente a la infraestructura vial en el norte del país, pues hasta la actualidad todavía se puede observar sus consecuencias ya que, según la Cámara de Comercio de Lima estima que el 80 % de las carreteras nacionales se encuentran dañadas, haciendo necesario la reparación de las vías con

mezclas asfálticas; por lo que es necesario diseñar vías de mayor duración (Flores, 2019).

Asimismo, en el departamento de Junín, principalmente en la ciudad de Huancayo, un ejemplo de la poca resistencia a esfuerzos que presenta el pavimento de las principales avenidas, es el alto grado de deterioro de las superficies debido al tránsito y la pobre calidad del asfalto. Esto perjudica a conductores y transeúntes especialmente en épocas de lluvia, en la que los baches se convierte en espejos de agua que afectan la transitabilidad de la vía (Torrico, 2018).

En consecuencia, se requiere mejorar las características físicas y mecánicas de las mezclas de asfalto para garantizar que puedan resistir eficazmente el aumento del tráfico vehicular y las variaciones climáticas. La inclusión de polímeros en el aglutinante asfáltico se dirige principalmente a mejorar aspectos como la estabilidad y la fluidez. Sin embargo, el desafío radica en determinar la proporción óptima para su aplicación, un obstáculo que se aborda en el desarrollo de esta investigación.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Temporal

El estudio se llevó a cabo desde mayo hasta agosto de 2021, abarcando un periodo de cuatro meses. Durante este lapso, se realizaron diversas investigaciones y análisis relacionados con el tema en cuestión. La investigación se extendió a lo largo de cuatro meses, comenzando en mayo y concluyendo en agosto del mismo año. Dentro de este

intervalo temporal, se llevaron a cabo diversas actividades de recolección y análisis de datos. El período de estudio abarcó desde mayo hasta agosto de 2021, permitiendo un análisis exhaustivo de los fenómenos observados durante esos meses.

1.2.2. Espacial

El estudio se llevó a cabo en el distrito de San Martín de Porres, ubicado en la provincia de Lima y perteneciente a la región Lima. Esta investigación se centró en el análisis de datos específicos de esta área geográfica para obtener resultados más precisos. San Martín de Porres, como parte de la provincia de Lima, ofrece un contexto único para comprender ciertos fenómenos sociales y económicos. La elección de este distrito proporciona una perspectiva detallada que puede aplicarse a un amplio espectro de investigaciones relacionadas. La región Lima, en la que se encuentra ubicado este distrito, presenta una diversidad cultural y económica que enriquece el marco de análisis de este estudio.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del polímero SBS en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente?

1.3.2. Problemas específicos

a) ¿Cuál es el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS?

- b) ¿Cómo influye la cantidad de polímero SBS en los porcentajes de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico de las mezclas asfálticas en caliente?
- c) ¿Cuál es la influencia de la cantidad de polímero SBS en la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en caliente?

1.4. Justificación

1.4.1. Social

El objetivo principal de esta investigación fue garantizar la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente mediante la incorporación de polímeros SBS. Esta adición resulta en una mejora significativa del comportamiento de la mezcla, particularmente en términos de estabilidad y fluidez, cumpliendo así con los estándares establecidos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Este avance se traduce en beneficios directos para la comunidad, ya que contribuye a la creación de pavimentos flexibles con un nivel superior de transitabilidad.

1.4.2. Metodológica

La metodología de la investigación se fundamentó en una sólida justificación, ya que se establecieron de manera implícita una serie de pasos y procesos para la generación de conocimiento. Esto permitió

determinar con precisión la cantidad óptima de polímero SBS a añadir a la mezcla asfáltica en caliente que se analizaba. Este enfoque se erige como un punto de referencia crucial para futuras investigaciones en el mismo campo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del polímero SBS en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Establecer el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS.
- b) Determinar cómo es la influencia de la cantidad del polímero SBS en los porcentajes de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico de las mezclas asfálticas en caliente.
- c) Determinar cuál es la influencia de la cantidad del polímero SBS en la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en caliente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

En su tesis de posgrado, Huari (2020) analizó el desempeño de una combinación de asfalto caliente con RAP y una variante de asfalto modificado con polímero SBS PG 70-28. Realizada en la Universidad Ricardo Palma, el estudio buscaba evaluar la viabilidad del pavimento reciclado con la adición de polímero SBS. Con este fin, llevó a cabo experimentos para evaluar las características físicas y reológicas del ligante recuperado destinado a mezclas asfálticas con distintos porcentajes de RAP (30% y 40%). Después, creó una combinación de asfalto estándar y versiones alteradas, utilizando diferentes proporciones de RAP: 20%, 30% y 40%. Después, llevó a cabo pruebas para medir la resistencia a la humedad y la deformación permanente. En conclusión, observó que las mezclas asfálticas con RAP modificado mostraron una mayor estabilidad y una menor tendencia a la fluidez, lo que resultó en un mejor desempeño contra el ahuellamiento, gracias al aumento en la resistencia a la deformación permanente.

Chávez (2017) En su tesis de pregrado titulada "Evaluación del desempeño de la mezcla asfáltica SBS en condiciones climáticas frías de Junín – Yauli", se propuso analizar el rendimiento de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS en regiones de clima frío. Con

este fin, se examinó la resistencia, la capacidad de resistir la humedad y la facilidad de manipulación utilizando el método de diseño Marshall. Se realizaron pruebas en dos tipos de mezclas asfálticas: una estándar PEN 120/150 y otra con adición del polímero SBS BETUTEC 70-28E. El porcentaje de asfalto varió entre el 4% y el 6% en ambas. Después de los experimentos, se determinó que la mezcla estándar alcanzaba su punto óptimo de asfalto al 5.6%, mientras que la modificada lo alcanzaba al 5.8%. Además, se notó un incremento considerable en la estabilidad en comparación con las mezclas convencionales. Los hallazgos del experimento de Lottman revelaron un incremento significativo del 89.79% en la resistencia a la tracción, señalando una superioridad con respecto a las mezclas tradicionales. En síntesis, se evidencia una mayor durabilidad y una menor susceptibilidad a la humedad al incorporar polímero SBS en la mezcla de asfalto, lo que la posiciona como una alternativa ideal para áreas con condiciones climáticas frías.

Según Estrada (2017), en su investigación de pregrado titulada "Análisis de rendimiento de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero SBS", realizada en la Universidad Andina del Cusco, El propósito principal fue analizar el comportamiento mecánico de dos tipos de mezclas asfálticas en comparación con la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus. Se alteró el porcentaje de ligante asfáltico en un rango del 5 % al 7 % para evaluar sus efectos. Por ello, ajustó las proporciones de piedra triturada, arena y cal

hidratada para realizar pruebas de resistencia a la deformación permanente mediante el método Hamburg Wheel. Los resultados revelan que la combinación PEN 85/100 PLUS alcanza un contenido de asfalto ideal del 6.3%, con una estabilidad de 1382 Kgf y un flujo de 14mm. En contraste, la mezcla PG 70-28 presenta un contenido de asfalto óptimo del 6.2%, con una estabilidad de 2047 Kgf y un flujo de 14.1 mm. En contraste, la mezcla asfáltica PG 70-28 mejorada con polímero SBS muestra una resistencia significativamente superior, con un aumento cuatro veces mayor en los ensayos de deformación permanente y un aumento diecisiete veces mayor en los ensayos de resistencia a la fatiga en comparación con la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 PLUS. Los hallazgos de la investigación destacan un rendimiento mecánico superior y una eficacia notablemente mayor en la mezcla asfáltica PG 70-28 con polímero SBS en comparación con la variante convencional PEN 85/100 PLUS.

Vásquez e Infante (2016) en su tesis de pregrado titulada "Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas", investigaron en la Universidad Señor de Sipán, El objetivo planteado fue comparar el comportamiento mecánico para determinar si la inclusión de polímeros mejora las propiedades del asfalto estándar. Se analizaron cuatro tipos de mezclas con distintas proporciones de cemento asfáltico, agregado grueso, agregado fino y filler. Además, se varió la cantidad de polímeros en un rango del 2 al 6 % respecto al contenido de asfalto

modificado. Los resultados indicaron que para el asfalto modificado con polímeros SBS, el contenido óptimo de polímero fue del 5 % para tráfico liviano y del 4 % para tráfico pesado. Por otro lado, para el polímero EVA, los porcentajes óptimos fueron del 4 % y 3 % respectivamente, para tráfico liviano y pesado. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que emplear polímeros, como SBS o EVA, mejora tanto la estabilidad como la fluidez en comparación con los métodos convencionales de pavimentación. Además, se observaron mejoras significativas en la resistencia, prevención de grietas y durabilidad del asfalto. Sin embargo, es importante destacar que el uso del polímero EVA resulta ser más costoso en comparación con el SBS.

2.1.2. Internacionales

Xu et al. (2021) realizaron el artículo científico “Evaluación microestructural, química y reológica del efecto del envejecimiento oxidativo del asfalto modificado con polímeros SBS” con el empleo del Microscopio de Fuerza Atómica (AFM), pudieron obtener más información sobre la superficie del asfalto y sus propiedades mecánicas a microescala; pues, mencionan que, el efecto del envejecimiento en el asfalto modificado con polímero de estireno-butadieno-estireno (SBSMA) no se ha investigado bien con AFM.. En este estudio, prepararon dos SBSMAs con dos polímeros SBS y un aglutinante base, y luego todas las muestras las sometieron a la prueba de horno de película fina (TFOT), 20 días de duración (TFOT), 20 horas de envejecimiento en un recipiente a presión (PAV) y 40 horas de

envejecimiento en un PAV. Mientras tanto, caracterizaron la propiedad micromecánica en términos de módulo de Young y el índice de elasticidad, así como la adherencia, obtenida a partir del escaneo de AFM en modo de contacto. Además, evaluaron el cambio químico y macrorreológico mediante ensayos ATR-FTIR y DSR, incluyendo barrido de temperatura, recuperación de fluencia por tensiones múltiples (MSCR) y pruebas de barrido de amplitud lineal (LAS). Los resultados que destacan es que la introducción de SBS puede suponer una diferencia en términos de microestructura y macropropiedades, en comparación con el ligante base, en cuanto a la rugosidad de la superficie de los SBSMA y del ligante base mostraron una tendencia de comportamiento diferente durante el proceso de envejecimiento. Además, también distinguieron la evolución de la adhesión durante el envejecimiento, con y sin polímero SBS. Los resultados del ATR-FTIR muestran que el envejecimiento a largo plazo (envejecimiento del PAV) es el que más contribuye a la degradación del polímero SBS y la oxidación del ligante asfáltico durante todo el proceso de envejecimiento.

Wang y Huang (2021) desarrollaron el artículo científico “Investigación del comportamiento de envejecimiento del asfalto engomado de mezcla terminal con polímero SBS” Se realizó una investigación para evaluar cómo las características de envejecimiento del asfalto modificado con polímero estireno-butadieno (SBS) en la mezcla final (TBRA) podrían afectar diversos aspectos. Para ello, se

añadió un 3 % de SBS al TBRA, compuesto por asfalto y caucho en diferentes proporciones (0, 5, 10, 15, 20 %), con el fin de producir el asfalto híbrido TB. Se estudiaron los grupos característicos del asfalto híbrido TB mediante espectroscopia infrarroja de reflexión total atenuada y transformada de Fourier (ATR-FTIR) para su control. El análisis FTIR reveló que este tipo de asfalto puede evitar la degradación del polímero SBS. Se observó que la degradación del SBS ocurre principalmente a corto plazo, mientras que la oxidación del asfalto es más pronunciada a largo plazo. En comparación con el asfalto SBS modificado, el asfalto híbrido TB muestra un rendimiento superior, especialmente en las mezclas 3S_5TB y 3S_20TB, que exhiben una resistencia favorable al envejecimiento a corto y largo plazo, respectivamente. Además, el asfalto híbrido TB es más suave, con mejor desempeño a bajas temperaturas y mayor viscosidad, aunque su rendimiento disminuye a altas temperaturas. Tras el envejecimiento por RTFOT y PAV, se observó una mejora en la sensibilidad a la temperatura del asfalto TB, especialmente con un mayor contenido de caucho, siendo el compuesto 3S_20TB el más destacado en este aspecto. Se concluye que el índice de envejecimiento del componente complejo podría utilizarse para evaluar el envejecimiento del asfalto híbrido TB mediante análisis de correlación.

León, Maila y Albuja (2020) llevaron a cabo un estudio científico titulado "Impacto de aditivos (polímero y polialuminio) en las características físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente", con

el propósito de investigar y comparar cómo los aditivos afectan las propiedades físico-mecánicas de dichas mezclas. En esa coyuntura, se recabó datos sobre la inclusión de polímeros SBS, RET, SBR y polialuminio en mezclas asfálticas. Se constató que añadir estos aditivos a las mezclas tradicionales mejora notablemente las propiedades de deformación plástica, tal como se evidenció en las pruebas de estabilidad y flujo (a través del ensayo Marshall) y de desgaste (mediante el ensayo Cántabro). Por lo tanto, la adición adecuada de estos aditivos mejora las propiedades mecánicas, aumenta la estabilidad y reduce el desgaste, lo que a su vez disminuye la posibilidad de ahuellamiento y fisuramiento.

Parra (2018) en su investigación titulada "Sustitución parcial del asfalto en una mezcla para pavimento a base de polímeros reciclados" llevada a cabo en la Universidad Autónoma de Querétaro, Parra (2018) se propuso entender los beneficios derivados de la inclusión del poliestireno como componente principal en la mezcla asfáltica. Para ello, realizó una serie de ensayos conforme a las normativas AASHTO y ASTM, abarcando pruebas de compresión simple, tensión indirecta y tasa de infiltración. Su objetivo era evaluar las propiedades físicas y mecánicas en comparación con el estándar de asfalto AC-20. Los porcentajes de sustitución evaluados fueron del 15 %, 18 %, 20 %, 25 % y 30 %. Destacó que el porcentaje óptimo fue del 18 %, ya que demostró un comportamiento más estable y resistente tanto a corto como a largo plazo. Los resultados revelaron un aumento del 80 % en

la resistencia a la compresión simple, un incremento del 20 % en la resistencia a la tensión, y una resistencia a la deformación de 3.1 MPa. Además, se observó que no se producían grietas superficiales debido a la rigidez del material, su resistencia a la humedad y su capacidad para adaptarse a cambios térmicos. En conclusión, Parra señala que la inclusión de polímeros en la mezcla asfáltica no solo mejora su rendimiento, sino que también aborda problemas ambientales, ofreciendo una alternativa eficaz, rentable y respetuosa con el medio ambiente en la industria del pavimento.

Salamanca (2018) En su tesis de pregrado titulada "Estudio comparativo del desempeño de mezclas asfálticas con polvo de caucho nacional mediante vía seca versus mezclas con asfalto modificado con polímeros y asfalto multigrado en el tramo de prueba Catapilco - La Laguna", Salamanca (2018), llevada a cabo en la Universidad Técnica Federico Santa María, se propuso el objetivo de contrastar el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas, analizando los beneficios y perjuicios ocasionados por cada aditivo. Por tanto, se realizaron pruebas tanto en laboratorio como en campo para evaluar diferentes propiedades de las mezclas asfálticas, como la estabilidad y la fluidez, utilizando métodos como el módulo de rigidez, el ahuellamiento con la rueda de Hamburgo y la fatiga con la viga de cuatro patas. Los resultados mostraron que las mezclas con polvo de caucho tenían un óptimo de asfalto del 5.8%, con una estabilidad de 15682 N y una fluidez de 19 mm. En el caso de las mezclas con asfalto

modificado con polímeros, el porcentaje óptimo fue del 5.5%, con una estabilidad de 10109 N y una fluidez de 11.3 mm. Mientras que para las mezclas con asfalto modificado con asfalto multigrado, el porcentaje óptimo fue del 5.5%, con una estabilidad de 11735 N y una fluidez de 10.3 mm. En conclusión, se señala que los polímeros en la mezcla de asfalto aumentan la resistencia a la fatiga y el ahuellamiento, mientras que el caucho mejora la resistencia del pavimento a los daños y también beneficia al medio ambiente sin aumentar significativamente los costos.

Swamy, Rongali y Jain (2017) investigaron en su estudio titulado "Impacto del polímero HDPEH en las características viscoelásticas del asfalto con SBS" cómo el estireno-butadieno-estireno (SBS) mejora las propiedades del asfalto. Por eso, se examinó cómo la interacción entre el Homo Polímero de Polietileno de Alta Densidad (HDPEHP) y el SBS afecta tanto las propiedades convencionales como las reológicas del asfalto de grado 30 comúnmente empleado en la India. Así, se elaboraron seis combinaciones de ligantes utilizando distintas proporciones de SBS y HDPEHP. Estas fueron sometidas a diversas pruebas reológicas en tres estados: sin envejecer, envejecidas a corto plazo y envejecidas a largo plazo, con el propósito de examinar el impacto de ambos polímeros. Los resultados revelaron que la inclusión de ambos polímeros ligeramente elevó la viscosidad de las mezclas, en comparación con el ligante no modificado. Además, al analizar las curvas maestras del módulo complejo, se observó que, a frecuencias más bajas, las mezclas modificadas exhibieron valores superiores de

este módulo en comparación con el ligante sin modificar. La inclusión de HDPEHP aumentó notablemente la elasticidad en comparación con otras combinaciones. El examen del módulo de relajación y las curvas de fluencia maestras sugirieron que la unión de SBS y HDPEHP mostraba una resistencia superior ante cargas de fluencia y deformaciones a largo plazo. En consecuencia, se deduce que añadir HDPEHP mejora significativamente las propiedades viscoelásticas del ligante modificado con SBS.

Liang et al. (2017) desarrollaron el artículo científico “Efectos del azufre polimerizado en las propiedades reológicas, la morfología y la estabilidad del asfalto modificado con SBS”, cuyo objetivo fue determinar los efectos del azufre polimerizado en las funciones de viscosidad, la morfología y la estabilidad de almacenamiento del asfalto modificado con SBS, en comparación con el azufre elemental. Por ello las funciones de viscosidad incluyendo la viscosidad compleja, la viscosidad de flujo constante y la viscosidad dinámica fueron medidas mediante el reómetro de cizallamiento dinámico (DSR) y reómetro de viscosidad Brookfield. Los resultados que obtuvieron revelaron que el incremento de la viscosidad del asfalto modificado que contiene azufre polimerizado era más lento que el del azufre elemental. La tasa de vulcanización disminuye con el aumento de azufre polimerizado, es decir, el efecto de vulcanización retardada. En cuanto a la morfología, los grandes dominios de polímero se transformaron progresivamente en la fase SBS de dispersión fina con dimensiones más pequeñas a medida

que se alargó el tiempo de mezcla; mientras que en el caso del azufre elemental encontraron una fase polimérica fina en la fase inicial de la mezcla, lo que constituye una prueba significativa de la vulcanización retardada. Además, los resultados de FTIR verifican la disminución de la insaturación del bloque de polibutadieno y la formación de la unión CAS. Por último, concluyen que el asfalto modificado con SBS con un mayor nivel de azufre polimerizado muestra una mejor estabilidad de almacenamiento.

López y Puma (2017) realizaron un estudio de pregrado titulado "Análisis de mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado por polímeros SBS y RET, enfocado en la evaluación del módulo de rigidez" En la Universidad Central del Ecuador, se propuso analizar y contrastar el desempeño de mezclas asfálticas en caliente creadas con distintas proporciones de polímero SBS y RET en el cemento asfáltico modificado, en comparación con una mezcla asfáltica estándar. En ese escenario, se analizó la resistencia a la deformación en variadas temperaturas de funcionamiento mediante ensayos de estabilidad y flujo Marshall en mezclas asfálticas con un 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS, y con un 1 %, 1.3 %, 1.5 % y 2 % de polímero Elvaloy RET 4170, a temperaturas de 5 °C, 20 °C y 40 °C. Los datos indican que el nivel más eficiente de polímero SBS es del 3%, mientras que para el polímero RET es del 1.3%. Por tanto, se determina que las mezclas asfálticas con aditivos de polímero SBS y RET presentan notables mejoras comparadas con las mezclas estándar. Estas mejoras

se reflejan en una reducción significativa de la susceptibilidad térmica a temperaturas bajas y en una mayor resistencia a la deformación permanente, lo que resulta en una mayor elasticidad a altas temperaturas.

2.2. Bases teóricas o científicas

2.2.1. Asfalto

Es un compuesto bituminoso, hallado tanto en la naturaleza como creado artificialmente, y ha sido identificado como uno de los materiales de construcción más ancestrales usados por humanos. Esto se debe a su capacidad para impermeabilizar y aglutinar, permitiéndole resistir intensas presiones repentinas y fluir bajo cargas permanentes (Vásquez e Infante, 2016).

Este material se obtiene mediante la destilación del petróleo crudo y se mezcla con otras sustancias para mejorar sus propiedades. Gracias a esta modificación, se logra fortalecer el cemento asfáltico, haciéndolo más resistente a diversos factores como el tráfico vehicular, condiciones climáticas adversas y ambientes hostiles (Vásquez e Infante, 2016).

2.2.2. Mezcla asfáltica en caliente

El asfalto en caliente (MAC) es el material predominante para pavimentación en todo el mundo, pero además de este, se han desarrollado y empleado una variedad de mezclas y tecnologías asfálticas como el asfalto modificado con polímeros (PMA), el asfalto templado con espuma (WMA), el asfalto en frío (AC), el reciclaje en frío in situ (CIR) y diversas técnicas de tratamiento superficial como el sellado con agregados sueltos, la aplicación de lechada asfáltica y el

sellado con emulsión asfáltica, por nombrar algunas. Los estudios en laboratorio y campo, así como las prácticas de construcción, confirman que la calidad de los áridos de escoria es crucial para el éxito de un proyecto de construcción. Se ha comprobado que la incorporación de escoria de alta calidad en mezclas asfálticas se puede lograr mediante métodos y tecnologías convencionales, lo que mejora el rendimiento del pavimento asfáltico (Ogundipe, 2016; G. Wang, 2016)

2.2.3. Composición del asfalto

Estas mezclas son compuestas por hidrocarburos de diferentes pesos moleculares, que van desde bajos (alrededor de 300) hasta altos (más de 5000). Su composición química incluye cadenas de moléculas que contienen carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, azufre, así como complejos de vanadio, hierro, calcio, níquel y magnesio (Vásquez e Infante, 2016).

Según Estrada (2017) Estrada (2017) indica que los componentes del asfalto derivados del petróleo crudo varían en proporción, con un contenido de carbono que oscila entre el 82% y el 87%, hidrógeno entre el 9% y el 11%, nitrógeno entre el 0.2% y el 1.2%, azufre entre el 0.9% y el 5.3%, oxígeno entre el 0.2% y el 0.8%, y trazas de vanadio entre 4 y 1400 ppm y de níquel entre 0.4 y 110 ppm.

Igualmente, el asfalto se divide en dos componentes principales que emergen al diluirlo con heptano: los asfaltenos y los maltenos. Los primeros son insolubles en heptano y se segregan de los maltenos, estos últimos contribuyen al color y la firmeza del asfalto, presentando una

tonalidad negra o pardo oscuro, similar al polvo grueso de grafito. Por otro lado, los maltenos se disuelven en heptano, constituyendo líquidos viscosos formados por una mezcla de resinas (de color ámbar intenso) que proporcionan adherencia al asfalto, y aceites (de tono más claro) que actúan como vehículos para los asfaltenos y las resinas (Vásquez e Infante, 2016).

2.2.4. Propiedades mecánicas del asfalto

Las propiedades mecánicas más importantes que proporcionan los asfaltos en la construcción de carreteras, son:

- Susceptibilidad térmica: Esta característica posibilita evaluar cómo reacciona ante cambios de temperatura. Siendo viscoelástico, el material se vuelve rígido en condiciones frías y más maleable al aumentar la temperatura. Para garantizar la calidad en la construcción y mezcla, es crucial que el asfalto conserve una fluidez adecuada a temperaturas que no comprometan su integridad, facilitando así su aplicación sobre el agregado (López & Puma, 2017).
- Adhesión: Se refiere a la habilidad de cubrir las partículas en los agregados y mantenerlas unidas, en contraste con la cohesión que garantiza la unión sólida de las partículas de asfalto entre sí (López & Puma, 2017).
- Envejecimiento: El pavimento puede enfrentarse a prolongadas exposiciones a altas temperaturas, lo que provoca su endurecimiento mediante procesos de oxidación con el oxígeno.

Este endurecimiento aumentará la viscosidad del asfalto en comparación con su estado original, lo que alterará las propiedades de la mezcla (López & Puma, 2017).

- Durabilidad: Se analiza la estabilidad de las propiedades del asfalto después de someterlo a procesos de envejecimiento y manipulación, comparándolo con el asfalto en su estado original (López & Puma, 2017).

2.2.5. Propiedades físicas del asfalto

En la siguiente figura se especifica las propiedades físicas del asfalto en relación a su composición:

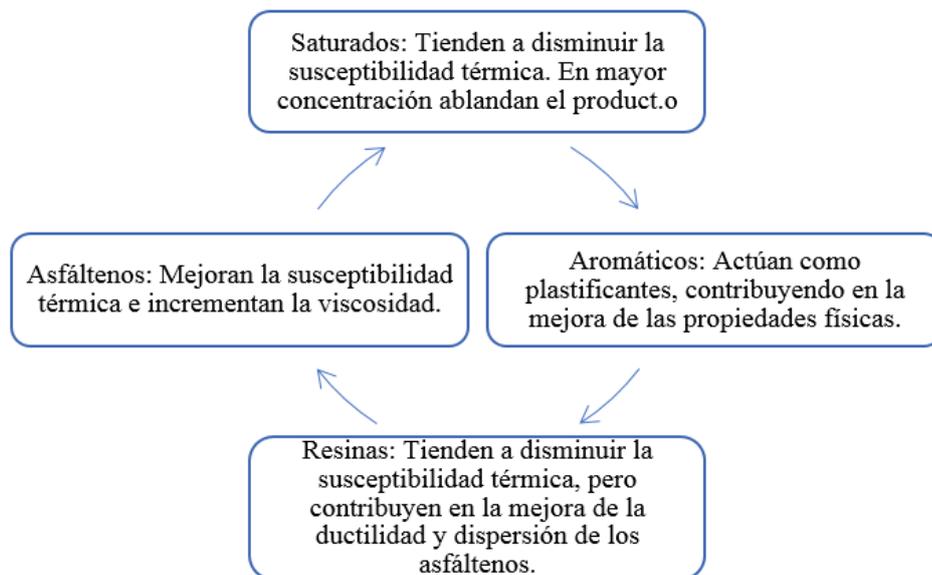


Figura 2.1. Propiedades físicas del asfalto en relación a su composición química. Fuente: En base a Estrada (2017).

2.2.6. Tipos de asfaltos

Cementos asfálticos

De acuerdo a Montejo (2002), este ligante asfáltico, denso y semisólido a temperatura ambiente, tiende a ser pegajoso y presenta un

tono que oscila entre el café oscuro y el negro. Estos productos se derivan de una técnica de fraccionamiento y destilación al vapor de los residuos más densos. Comercialmente, están disponibles en cinco categorías que varían según su grado de penetración, expresado en décimas de milímetros: PEN 40-50, PEN 60-70, PEN 85-100, PEN 120-150 y PEN 200-300.

Asfalto líquido

Se les llama asfaltos diluidos, que se obtienen al mezclar cemento asfáltico con un disolvente derivado del petróleo. Los asfaltos líquidos se dividen según la velocidad de evaporación del solvente en tres categorías: curado lento (SC), curado medio (MC) y curado rápido (RC). La fluidez está determinada por el tipo de cemento asfáltico, la volatilidad del solvente y la proporción entre solvente y cemento asfáltico (Montejo, 2002).

2.2.7. Requisitos de calidad de la mezcla asfáltica

Según lo indicado en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (MTC, 2013), se presenta lo siguiente:

Tabla 2.1. Requisitos de calidad de la mezcla asfáltica.

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	5.44kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01 ^{mm} (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423-10 (EG - 2013)		
Inmersión – Compresión (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 tracción indirecta AASHTO T 283	80 min.		

Fuente: Guía de vías: directrices técnicas universales para la edificación (MTC, 2013).

2.2.8. Determinación del contenido de asfalto

Según Vásquez e Infante (2016), al analizar la granulometría del material pétreo, es posible estimar de manera cercana el contenido de asfalto utilizando una fórmula específica:

$$P = 0.035A + 0.045B + KC + F$$

Donde:

A es el % retenido en la malla N° 8, B es el % pasante en la malla N° 8 y retenido en la malla N° 200, K depende del % pasante de la malla N° 200, siendo 0.15 (11 – 15 %), 0.18 (6 – 10 %), 0.20 (0 – 5 %), C es el % pasante de la malla N° 200 y F se encuentra entre 0 – 2 %, basado en absorción de luz o agregados gruesos.

2.2.9. Polímeros

Según Hermida (2011), los polímeros son estructuras de grandes dimensiones conformadas por cadenas de monómeros orgánicos, los

cuales se unen a través de enlaces covalentes. Las cadenas están principalmente constituidas por carbono y pueden contener grupos laterales o radicales que contengan uno o varios átomos.

Asimismo, se tiene que el añadir los polímeros a la mezcla asfáltica mejora la calidad de esta en cuanto al incremento de la estabilidad, resolviéndose así posible fallas y asegurando así el tiempo de vida útil de la vía (Eka Putri & Vasilsa, 2019; Putra Jaya et al., 2018).

2.2.10. Clasificación de los polímeros

Según su origen:

- **Naturales:** Estas son sustancias generadas por seres vivos y utilizadas en su forma original. Ejemplos incluyen proteínas, polisacáridos y caucho natural. (Vásquez e Infante, 2016).
- **Sintéticos:** Estas grandes moléculas fabricadas de manera artificial se clasifican en dos grupos en función de su reacción al calor: termoplásticos y termoestables. El primer material se vuelve blando o se derrite cuando se calienta, y puede disolverse en solventes apropiados. Por otro lado, el segundo material no se descompone al calentarse, ya que no puede fundirse ni disolverse debido a sus complejas estructuras tridimensionales con entrelazamiento (Vásquez e Infante, 2016).

Según su estructura

De acuerdo a Vásquez e Infante (2016) existen cinco tipos

principales de polímeros: los lineales (que consisten en una cadena continua), los ramificados (que presentan cadenas laterales unidas a la cadena principal), los entrecruzados (que forman enlaces entre cadenas adyacentes), los homopolímeros (compuestos por unidades de monómeros idénticos) y los copolímeros (formados por dos o más tipos distintos de monómeros).

Para uso vial

Existen dos categorías principales de materiales: termoendurecibles y termoplásticos:

Termo-endurecibles. –Según Montejo (2002), La formación ocurre mediante la reacción química entre una base y un endurecedor, generando una estructura reticulada que evita su reutilización para futuras reacciones. Los tipos de resinas más comunes incluyen las resinas epoxi, que contienen agentes de endurecimiento para mejorar su resistencia, se utilizan en concentraciones superiores al 20%. También está el poliuretano, similar a las resinas epoxi pero adecuado para aplicaciones a temperaturas más bajas y en capas delgadas. Por último, se encuentran los poliésteres, que son menos frecuentes en comparación con las otras opciones mencionadas.

Termo-plásticos. –De acuerdo a Montejo (2002), estos son polímeros solubles que se vuelven más blandos al calentarse, llegando incluso a fluir. Principalmente están compuestos por polímeros lineales o ligeramente ramificados, y se clasifican en dos grupos:

- **Plastómeros:** Estos polímeros, al exceder su límite de fluencia bajo tensión, no logran volver a su longitud original una vez que cesa la fuerza aplicada. Muestran comportamiento pseudoplástico con una elasticidad disminuida. Algunos ejemplos típicos son el polietileno, el polipropileno atáctico (EPDM) y el EVA (Etileno - Acetato de Vinilo).

- **Elastómeros:** Estos polímeros, al exceder su límite de fluencia bajo tensión, no logran volver a su longitud original una vez que cesa la fuerza aplicada. Muestran comportamiento pseudoplástico con una elasticidad disminuida. Algunos ejemplos típicos son el polietileno, el polipropileno atáctico (EPDM) y el EVA (Etileno - Acetato de Vinilo). El SBS, conocido como Estireno-Butadieno-Estireno, es una variedad de caucho termoplástico ampliamente empleado en la producción de adhesivos y asfalto. La combinación de sus elementos, el estireno y el butadieno, genera una composición donde el estireno constituye una fase rígida mientras que el butadieno conforma una fase elástica (Montejo, 2002).

2.2.11. Asfaltos modificados

De acuerdo con la investigación de Vásquez e Infante (2016), los asfaltos modificados surgen debido a que los asfaltos convencionales no pueden soportar los efectos del clima y el aumento del tráfico, por lo que es esencial alterar su composición para mejorar cualidades como la adherencia, la resistencia al envejecimiento y la sensibilidad térmica; Sin embargo, la modificación del asfalto también puede acarrear

consecuencias adversas. Por lo tanto, se emplean polímeros para lograr diversas propiedades deseadas:

Para mejorar el rendimiento del pavimento, es crucial fortalecer el cemento asfáltico para resistir altas temperaturas y así prevenir el hundimiento, mientras que también se busca hacer las mezclas más flexibles a temperaturas bajas para evitar que se formen grietas por cambios térmicos. Se pretende también incrementar la resistencia a la fatiga y la abrasión de las mezclas de asfalto y mejorar la unión entre el ligante y el agregado para reducir la pérdida de adherencia y el deterioro con el tiempo. Estas mejoras se logran mediante la optimización de los procesos de colocación y compactación, el aumento de las propiedades elásticas del cemento asfáltico y permitiendo una mayor cantidad de ligante alrededor de las partículas del agregado para hacerlas más duraderas. Estas medidas, además de reducir la probabilidad de exudación y permitir capas estructurales más delgadas, contribuyen al mejor desempeño general del pavimento.

2.2.12. Mezcla asfáltica

Método MARSHALL

El método de diseño de mezclas Marshall de los pavimentos asfálticos, se basa de forma tradicional de determinar los parámetros correspondientes y el contenido óptimo de betún suele implicar procedimientos de laboratorio complicados, largos y costosos (Zhang et al., 2021)

A pesar de esto, se emplea como técnica para diseñar y regular la composición de mezclas asfálticas densas y calientes en la construcción de carreteras. Inicialmente diseñado para agregados de hasta 25 mm, se ha evolucionado al método Marshall modificado, permitiendo el diseño con agregados de hasta 38 mm (López y Puma, 2017).

Mientras que, Anwar (2016) el propósito principal del ensayo Marshall es definir la cantidad óptima de ligante requerida para una mezcla específica de áridos y betún. No obstante, Alawi y Rajab (2020) señalan que la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico puede lograrse mediante el análisis de estabilidad y cociente Marshall, utilizando tecnologías de redes neuronales que ofrecen modelos estadísticos para sistemas intrínsecamente no lineales. Esto se debe a que estas tecnologías demuestran un mejor rendimiento en contextos complejos.

Estabilidad y flujo

Se emplea la prensa Marshall para evaluar la estabilidad de la mezcla una vez endurecida, donde la máxima carga que puede soportar representa la estabilidad, mientras que el flujo indica la deformación bajo esa carga máxima (Estrada, 2017).

Asimismo, Saffarzadeh y Heidaripناه (2009) destacan que la estabilidad Marshall es fundamental en el diseño de mezclas y el control de calidad. Esta propiedad está influida por diversos factores, como la gradación, la proporción de áridos triturados, el contenido de asfalto y la ejecución de la construcción.

Densidad específica máxima – RICE

Se emplea un matraz Kitasato con capacidad adecuada para contener la mezcla asfáltica destinada a la extracción de Rice, previamente se lleva a cabo su calibración a una temperatura de 25 °C (Estrada, 2017).

Es importante destacar que el filler es un componente clave en la mezcla asfáltica para contrarrestar la deformación del pavimento y protegerlo de los daños causados por la humedad (Aljassar, Metwali, & Ali, 2004).

2.3. Marco conceptual

Adherencia: La adherencia es la capacidad inherente de los agentes aglutinantes para unir de manera efectiva diversos elementos entre sí, creando así una conexión sólida y duradera. Este fenómeno se manifiesta en la capacidad de sostener y mantener cohesionadas las partes involucradas, garantizando así la integridad y estabilidad de la estructura (Rengifo y Vargas, 2017).

Bitumen: Esta sustancia de tono oscuro, con propiedades aglutinantes, se presenta en varias formas, ya sea sólida, semi-sólida o con una consistencia viscosa. Su color negro característico sugiere una densidad y cohesión que pueden variar según su estado físico (Rengifo y Vargas, 2017).

Caucho: En su forma natural, este compuesto se presenta como un hidrocarburo blanco e incoloro, con una composición química representada por la fórmula C_5H_8 . A medida que la temperatura asciende por encima de los 200 °C, experimenta un proceso de descomposición (Salamanca, 2018).

Estabilidad: La resistencia de un material se define por su capacidad para soportar fuerzas sin experimentar deformaciones significativas (Chávez, 2017).

Espécimen de muestra: Se refiere a aquel que respalda el enfoque propuesto por Marshall, conforme a las directrices establecidas por la norma ASTM D 1559 (Eme, Nwofor, & State, 2015).

Filler: Este material debe tener una granulometría que garantice que al menos el 65% de él pase a través de la malla número 200, cuyo tamaño de apertura es de 0.075 mm. (Estrada, 2017).

Flujo: El flujo es la alteración experimentada en comparación con la forma original de un material, y esta modificación está influenciada por la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, el material tiende a volverse más maleable, permitiendo un mayor grado de deformación. Por otro lado, a temperaturas más bajas, la rigidez del material se incrementa, lo que dificulta su capacidad para fluir o deformarse fácilmente. En resumen, la flexibilidad del material varía inversamente con la temperatura, siendo más alta cuando la temperatura es mayor y viceversa (Chávez, 2017).

Mezcla asfáltica en caliente: La mezcla asfáltica en caliente es un compuesto altamente empleado para el deterioro de la capa superficial del pavimento flexible. Está constituido principalmente por una combinación de áridos de diferentes tamaños y la masilla asfáltica, que engloba el ligante asfáltico, los áridos más finos y el material de relleno (Mistry & Roy, 2020).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

La influencia del polímero SBS mejora significativamente las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente.

3.2. Hipótesis específicas

- a) El diseño de mezcla asfáltica en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS es aquel que cumple con los requerimientos que establece el Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para la construcción del MTC.
- b) La influencia del polímero SBS no es significativa en los porcentajes de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico las mezclas asfálticas en caliente.
- c) La influencia del polímero SBS es favorable en la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en caliente.

3.3. Variables

3.3.1. Definición conceptual de las variables

Variable independiente: Polímero SBS. – Están compuestos por una fase dura proporcionada por el Estireno y una fase elástica

proporcionada por el butadieno, a diferentes grados de cristalización (Montejo, 2002).

Variable dependiente: Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente. – Son características de medibles; pudiendo ser físicas o mecánicas; además indica la calidad de una vía (Reyes, 2003)

3.3.2. Operacionalización de las variables

La Tabla 3.1 Exhibe las dimensiones indicadores de las variables analizadas en este estudio:

Tabla 3.1. Operacionalización de las variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
Variable independiente: Polímero SBS	Están compuestos por una fase dura proporcionada por el Estireno y una fase elástica proporcionada por el butadieno, a diferentes grados de cristalización (Montejo, 2002).	Se utilizó 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.	Características físicas del polímero SBS	Peso específico Densidad Bulk Gravedad específica	ASTM D 1895 ASTM D 1895 ISO 2781	De intervalo continuo
			Características mecánicas del polímero SBS	Dureza Caudal de fusión Elongación de rotura	ASTM D 2240 ISO 37 ISO 37	De intervalo continuo
			Cantidad de polímero SBS	Adición de 1 % de polímero SBS Adición de 2 % de polímero SBS Adición de 3 % de polímero SBS Adición de 4 % de polímero SBS	Balanza	De intervalo continuo
			Diseño de mezcla	Porcentaje óptimo de asfalto Granulometría de agregados Número de golpes para compactación	Aparato Marshall Tamices Martillo compactador	De intervalo continuo
Variable dependiente: Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente	Son características de medibles; pudiendo ser físicas o mecánicas; además indica la calidad de una vía (Reyes, 2003)	Se consideró el diseño de mezcla, las propiedades físicas y mecánicas, para cada uno de los grupos de mezclas asfálticas.	Propiedades físicas	Porcentaje de vacíos. Vacíos de material agregado compactado. Vacíos llenos de cemento asfáltico. Relación polvo/asfalto Peso específico	Aparato Marshall	De intervalo continuo
			Propiedades mecánicas	Estabilidad Flujo Estabilidad/flujo	Aparato Marshall	De intervalo continuo

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Método de investigación

Según lo mencionado por Tamayo (2003), el método científico es el proceso que se emplea para investigar y entender las circunstancias que rodean eventos específicos. Este enfoque se caracteriza por su carácter exploratorio y su capacidad para ser sometido a prueba, basado en la observación directa y un análisis lógico detallado.

Por lo tanto, el estudio se basó en el método científico, donde se llevaron a cabo los pasos fundamentales como la observación detallada, la formulación precisa del problema, la elaboración de hipótesis y la realización de experimentos en laboratorio utilizando mezclas asfálticas enriquecidas con polímeros SBS. Esto permitirá una validación rigurosa de los resultados obtenidos.

4.2. Tipo de investigación

La investigación aplicada, de acuerdo a Sabino (1992), la investigación aplicada se materializa cuando se aplican las teorías generales en situaciones prácticas para abordar las demandas y desafíos de la sociedad humana. Este enfoque implica llevar a cabo investigaciones que no solo contribuyan al conocimiento teórico, sino que también ofrezcan soluciones tangibles y prácticas a los problemas que enfrenta la humanidad.

Por consiguiente, en este estudio se emplearon varios conceptos y teorías previas para abordar la cuestión de investigación, incluyendo pautas y criterios técnicos delineados por las Normas Técnicas Peruanas y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en sus manuales respectivos.

4.3. Nivel de investigación

El nivel explicativo se enfoca en investigar las razones y consecuencias de un fenómeno particular bajo análisis, profundizando en las relaciones causales que lo rodean (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Por lo tanto, este estudio analizó la variabilidad en las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas al alterar su composición mediante la inclusión de diversas proporciones de polímero SBS.

4.4. Diseño de la investigación

Según Bernal (2010), el diseño de investigación experimental se presenta cuando el investigador manipula deliberadamente la variable independiente para conocer los efectos que se producen en la o las variables dependientes.

En este estudio, se experimentó con la variable independiente (polímero SBS) variando sus concentraciones (1 %, 2 %, 3 % y 4 % respecto al peso total) en la mezcla asfáltica caliente, con el fin de examinar su influencia en la variable dependiente (características de la mezcla asfáltica caliente), abarcando aspectos como el diseño de la mezcla, sus propiedades mecánicas y físicas.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

El conjunto de muestras seleccionadas para este estudio incluyó dos tipos de mezclas asfálticas en caliente: la variante estándar y la versión con incorporación de polímero SBS. Estas mezclas se distinguieron por el porcentaje de polímero añadido, que varió del 1% al 4%.

4.5.2. Muestra

La elección de las muestras se llevó a cabo mediante un método de selección no aleatorio intencional o dirigido, que consistió en 12 briquetas de la mezcla asfáltica en caliente convencional (que estableció el contenido óptimo de asfalto. Además, se incluyeron 12 briquetas adicionales elaboradas con la misma mezcla, pero con adiciones de polímero SBS en diferentes concentraciones: 1 %, 2 %, 3 % y 4 %. Esto resultó en un conjunto total de 24 briquetas de prueba, con 3 briquetas para cada nivel de adición de polímero.

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1. Técnicas de recolección de datos

Observación directa. – Se llevó a cabo mediante una minuciosa observación, que implicó analizar detalladamente las características físicas y mecánicas de las muestras ensayadas, teniendo en cuenta tanto sus aspectos visibles como aquellos relacionados con su funcionamiento.

Análisis de documentos. – Esta metodología implica recopilar información, ya sea de fuentes impresas o electrónicas, y es especialmente relevante para esta investigación porque guiará la realización de cada experimento de manera efectiva y precisa.

4.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Se emplearon herramientas normalizadas y validadas para recolectar información acerca de las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, asegurando de esta manera la exactitud y confiabilidad de los resultados alcanzados. Estos dispositivos fueron seleccionados meticulosamente por su capacidad probada para proporcionar mediciones precisas y consistentes, lo que asegura la calidad y confiabilidad de los datos recopilados.

4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En el enfoque cuantitativo de la investigación, se empleó una metodología de procesamiento y análisis de datos que comprendió la desviación estándar, el promedio y las variaciones porcentuales. Esta metodología permitió examinar con detalle la información recopilada, ofreciendo una comprensión más profunda de los datos en términos de su dispersión, tendencia central y cambios relativos.

Además, se empleó el análisis estadístico inferencial para verificar las hipótesis planteadas, evaluando primero la distribución normal de los datos, como se detalla en la Tabla 4.1 Posteriormente, se seleccionó la prueba

ANOVA de un factor como método adecuado para realizar la comparación, como se explicará en la sección 5.2. del presente informe

Tabla 4.1. Normalidad de los datos obtenidos en cuanto a propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas.

Grupos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de vacíos	MAC+1%SBS	0.75	3.00	0.00
	MAC+2%SBS	0.92	3.00	0.46
	MAC+3%SBS	0.89	3.00	0.36
	MAC+4%SBS	1.00	3.00	1.00
Vacíos de material agregado compactados	MAC+1%SBS	0.75	3.00	0.00
	MAC+2%SBS	0.92	3.00	0.46
	MAC+3%SBS	0.89	3.00	0.36
	MAC+4%SBS	0.92	3.00	0.46
Vacíos llenos de cemento asfáltico	MAC+1%SBS	0.87	3.00	0.30
	MAC+2%SBS	0.87	3.00	0.30
	MAC+3%SBS	0.88	3.00	0.31
	MAC+4%SBS	0.98	3.00	0.71
Peso específico	MAC+1%SBS	0.75	3.00	0.00
	MAC+2%SBS	0.89	3.00	0.36
	MAC+3%SBS	0.87	3.00	0.30
	MAC+4%SBS	0.98	3.00	0.70
Estabilidad	MAC+1%SBS	0.80	3.00	0.11
	MAC+2%SBS	0.95	3.00	0.55
	MAC+3%SBS	0.92	3.00	0.44
	MAC+4%SBS	0.98	3.00	0.71
Flujo	MAC+1%SBS	0.75	3.00	0.00
	MAC+2%SBS	0.75	3.00	0.00
	MAC+3%SBS	0.75	3.00	0.00
Estabilidad/flujo	MAC+1%SBS	0.99	3.00	0.83
	MAC+2%SBS	0.97	3.00	0.64
	MAC+3%SBS	0.95	3.00	0.57
	MAC+4%SBS	0.98	3.00	0.70

4.8. Aspectos éticos de la investigación

Durante el curso de esta investigación, se ha priorizado el respeto y cuidado hacia el entorno natural y su diversidad biológica, garantizando que no se hayan visto afectados de ninguna manera. Además, se ha puesto un énfasis fundamental en asegurar el bienestar y la integridad de todos los individuos que han participado en el estudio, respetando sus derechos y velando por su seguridad en todo momento.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Descripción de resultados

5.1.1. Diseño de mezcla

Antes de examinar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, se realizó un procedimiento para determinar el nivel óptimo de ligante asfáltico. Esto implicó la realización de cuatro dosificaciones variando entre 4.40 % y 5.90 %, cuyos detalles se encuentran en la Tabla 5.1 hasta la Tabla 5.4.

Tabla 5.1. La primera aplicación de la mezcla de asfalto para calcular la cantidad de aglutinante asfáltico presente.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico		4.40	
% efectivo de asfalto		3.95	
Relación polvo/Asfalto		0.60	
Vacíos de material agregado compactados (%)	15.50	15.90	15.90
Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)	58.30	56.70	56.70
Flujo 0.01" (mm)	13.00	13.00	12.00
Estabilidad corregida (kg)	1144.00	1126.00	1116.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	3520.00	3463.00	3721.00
Peso específico (g/cm ³)	2.34	2.33	2.33
% de vacíos	6.50	6.90	6.90

Tabla 5.2. La segunda aplicación de la mezcla de asfalto con el fin de determinar la cantidad exacta de aglutinante asfáltico presente.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico		4.90	
% efectivo de asfalto		4.40	
Relación polvo/Asfalto		0.70	
Vacíos de material agregado compactados (%)	15.20	15.10	15.70
Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)	67.00	67.20	64.60
Flujo 0.01" (mm)	14.00	13.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1220.00	1228.00	1201.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	3485.00	3779.00	3432.00
Peso específico (g/cm ³)	2.36	2.36	2.35
% de vacíos	5.00	5.00	5.60

Tabla 5.3. Realizar la tercera aplicación de la combinación de asfalto para analizar y establecer la cantidad de aglutinante asfáltico presente.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico	5.40		
% efectivo de asfalto	4.75		
Relación polvo/Asfalto	0.70		
Vacíos de material agregado compactados (%)	15.30	15.30	15.00
Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)	72.10	71.90	74.00
Flujo 0.01" (mm)	14.00	15.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1131.00	1095.00	1066.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	3232.00	2920.00	3045.00
Peso específico (g/cm ³)	2.37	2.37	2.38
% de vacíos	4.30	4.30	3.90

Tabla 5.4. La cuarta aplicación de la combinación asfáltica para analizar la cantidad de aglutinante asfáltico presente.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico	5.90		
% efectivo de asfalto	5.18		
Relación polvo/Asfalto	0.80		
Vacíos de material agregado compactados (%)	15.80	16.00	16.10
Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)	76.20	74.70	74.60
Flujo 0.01" (mm)	15.00	14.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1011.00	942.00	980.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	2696.00	2692.00	2801.00
Peso específico (g/cm ³)	2.37	2.36	2.36
% de vacíos	3.80	4.10	4.10

De esta manera, se consiguió alcanzar un contenido ideal de 5.50% de ligante asfáltico, correspondiente a la mezcla estándar de asfalto. Las propiedades de esta combinación se detallan en el cuadro que sigue:

Tabla 5.5. Atributos de la mezcla de asfalto estándar.

Característica	Valores obtenidos
Cemento asfáltico en la mezcla (%)	5.50
Peso específico (g/cm ³)	2.37
Porcentaje de vacíos (%)	4.00
Vacíos de material agregado compactados (%)	15.40
Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)	72.00
Flujo (mm)	14.00
Estabilidad (Kg)	1064.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	3039.00
Relación polvo/asfalto	0.70

Una vez alcanzada la composición ideal de cemento asfáltico, se avanzó en la elaboración de otros tipos de mezclas asfálticas. Estas variaban en la proporción de polímero SBS añadido, con incrementos del 1 %, 2 %, 3 % y 4 %, conforme detalla la Tabla 12 hasta la Tabla 15.

Tabla 5.6. Propiedades de la mezcla asfáltica que contiene un aditivo de polímero SBS al 1%.

Características	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico		5.50	
% efectivo de asfalto		4.92	
Relación polvo/Asfalto		0.70	
Vacios de material agregado compactados (%)	15.90	15.80	15.80
Vacios llenos de cemento asfáltico (%)	73.00	73.50	73.60
Flujo 0.01" (mm)	13.00	14.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1219.00	1141.00	1214.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	3751.00	3260.00	3468.00
Peso específico (g/cm ³)	2.36	2.36	2.36
% de vacíos	4.30	4.20	4.20

Tabla 5.7. Atributos de la mezcla asfáltica que contiene un 2% de aditivo de polímero SBS.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico		5.50	
% efectivo de asfalto		5.11	
Relación polvo/Asfalto		0.80	
Vacios de material agregado compactados (%)	16.10	16.20	16.50
Vacios llenos de cemento asfáltico (%)	74.60	74.30	72.80
Flujo 0.01" (mm)	15.00	14.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1370.00	1358.00	1399.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	3652.00	3881.00	3997.00
Peso específico (g/cm ³)	2.35	2.35	2.34
% de vacíos	4.10	4.20	4.50

Tabla 5.8. Propiedades de la mezcla asfáltica que incluye un 3% de aditivo de polímero SBS.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico		5.50	
% efectivo de asfalto		5.28	
Relación polvo/Asfalto		0.80	
Vacios de material agregado compactados (%)	16.80	16.70	16.30
Vacios llenos de cemento asfáltico (%)	73.60	74.00	75.90
Flujo 0.01" (mm)	13.00	14.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1525.00	1554.00	1516.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	4692.00	4440.00	4331.00
Peso específico (g/cm ³)	2.33	2.33	2.34
% de vacíos	4.40	4.30	3.90

Tabla 5.9. Atributos de la mezcla asfáltica que incorpora un 4% de aditivo de polímero SBS.

Característica	Valores obtenidos		
% de cemento asfáltico		5.50	
% efectivo de asfalto		5.35	
Relación polvo/Asfalto		0.80	
Vacíos de material agregado compactados (%)	16.80	16.40	16.70
Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)	72.60	74.50	73.30
Flujo 0.01" (mm)	14.00	14.00	14.00
Estabilidad corregida (kg)	1640.00	1692.00	1673.00
Estabilidad / Flujo (kg/cm)	4686.00	4834.00	4780.00
Peso específico (g/cm ³)	2.33	2.34	2.33
% de vacíos	4.60	4.20	4.40

5.1.2. Efecto del polímero SBS en las características físicas de las mezclas de asfalto

Porcentaje de vacíos

En la Tabla 5.10 exhibe los resultados de los niveles de vacíos encontrados en diversas combinaciones de mezclas asfálticas en caliente. Destaca que el porcentaje medio de vacíos para el MAC estándar fue de aproximadamente 4%, mientras que para el MAC con una adición del 1% de SBS fue de 4.23%, del 2% fue de 4.27%, del 3% fue de 4.20%, y del 4% fue de 4.40%.

Tabla 5.10. Proporción de espacios vacíos presentes en las combinaciones de asfalto que se calientan.

Muestras	Porcentaje de vacíos (%)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00	0.00
MAC+1%SBS	4.30	4.20	4.20	0.06	4.23	5.83
MAC+2%SBS	4.10	4.20	4.50	0.21	4.27	6.67
MAC+3%SBS	4.40	4.30	3.90	0.26	4.20	5.00
MAC+4%SBS	4.60	4.20	4.40	0.20	4.40	10.00

Según la figura adjunta, se observa un aumento en los vacíos dentro de las mezclas asfálticas en caliente a medida que se aumenta la cantidad de polímero SBS. Es importante destacar que en todos los casos se cumple con los estándares establecidos en el Manual de Carreteras del MTC, donde se especifica un rango mínimo del 3% y un máximo del 5% para el contenido de vacíos.

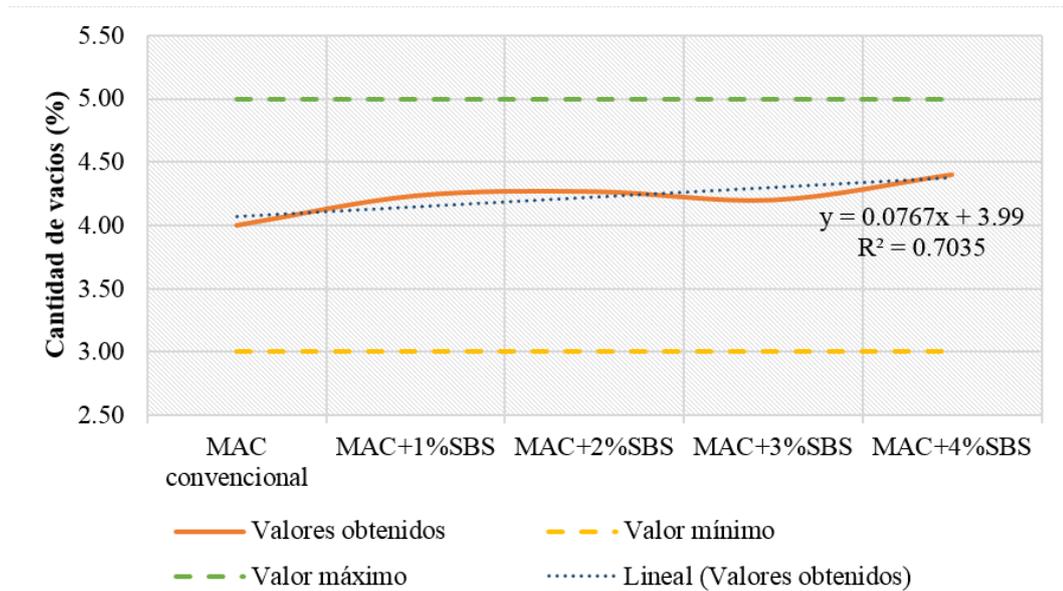


Figura 5.1. Tasa de vacíos en las combinaciones de asfalto calientes.

Según la Figura 5.2, cuando se incorpora un 1% de polímero SBS, se observa un aumento del 5.83% en los vacíos de la mezcla asfáltica en caliente. Aumentar la dosis al 2% produce un incremento del 6.67%, mientras que al emplear un 3% se logra un incremento del 5%. Finalmente, al agregar un 4% de SBS, el aumento en los vacíos alcanza el 10% en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

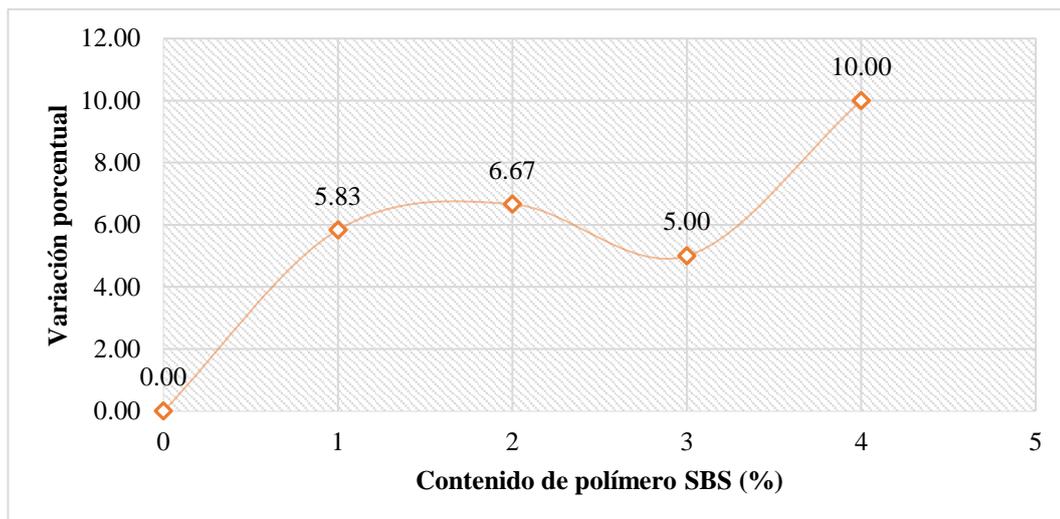


Figura 5.2. Cambios en el porcentaje de vacíos presentes en las combinaciones de asfalto caliente.

Vacíos de material agregado compactados

De la misma manera, en la Tabla 5.11 aborda los hallazgos relacionados con los espacios vacíos de agregados compactados dentro de las mezclas asfálticas, junto con los valores promedio y las fluctuaciones porcentuales asociadas.

Tabla 5.11. Los espacios vacíos entre los materiales agregados que están comprimidos dentro de las mezclas de asfalto caliente.

Muestras	Vacíos de material agregado compactados (%)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	15.40	15.40	15.40	0.00	15.40	0.00
MAC+1%SBS	15.90	15.80	15.80	0.06	15.83	2.81
MAC+2%SBS	16.10	16.20	16.50	0.21	16.27	5.63
MAC+3%SBS	16.80	16.70	16.30	0.26	16.60	7.79
MAC+4%SBS	16.80	16.40	16.70	0.21	16.63	8.01

De acuerdo a la Figura 5.3, Según se muestra en la Figura 5.3, para la mezcla asfáltica estándar, se registró un porcentaje de vacíos del 15.40%. Sin embargo, al agregar 1%, 2%, 3% y 4% de SBS, estos porcentajes aumentaron progresivamente a 15.83%, 16.27%, 16.60% y 16.63% respectivamente.

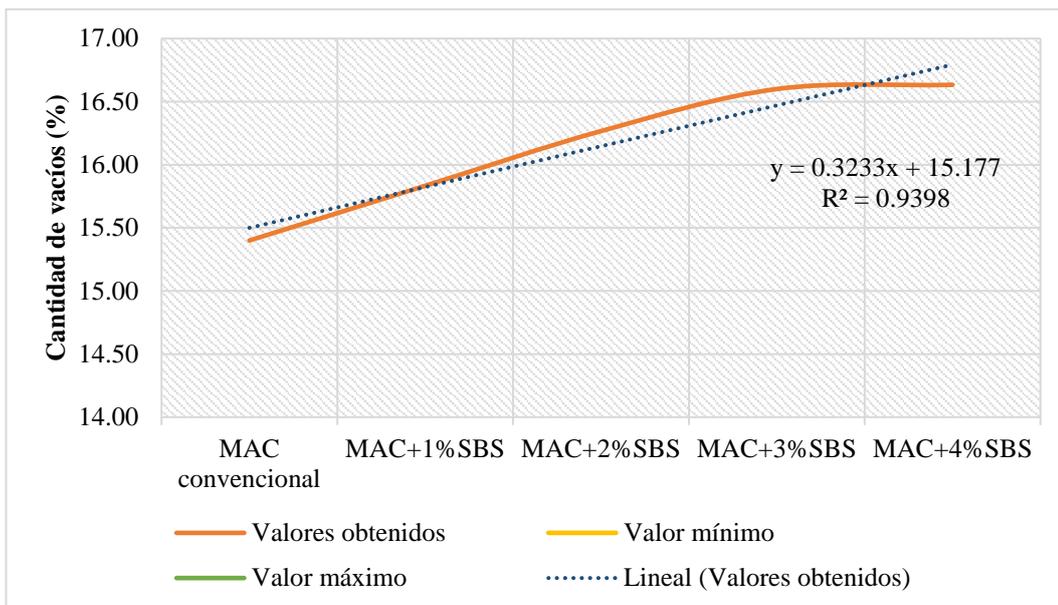


Figura 5.3. Los vacíos formados por el material agregado que ha sido compactado dentro de las mezclas de asfalto caliente.

En la Figura 5.4 se observa que al agregar un 1 % de SBS, los vacíos en el material compactado aumentaron en un 2.81 %. Este incremento se elevó al 5.63 % con un 2 % de SBS, alcanzando un 7.79 % con un 3 % de SBS, y finalmente, con un 4 % de SBS, se registró un aumento del 8.01 % en comparación con la mezcla asfáltica estándar.

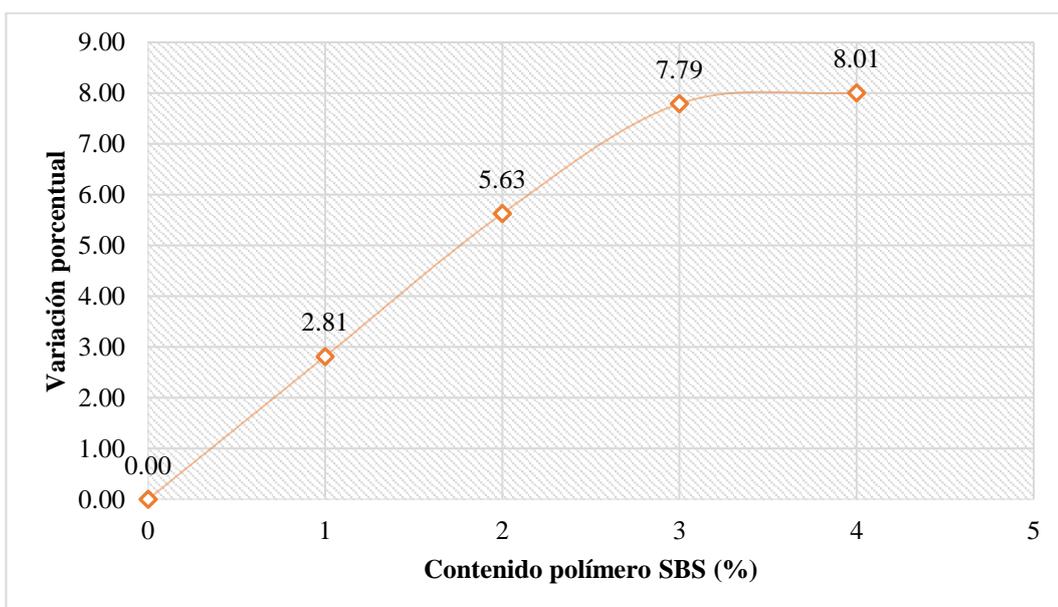


Figura 5.4. Cambios en la cantidad de espacio vacío entre los materiales agregados que han sido compactados dentro de las mezclas de asfalto caliente.

Vacíos llenos de cemento asfáltico

La Tabla 5.12 detallan los niveles de vacíos rellenos con cemento asfáltico en diversas combinaciones de mezclas asfálticas preparadas en caliente.

Tabla 5.12. Los espacios ocupados por el cemento asfáltico dentro de las mezclas de asfalto caliente.

Muestras	Vacíos llenos de cemento asfáltico (%)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	72.00	72.00	72.00	0.00	72.00	0.00
MAC+1%SBS	73.00	73.50	73.60	0.32	73.37	1.90
MAC+2%SBS	74.60	74.30	72.80	0.96	73.90	2.64
MAC+3%SBS	73.60	74.00	75.90	1.23	74.50	3.47
MAC+4%SBS	72.60	74.50	73.30	0.96	73.47	2.04

Con la Figura 5.5 sugiere que el aumento en los vacíos llenos de cemento asfáltico en las mezclas asfálticas en caliente está directamente relacionado con el contenido de polímeros SBS. En el caso de la mezcla asfáltica convencional con un 72 % inicial, se observa un incremento marcado a 73.37 %, 73.90 %, 74.50 % y 73.47 % al incorporar 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de SBS, respectivamente.

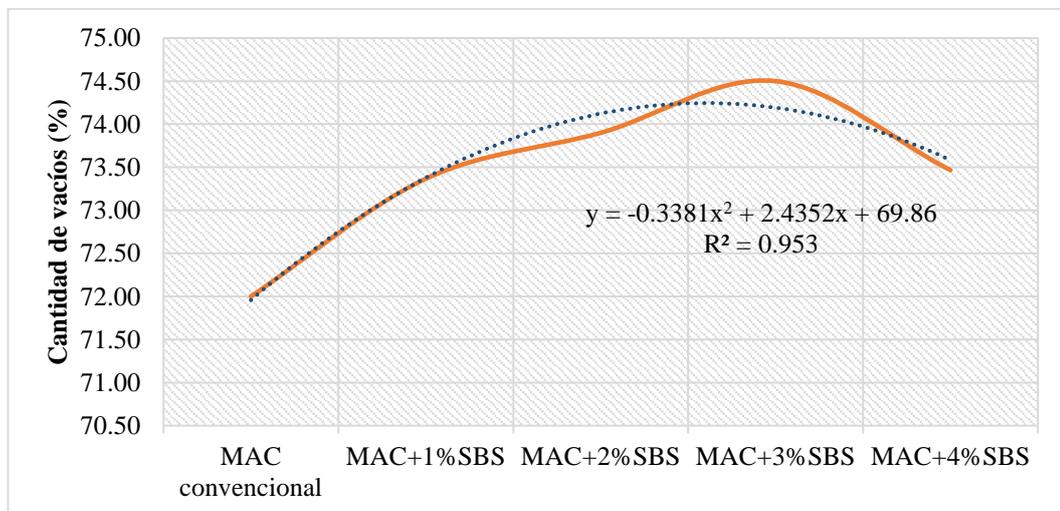


Figura 5.5. Los espacios ocupados por el cemento asfáltico en las mezclas de asfalto caliente.

La adición de polímeros SBS al cemento asfáltico aumenta los espacios llenos en un 1.90 %, 2.64 % y 3.47 % con 1 %, 2 % y 3 % respectivamente. Pero con un 4 % de SBS, hay una reducción del aumento del 2.04 % en comparación con el asfalto tradicional.

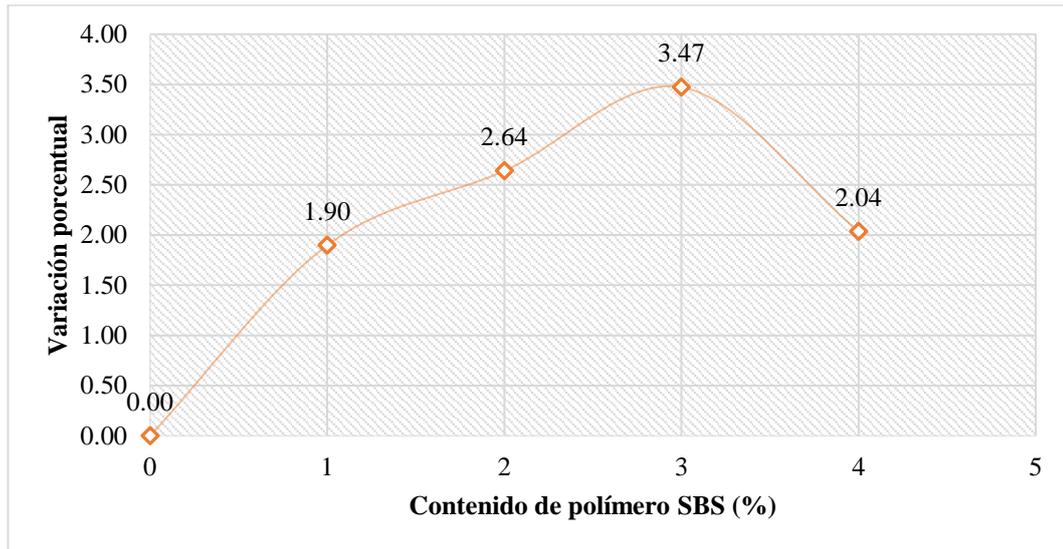


Figura 5.6. Alteración de los espacios vacíos rellenos con cemento asfáltico dentro de las mezclas asfálticas que están siendo calentadas.

Relación polvo/asfalto

En la Tabla 5.13 esta tabla ofrece una visión detallada de la distribución de componentes en mezclas asfálticas, esencial para comprender su comportamiento y propiedades en diversas condiciones:

Tabla 5.13. Proporción entre el polvo y el asfalto presentes en las mezclas asfálticas que se encuentran en estado caliente.

Muestras	Relación polvo/asfalto			Desviación estándar	Promedio	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	0.70	0.70	0.70	0.00	0.70	0.00
MAC+1%SBS	0.70	0.70	0.70	0.00	0.70	0.00
MAC+2%SBS	0.80	0.80	0.80	0.00	0.80	14.29
MAC+3%SBS	0.80	0.80	0.80	0.00	0.80	14.29
MAC+4%SBS	0.80	0.80	0.80	0.00	0.80	14.29

De acuerdo a la Figura 5.7 tanto la relación polvo/asfalto de la MAC convencional como la de la MAC con un 1% de SBS fueron de 0.70. Esta proporción aumentó a 0.80 en el caso de la MAC con un 2%, 3% y 4% de polímeros de SBS. Además, es importante destacar que esta relación cumple con los estándares establecidos en el Manual de Carreteras del MTC, que especifica un rango mínimo de 0.60 y máximo de 1.30.

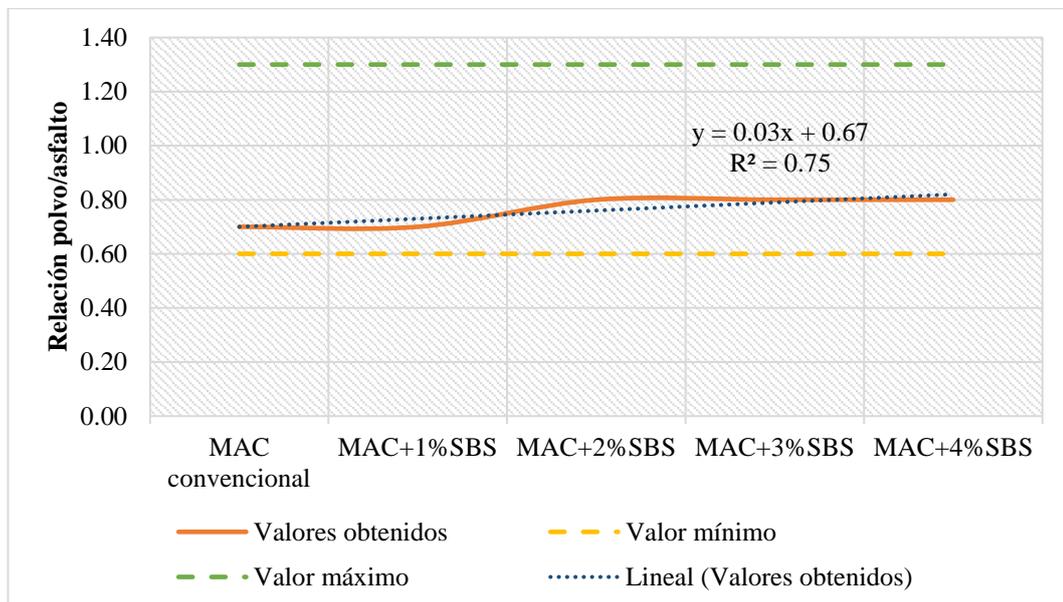


Figura 5.7. La proporción de polvo con respecto al asfalto en las mezclas asfálticas mientras están siendo calentadas.

En base a la Figura 5.8 cuando se incorpora un 1 % de SBS, no se observa ningún cambio en la proporción de polvo/asfalto, pero al aumentar la concentración a 2 %, 3 % y 4 % de SBS, se registra un incremento del 14.29 % en relación a la mezcla asfáltica estándar.

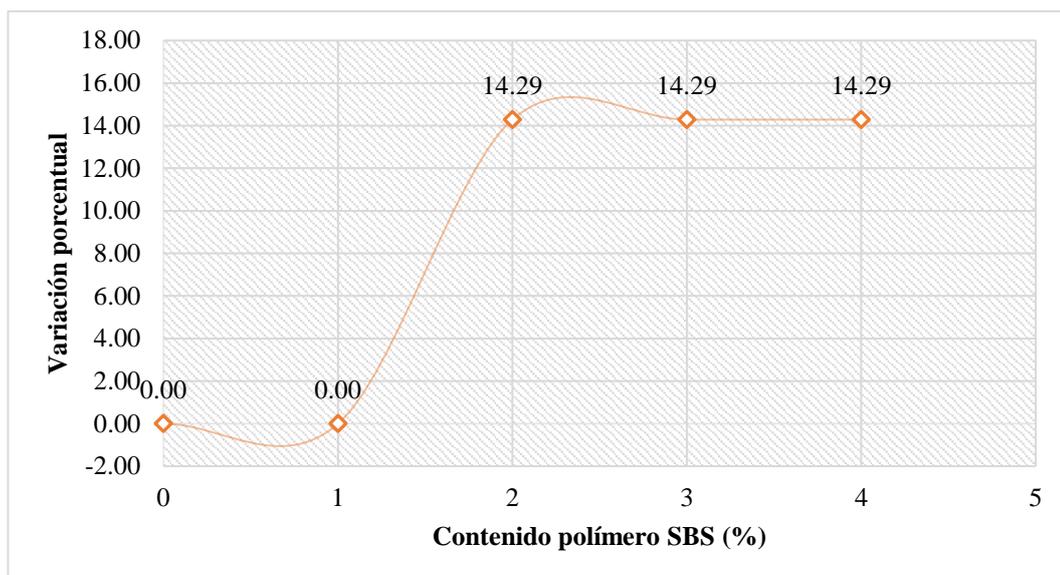


Figura 5.8. Cambios en la proporción entre el polvo y el asfalto en las mezclas asfálticas durante su calentamiento.

Peso específico

Consecuentemente, en la Tabla 5.14 los datos relativos al peso específico de las distintas mezclas asfálticas en caliente, los cuales han sido obtenidos mediante la evaluación de cada una de estas combinaciones.

Tabla 5.14. Densidad en las mezclas asfálticas cuando se encuentran en estado caliente.

Muestras	Peso específico (g/cm ³)			Desviación estándar	Promedio (g/cm ³)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	2.373	2.373	2.373	0.00	2.373	0.00
MAC+1%SBS	2.355	2.358	2.358	0.00	2.357	-0.67
MAC+2%SBS	2.349	2.347	2.339	0.01	2.345	-1.18
MAC+3%SBS	2.331	2.333	2.343	0.01	2.336	-1.57
MAC+4%SBS	2.329	2.340	2.333	0.01	2.334	-1.64

La tendencia muestra una disminución en el peso específico de las mezclas asfálticas a medida que se aumenta el polímero SBS, pasando de 2.373 g/cm³ a 2.334 g/cm³ con incrementos de 1 % a 4 % de SBS.

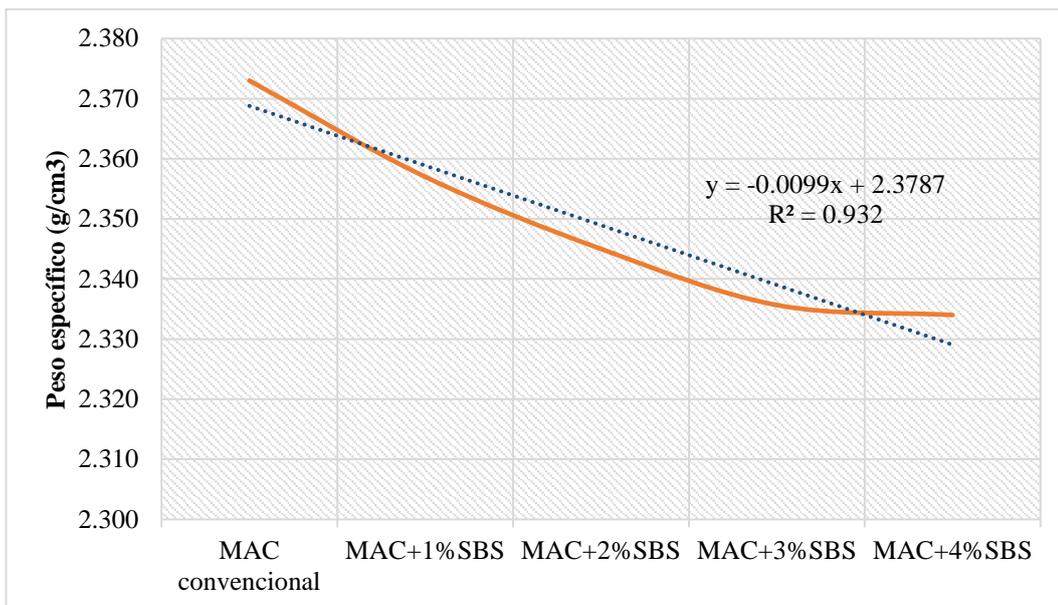


Figura 5.9. La densidad de las mezclas asfálticas cuando están calientes.

Por consiguiente, podemos inferir que al incluir un 1 % de SBS, la densidad de la mezcla asfáltica disminuye en un 0.67 %. Este efecto se amplía a medida que aumenta el contenido de SBS: con un 2 %, la reducción es del 1.18 %, con un 3 %, del 1.57 % y con un 4 %, del 1.64 %. Estos datos se ilustran claramente en la Figura 5.10.

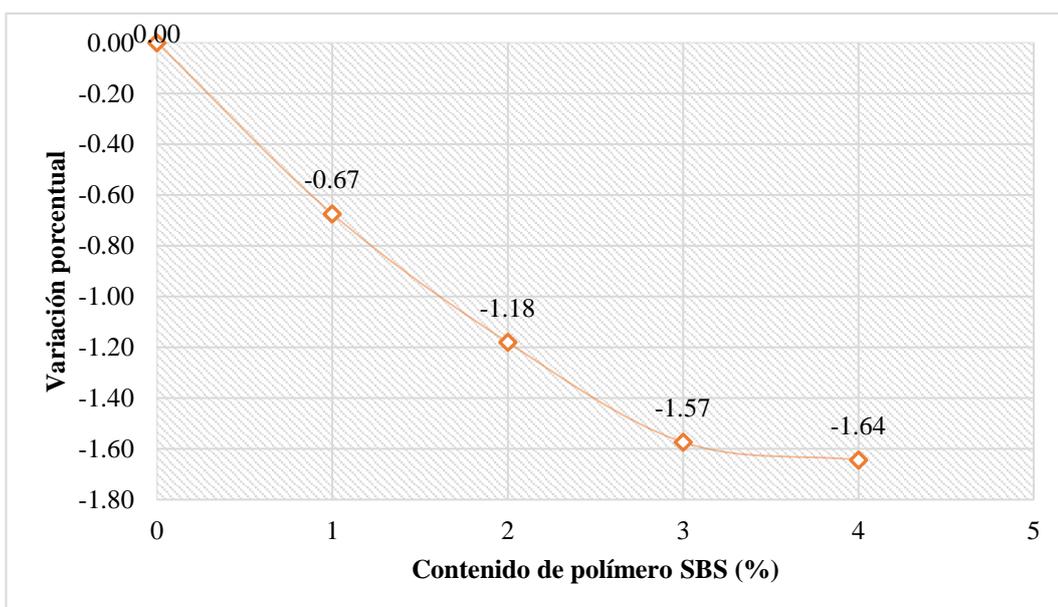


Figura 5.10. Cambios en la densidad de las mezclas de asfalto caliente.

5.1.3. Influencia del polímero SBS en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

Estabilidad

La Tabla 5.15 presenta datos sobre la resistencia y cohesión de mezclas asfálticas, evaluando su capacidad para resistir deformaciones y cargas, esencial para la durabilidad y seguridad del pavimento:

Tabla 5.15. Consistencia en las combinaciones de asfalto calientes.

Muestras	Estabilidad (Kg)			Desviación estándar	Promedio (kg)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	1064.00	1064.00	1064.00	0.00	1064.00	0.00
MAC+1%SBS	1219.00	1141.00	1214.00	43.66	1191.33	11.97
MAC+2%SBS	1370.00	1358.00	1399.00	21.08	1375.67	29.29
MAC+3%SBS	1525.00	1554.00	1516.00	19.86	1531.67	43.95
MAC+4%SBS	1640.00	1692.00	1673.00	26.31	1668.33	56.80

Según la Figura 5.11 las mezclas asfálticas cumplen con el requisito mínimo de estabilidad de 815 kg, con la convencional alcanzando 1064 kg y la modificada con 4 % de SBS llegando a 1668.33 kg, mostrando un aumento progresivo en la estabilidad con el incremento de SBS.

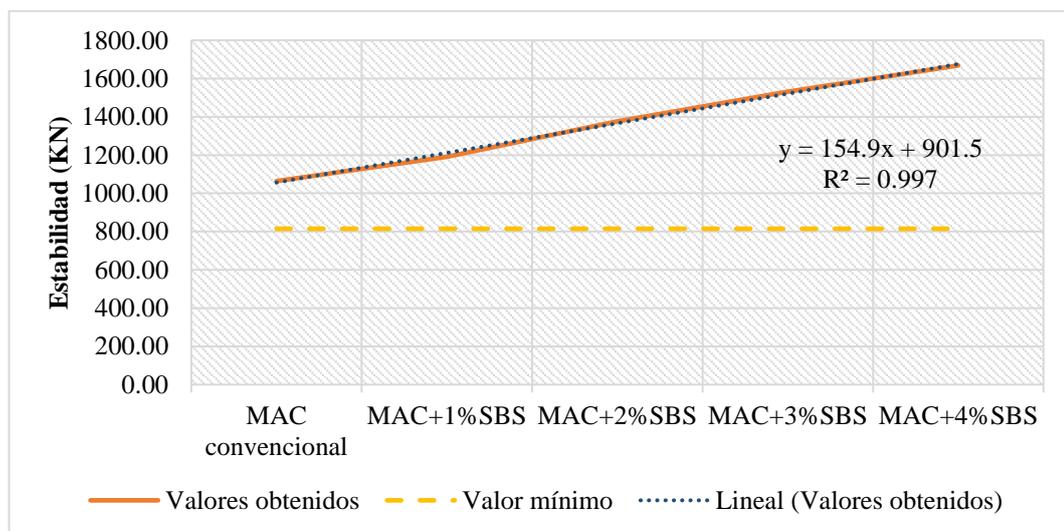


Figura 5.11. La cohesión de las mezclas de asfalto cuando están calientes.

En consecuencia, se tiene la Figura 5.12 muestra claramente que la adición de SBS mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica, con aumentos del 11.97% al 1%, 29.29% al 2%, 43.95% al 3%, y 56.80% al 4%.

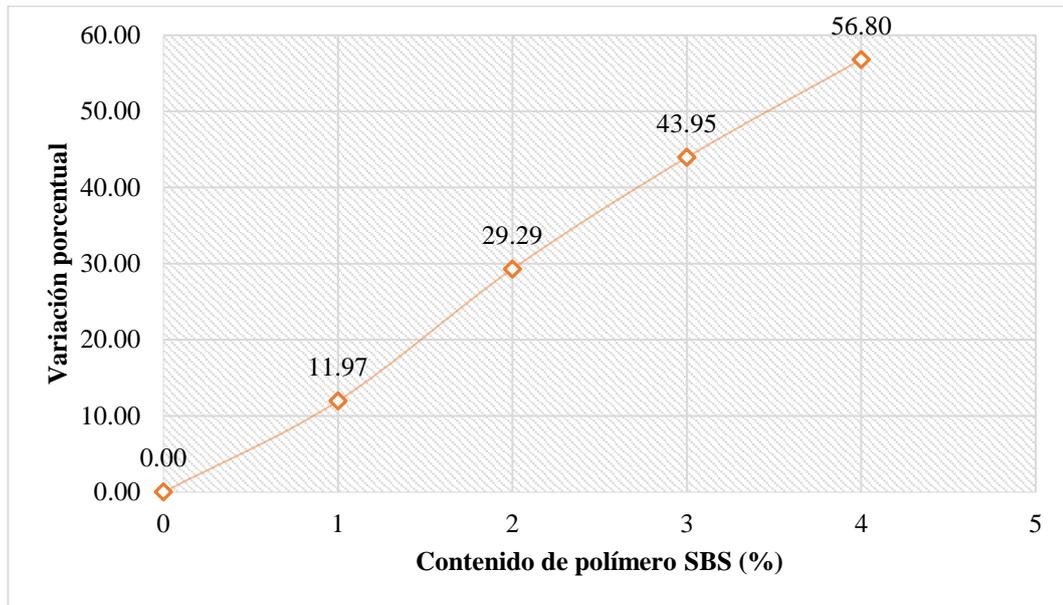


Figura 5.12. Cambios en la consistencia y durabilidad de las combinaciones de asfalto cuando se calientan.

Flujo

Los resultados de flujo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.16. El movimiento de los componentes dentro de las combinaciones de asfalto caliente.

Muestras	Flujo (mm)			Desviación estándar	Promedio (mm)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	14.00	14.00	14.00	0.00	14.00	0.00
MAC+1%SBS	13.00	14.00	14.00	0.58	13.67	-2.38
MAC+2%SBS	15.00	14.00	14.00	0.58	14.33	2.38
MAC+3%SBS	13.00	14.00	14.00	0.58	13.67	-2.38
MAC+4%SBS	14.00	14.00	14.00	0.00	14.00	0.00

Agregar un 2 % de SBS mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica caliente, mientras que 1 % y 3 % disminuyen; el flujo aumenta a 14.33 mm con 2 % SBS, superando el límite máximo de 14 mm establecido por el MTC.

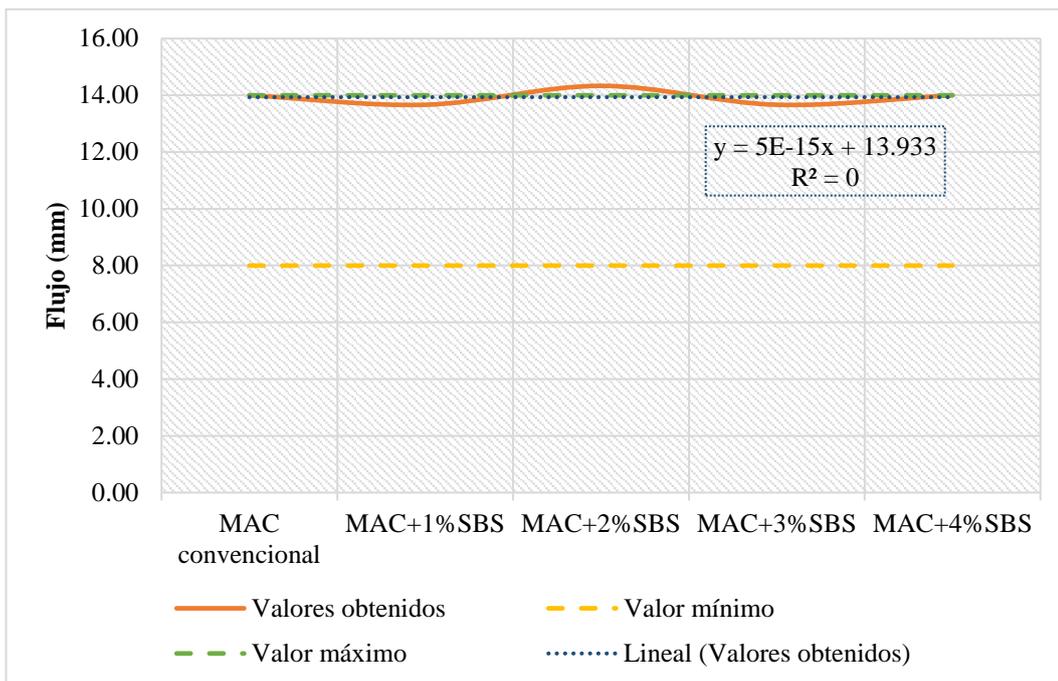


Figura 5.13. Movimiento dentro de las combinaciones de asfalto que están calientes.

Es así que, según la Figura 5.14 se observa que el flujo de la MAC convencional y de la MAC con un 4 % de SBS se mantuvo constante, sin mostrar cambios significativos. Sin embargo, se registró una ligera disminución del 2.38 % en el flujo cuando se utilizó un 1 % y un 3 % de SBS, mientras que se observó un aumento del 2.38 % en el flujo al emplear un 2 % de SBS.

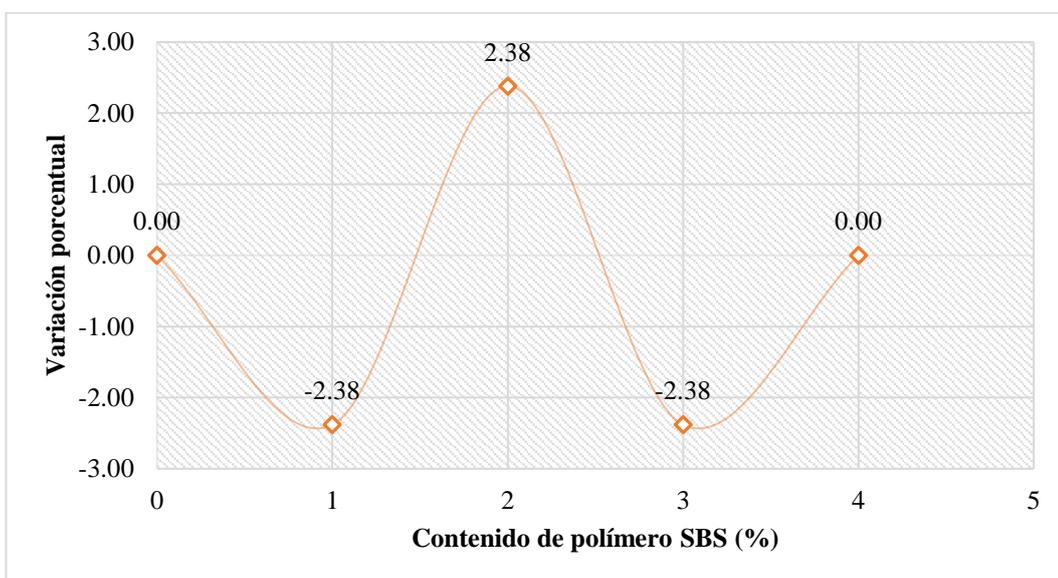


Figura 5.14. Modificación en la velocidad del flujo dentro de las combinaciones de asfalto caliente.

Estabilidad/flujo

La tabla proporciona un análisis detallado de la relación entre la estabilidad y el flujo para todas las mezclas asfálticas estudiadas. En esta tabla, se observa minuciosamente cómo cada mezcla responde en términos de estabilidad y flujo, lo que permite una evaluación exhaustiva de su desempeño:

Tabla 5.17. Consistencia/continuidad en las combinaciones de asfalto caliente.

Muestras	Estabilidad / Flujo (kg/cm)			Desviación estándar	Promedio (kg/cm)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
MAC convencional	3039.00	3039.00	3039.00	0.00	3039.00	0.00
MAC+1%SBS	3751.00	3260.00	3468.00	246.45	3493.00	14.94
MAC+2%SBS	3652.00	3881.00	3997.00	175.56	3843.33	26.47
MAC+3%SBS	4692.00	4440.00	4331.00	185.16	4487.67	47.67
MAC+4%SBS	4686.00	4834.00	4780.00	74.90	4766.67	56.85

Según la Figura 5.15, se observa un aumento en la relación entre estabilidad y flujo al agregar polímeros SBS al asfalto modificado. Mientras que la muestra convencional mostró una estabilidad/flujo de 3039 kg/cm, el uso de 1%, 2%, 3% y 4% de SBS resultó en incrementos a 3493 kg/cm, 3843.33 kg/cm, 4487.67 kg/cm y 4766.67 kg/cm respectivamente. Además, es importante señalar que solo la muestra convencional y aquellas con 1% y 2% de SBS cumplieron con los estándares establecidos por el MTC, que establece un valor máximo de 4000 kg/cm para la relación estabilidad/flujo.

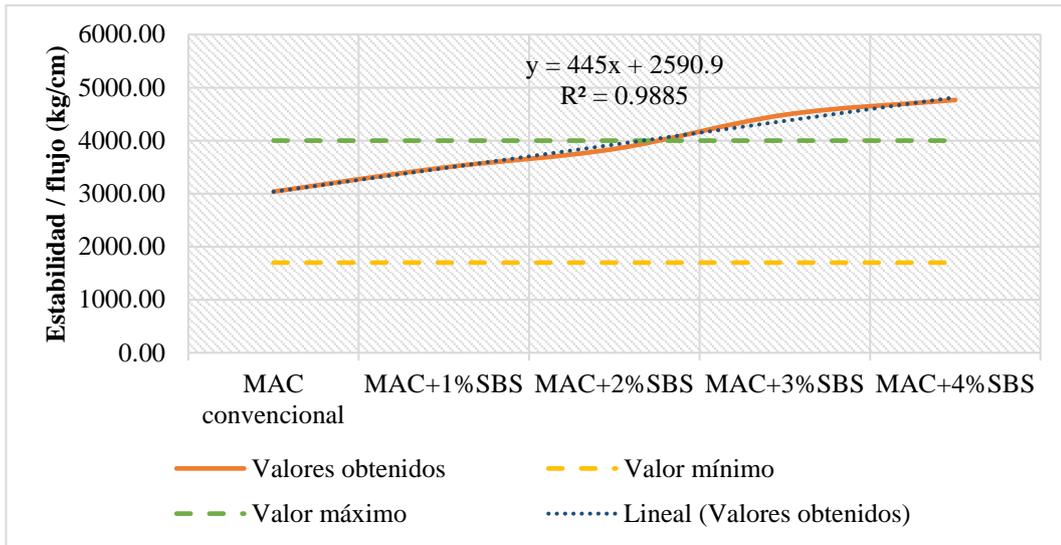


Figura 5.15. La capacidad de las mezclas asfálticas calientes para mantener su integridad estructural y fluir adecuadamente durante su aplicación y manipulación.

Por último, según la Figura 5.16 se observa que, la adición de diferentes porcentajes de SBS a la mezcla asfáltica convencional muestra un aumento significativo en la relación entre estabilidad y flujo: 14.94% con 1% de SBS, 26.47% con 2%, 47.67% con 3%, y 56.85% con 4% de SBS, resaltando el impacto positivo en las propiedades de la mezcla.

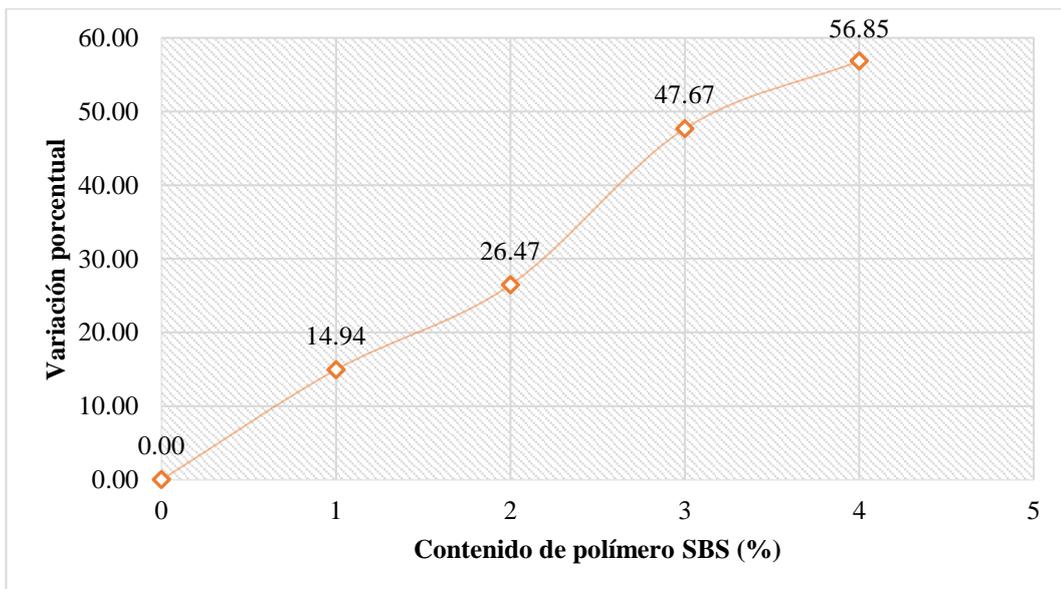


Figura 5.16. Cambios en la consistencia o fluidez de las mezclas asfálticas calientes.

5.2. Contrastación de hipótesis

5.2.1. Hipótesis específica “a”

De la hipótesis planteada: La hipótesis propuesta establece que la mezcla asfáltica caliente, que incluye diversos niveles de polímero SBS (1 %, 2 %, 3 % y 4 %), cumple con los estándares delineados en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el cual especifica los requisitos técnicos esenciales para la construcción.

De acuerdo con los puntos 5.1.1 y 5.1.3, se confirma que las mezclas asfálticas en caliente con 1% y 2% de polímero SBS cumplen con los estándares del Manual de carreteras del MTC en cuanto a la estabilidad y fluidez.

En consecuencia, se acepta la hipótesis de la investigación planteada.

5.2.2. Hipótesis específica “b”

La influencia del polímero SBS en los niveles de vacío es mínima, tanto en los espacios vacíos entre el material agregado compactado como en los vacíos llenos de cemento asfáltico, así como en la proporción de polvo en comparación con el asfalto y el peso específico de las mezclas asfálticas en caliente.

Se realizó un análisis ANOVA para estudiar las propiedades físicas de las mezclas asfálticas en caliente, como se indica en la

Tabla 5.18. De este análisis se extrajeron conclusiones significativas sobre dichas propiedades, llegando a los siguientes hallazgos:

- El contenido de porcentaje de vacíos no se modificó significativamente por la adición de polímeros SBS, porque se encontró una significancia de 0.17 (mayor a 0.05).
- Los vacíos de material agregado compactados sí son modificados significativamente por la adición de polímeros SBS, puesto que se encontró una significancia de 0.00.
- Los vacíos llenos de cemento asfáltico sí son modificados significativamente por la adición de polímeros SBS, puesto que se encontró una significancia de 0.04.
- La relación polvo/asfalto no presentó variación debido a la adición de polímeros SBS.
- El peso específico de las mezclas asfálticas en caliente es modificado significativamente por la adición de polímeros SBS, pues se encontró una significancia de 0.00.

Entonces, el polímero SBS tiene un impacto considerable en las características físicas de las mezclas asfálticas, particularmente en los vacíos presentes en el material agregado compactado, así como en los vacíos llenos de cemento asfáltico y el peso específico. Sin embargo, no se observó una influencia notable en el porcentaje de vacíos y en la proporción de polvo/asfalto.

Tabla 5.18. Examinar las propiedades físicas de las mezclas asfálticas en caliente mediante un análisis de varianza (ANOVA).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Porcentaje de vacíos	Entre grupos	0.25	4.00	0.06	2.00	0.17
	Dentro de grupos	0.31	10.00	0.03		
	Total	0.56	14.00			
Vacíos de material agregado compactados	Entre grupos	3.34	4.00	0.83	26.07	0.00
	Dentro de grupos	0.32	10.00	0.03		
	Total	3.66	14.00			
Vacíos llenos de cemento asfáltico	Entre grupos	10.24	4.00	2.56	3.69	0.04
	Dentro de grupos	6.93	10.00	0.69		
	Total	17.18	14.00			
Relación polvo/asfalto	Entre grupos	0.04	4.00	0.01		
	Dentro de grupos	0.00	10.00	0.00		
	Total	0.04	14.00			
Peso específico	Entre grupos	0.00	4.00	0.00	38.42	0.00
	Dentro de grupos	0.00	10.00	0.00		
	Total	0.00	14.00			

Para identificar la cantidad óptima de polímero SBS que exhibe las mayores discrepancias, se llevó a cabo el análisis post hoc de Tukey, detallado en la Tabla 5.19. Los resultados indican claramente que:

- No se observa un cambio notable en el porcentaje de vacíos al comparar la mezcla asfáltica convencional con aquellas que incorporan polímeros.
- La presencia de vacíos en el material aumenta notablemente al adicionar cantidades de polímero SBS del 2%, 3% y 4%.
- Los espacios vacíos llenos de cemento asfáltico experimentan un aumento significativo al añadir un 3% de polímero SBS.
- No se aprecia una diferencia sustancial en la proporción de polvo/asfalto entre la mezcla asfáltica convencional y aquellas con polímeros.

- La densidad disminuye de manera significativa al incluir porcentajes de 1%, 2%, 3% y 4% de polímero SBS en la mezcla.

En consecuencia, se valida parcialmente la premisa de la investigación sobre la insuficiente influencia del polímero SBS en las características físicas de las mezclas asfálticas en caliente. Esto se debe a que no se observaron cambios significativos en el contenido de vacíos y la proporción de polvo/asfalto. Sin embargo, se detectaron variaciones mínimas en los vacíos del material agregado, así como en los vacíos llenos de cemento asfáltico y en el peso específico.

Tabla 5.19. Comparando diferentes grupos en función de las características físicas de las mezclas asfálticas en caliente.

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Porcentaje de vacíos	MAC convencional	MAC+1%SBS	-0.23	0.14	0.52	-0.71	0.24
		MAC+2%SBS	-0.27	0.14	0.40	-0.74	0.21
		MAC+3%SBS	-0.20	0.14	0.65	-0.68	0.28
		MAC+4%SBS	-0.40	0.14	0.11	-0.88	0.08
Vacíos de material agregado compactados	MAC convencional	MAC+1%SBS	-0.43	0.15	0.08	-0.91	0.05
		MAC+2%SBS	-0.87*	0.15	0.00	-1.35	-0.39
		MAC+3%SBS	-1.20*	0.15	0.00	-1.68	-0.72
		MAC+4%SBS	-1.23*	0.15	0.00	-1.71	-0.75
Vacíos llenos de cemento asfáltico	MAC convencional	MAC+1%SBS	-1.37	0.68	0.33	-3.60	0.87
		MAC+2%SBS	-1.90	0.68	0.11	-4.14	0.34
		MAC+3%SBS	-2.50*	0.68	0.03	-4.74	-0.26
		MAC+4%SBS	-1.47	0.68	0.27	-3.70	0.77
Peso específico	MAC convencional	MAC+1%SBS	0.016*	0.00	0.01	0.00	0.03
		MAC+2%SBS	0.028*	0.00	0.00	0.02	0.04
		MAC+3%SBS	0.037*	0.00	0.00	0.03	0.05
		MAC+4%SBS	0.039*	0.00	0.00	0.03	0.05

En lo que respecta a los vacíos, se observa la presencia de un único conjunto uniforme, reflejado en el cuadro a continuación. Los datos indican la predominancia de este grupo en el análisis:

Tabla 5.20. Grupos que son uniformes en relación con el nivel de vacíos que contienen.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
MAC convencional	3.00	4.00
MAC+3%SBS	3.00	4.20
MAC+1%SBS	3.00	4.23
MAC+2%SBS	3.00	4.27
MAC+4%SBS	3.00	4.40
Sig.		0.11

Los grupos de mezclas asfálticas con agregado se dividen en tres categorías: el primer grupo contiene mezcla asfáltica convencional y con 1% de SBS, el segundo grupo incluye mezclas con 1% y 2% de SBS, y el tercer grupo abarca mezclas con 2%, 3% y 4% de SBS.

Tabla 5.21. Grupos que son uniformes en términos de los espacios vacíos presentes en el material agregado después de ser compactado.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
MAC convencional	3.00	15.40		
MAC+1%SBS	3.00	15.83	15.83	
MAC+2%SBS	3.00		16.27	16.27
MAC+3%SBS	3.00			16.60
MAC+4%SBS	3.00			16.63
Sig.		0.08	0.08	0.16

De acuerdo a los espacios rellenos con cemento asfáltico, se pueden distinguir dos conjuntos uniformes. El primer grupo incluye la MAC tradicional y las variantes con 1%, 4%, y 2% de contenido. Por otro lado, el segundo conjunto está compuesto por la MAC con 1%, 4%, 2%, y 3% de mezcla, como se detalla en la tabla adjunta:

Tabla 5.22. Grupos que son uniformes en función de los vacíos llenos de cemento asfáltico presentes.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
MAC convencional	3.00	72.00	
MAC+1%SBS	3.00	73.37	73.37
MAC+4%SBS	3.00	73.47	73.47
MAC+2%SBS	3.00	73.90	73.90
MAC+3%SBS	3.00		74.50
Sig.		0.11	0.49

La clasificación por densidad divide las mezclas asfálticas en tres grupos: alta densidad con 4 %, 3 % y 2 % de SBS; densidad media con 2 % y 1 % de SBS; y baja densidad para mezclas asfálticas convencionales.

Tabla 5.23. Grupos que son uniformes en relación al peso específico.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
MAC+4%SBS	3.00	2.33		
MAC+3%SBS	3.00	2.34		
MAC+2%SBS	3.00	2.35	2.35	
MAC+1%SBS	3.00		2.36	
MAC convencional	3.00			2.37
Sig.		0.08	0.05	1.00

5.2.3. Hipótesis específica “c”

La presencia del polímero SBS mejora significativamente la estabilidad y fluidez de las mezclas asfálticas en caliente, así como la relación entre estas dos propiedades fundamentales.

Se presenta la Tabla 5.24 respecto a la prueba ANOVA de la cual se concluye que:

- La estabilidad de las mezclas asfálticas experimenta cambios notables con la incorporación del polímero SBS, ya que se

ha determinado un nivel de significancia de 0.00 en los análisis realizados.

- La fluidez de las mezclas asfálticas apenas sufre alteraciones con la introducción del polímero SBS, lo que sugiere que su impacto en este aspecto es mínimo.
- La relación entre la estabilidad y el flujo de las mezclas asfálticas experimenta cambios sustanciales con la inclusión del polímero SBS, evidenciado por un nivel de significancia de 0.00 en los resultados obtenidos.

Tabla 5.24. Estudio estadístico ANOVA sobre las características físicas de las combinaciones de asfalto caliente.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Estabilidad	Entre grupos	721969.73	4.00	180492.43	262.55	0.00
	Dentro de grupos	6874.67	10.00	687.47		
	Total	728844.40	14.00			
Flujo	Entre grupos	0.93	4.00	0.23	1.17	0.38
	Dentro de grupos	2.00	10.00	0.20		
	Total	2.93	14.00			
Estabilidad/flujo	Entre grupos	6009844.93	4.00	1502461.23	57.15	0.00
	Dentro de grupos	262906.00	10.00	26290.60		
	Total	6272750.93	14.00			

En consecuencia, según la Tabla 5.25 se tiene que:

- La incorporación de polímero SBS en concentraciones del 1 %, 2 %, 3 % y 4 % conlleva a un notable aumento en la estabilidad de las mezclas asfálticas.

- No se observaron variaciones estadísticamente significativas en el flujo de las mezclas asfálticas al agregar polímero SBS en porcentajes del 1 %, 2 %, 3 % y 4 %.
- La relación entre estabilidad y flujo en las mezclas asfálticas mejora de manera considerable con la inclusión de polímero SBS en niveles del 1 %, 2 %, 3 % y 4 %.

En consecuencia, se confirma la hipótesis de este estudio que sugiere que la presencia del polímero SBS tiene un impacto positivo en las características mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. Esto se evidencia mediante aumentos notables en la estabilidad y la relación entre estabilidad y flujo, destacando así el papel beneficioso del polímero SBS en estas propiedades.

Tabla 5.25. Evaluar y contrastar conjuntos en función de las características mecánicas de las mezclas de asfalto caliente.

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Estabilidad	MAC convencional	MAC+1%SBS	-127.33*	21.41	0.00	-197.79	-56.88
		MAC+2%SBS	-311.67*	21.41	0.00	-382.12	-241.21
		MAC+3%SBS	-467.67*	21.41	0.00	-538.12	-397.21
		MAC+4%SBS	-604.33*	21.41	0.00	-674.79	-533.88
Flujo	MAC convencional	MAC+1%SBS	0.33	0.37	0.89	-0.87	1.54
		MAC+2%SBS	-0.33	0.37	0.89	-1.54	0.87
		MAC+3%SBS	0.33	0.37	0.89	-0.87	1.54
		MAC+4%SBS	0.00	0.37	1.00	-1.20	1.20
Estabilidad/flujo	MAC convencional	MAC+1%SBS	-454.00*	132.39	0.04	-889.71	-18.29
		MAC+2%SBS	-804.33*	132.39	0.00	-1240.04	-368.63
		MAC+3%SBS	-1448.67*	132.39	0.00	-1884.37	-1012.96
		MAC+4%SBS	-1727.67*	132.39	0.00	-2163.37	-1291.96

De acuerdo a la Tabla 5.26, se puede observar que cada tipo de mezcla asfáltica analizada, ya sea convencional o aquellas en las que se incorporó el polímero SBS, constituye un grupo único en términos de su estabilidad.

Tabla 5.26. Conjuntos con características similares en términos de estabilidad.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
MAC convencional	3.00	1064.00				
MAC+1%SBS	3.00		1191.33			
MAC+2%SBS	3.00			1375.67		
MAC+3%SBS	3.00				1531.67	
MAC+4%SBS	3.00					1668.33
Sig.		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

La tabla muestra un grupo homogéneo que refleja con precisión la composición de la mezcla, simplificando su comprensión visualmente:

Tabla 5.27. Conjuntos con comportamientos similares en cuanto al flujo.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
MAC+1%SBS	3.00	13.67
MAC+3%SBS	3.00	13.67
MAC convencional	3.00	14.00
MAC+4%SBS	3.00	14.00
MAC+2%SBS	3.00	14.33
Sig.		0.41

Según la Tabla 5.28, la relación entre estabilidad y flujo categoriza en tres grupos: MAC convencional, MAC con 1-2% SBS, y MAC con 3-4% SBS.

Tabla 5.28. Grupos que exhiben uniformidad en términos de estabilidad o flujo.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
MAC convencional	3.00	3039.00		
MAC+1%SBS	3.00		3493.00	
MAC+2%SBS	3.00		3843.33	
MAC+3%SBS	3.00			4487.67
MAC+4%SBS	3.00			4766.67
Sig.		1.00	0.13	0.29

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Diseño de la mezcla en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS

Según el (MTC, 2016), se siguieron las directrices del manual MTC 2016 para formular la mezcla asfáltica estándar. Se ajusta el contenido de cemento asfáltico con variaciones del 0.5%. Este proceso garantiza una composición óptima que cumple con los estándares de construcción de carreteras, asegurando su durabilidad y resistencia.

Según Tapkin, Çevik y Uşar (2010), para analizar la mezcla asfáltica mediante curvas. Se probaron diferentes porcentajes de cemento asfáltico (4.40 %, 4.90 %, 5.40 % y 5.90 %), encontrando el óptimo en 5.50 %. Este valor asegura adecuado flujo, estabilidad y relación polvo/asfalto, cumpliendo con estándares del Manual de carreteras del (MTC, 2013).

Los diseños de mezclas asfálticas con polímero SBS incluyeron incrementos del 1 %, 2 %, 3 % y 4 % (Tablas 5.6 a 5.9). Solo las mezclas con 1 % y 2 % cumplieron con los estándares del Manual de carreteras del (MTC, 2013) confirmando la hipótesis de la investigación.

6.2. El impacto de la cantidad de polímero SBS en los niveles de porosidad, compresión de vacíos en el material agregado, espacios llenos de cemento asfáltico, proporción de polvo a asfalto y densidad de las mezclas asfálticas a altas temperaturas.

Según el impacto del uso del polímero SBS en las características físicas de las mezclas asfálticas en caliente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo que incluyó la evaluación de varios aspectos clave: el porcentaje de vacíos, la compactación de los vacíos en el material agregado, la saturación de vacíos con cemento asfáltico, la proporción de polvo en relación al asfalto y el peso específico. Los resultados revelaron que:

- Al incluir el polímero SBS en diferentes proporciones, como el 1%, 2%, 3% y 4%, se nota un aumento en los espacios vacíos dentro de las mezclas asfálticas, como se evidencia en la (Figura 5.1). Estos porcentajes están alineados con los estándares del Manual de Carreteras

del MTC, que van desde el 3% hasta el 5%. Sin embargo, no se detecta una diferencia estadísticamente significativa en estos incrementos, como lo demuestra un nivel de significancia de 0.17, según se muestra en la (

- Tabla 5.18).
- Los vacíos en el material agregado compactado muestran un aumento notable al emplear el 2%, 3% y 4% de SBS, según lo respaldan la Figura 5.3,

- Tabla 5.18 y Tabla 5.19 .
- La presencia de vacíos llenos de cemento asfáltico experimenta un aumento significativo al utilizar un 3% de polímero SBS, como se puede observar en la (Figura 5.5), Sin embargo, con el 1%, 2% y 4% de SBS, aunque se observa un incremento, este no alcanza significancia estadística.
- La relación entre polvo y asfalto en las mezclas asfálticas con polímero SBS permanece estable en comparación con las mezclas asfálticas convencionales.
- La densidad de la mezcla asfáltica en caliente disminuye significativamente al incorporar polímero SBS en proporciones del 1%, 2%, 3% y 4%.

Entonces, se observa que la incorporación del polímero SBS tiene un efecto significativo en las propiedades físicas de las mezclas asfálticas en caliente. Específicamente, se ha encontrado que al agregar un 2%, 3% y 4% de SBS, se incrementa notablemente la presencia de vacíos en el material agregado compactado. Además, se ha observado un aumento en los vacíos llenos de cemento asfáltico cuando se añade un 3% de SBS, mientras que se registra una disminución en el peso específico con la adición de 1%, 2%, 3% y 4% de SBS. Sin embargo, no se ha detectado una influencia significativa en la variación de la cantidad de vacíos ni en la relación entre polvo y asfalto.

6.3. La cantidad de polímero SBS tiene un impacto significativo en la estabilidad, fluidez y la relación entre estabilidad y fluidez de las mezclas asfálticas calientes

En relación con el impacto del polímero SBS en las características mecánicas de las mezclas asfálticas, es importante destacar que:

- La estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente experimenta un notorio aumento al incorporar diferentes porcentajes de polímero SBS,

tales como 1%, 2%, 3% y 4%, superando así el umbral mínimo requerido según las especificaciones del Manual de Carreteras del MTC, que se fija en 815 kg. Esta mejora se traduce en una mayor resistencia y durabilidad de las mezclas, contribuyendo a su desempeño óptimo en condiciones de tráfico y climáticas diversas.

- El comportamiento del flujo de las mezclas asfálticas en caliente experimenta variaciones al modificar la concentración de SBS. Se observa un incremento en el flujo al emplear un 2% de polímero, una disminución con un 1% y 3%, y una estabilidad al mantener un 4%. No obstante, estas alteraciones no muestran relevancia estadística significativa. Es importante destacar que el empleo del 2% de SBS puede exceder el límite máximo de flujo establecido por el Manual de Carreteras del MTC, que establece un tope de 14 mm, lo que sugiere una atención especial en su aplicación.
- La relación entre estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas mejora considerablemente al agregar diferentes proporciones de SBS, desde un 1% hasta un 4%. No obstante, se detecta que las mezclas con un 3% y un 4% de SBS no cumplen con el valor máximo permitido por el MTC, establecido en 4,000 kg/cm. Este hallazgo sugiere la necesidad de ajustes precisos en la formulación de las mezclas para garantizar un equilibrio óptimo entre estabilidad y flujo, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad vial requeridos.

Fortalecer las mezclas asfálticas en caliente con polímero SBS es altamente ventajoso, dado que asegura su capacidad para soportar las cargas generadas

por el tráfico vehicular, resistiendo tanto deformaciones como desplazamientos. Este descubrimiento encuentra respaldo en investigaciones previas, como la realizada por Chávez (2017) en la región Junín – Yauli, donde se observó un incremento en la estabilidad de las mezclas asfálticas con la inclusión de polímero SBS. Asimismo, estudios como el de Estrada (2017) y otros investigadores refuerzan esta idea al señalar que el refuerzo de la estabilidad de las mezclas asfálticas mediante polímero SBS conlleva una mayor resistencia a la deformación, aspecto crucial para la integridad de las carreteras. Estos hallazgos se alinean con investigaciones realizadas por Vásquez e Infante (2016), Parra (2018) y Salamanca (2018), quienes también encontraron que la inclusión de polímeros mejora significativamente la estabilidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, ofreciendo soluciones prometedoras para la ingeniería de carreteras. Por último, López y Puma (2017) destacan que el uso de polímeros SBS en la mezcla asfáltica no solo mejora su comportamiento frente a cargas y temperaturas variables, sino que también reduce el riesgo de deformación permanente, proporcionando una mayor elasticidad y, por ende, una vida útil prolongada a las carreteras.

Según Xu et al. (2021), en su estudio sobre la evaluación microestructural, química y reológica del envejecimiento oxidativo del asfalto modificado con polímeros SBS, sugieren que la presencia del polímero SBS puede evitar la oxidación del cemento asfáltico, lo que en consecuencia retardaría el proceso de envejecimiento de la mezcla asfáltica. Este hallazgo es respaldado por Wang y Huang (2021) en su investigación sobre el comportamiento de envejecimiento del asfalto engomado de mezcla terminal con polímero SBS,

donde destacan que el asfalto modificado con SBS muestra una mejora significativa en comparación con otras variantes, como aquellas que contienen caucho. Además, Swamy, Rongali y Jain (2017), en su análisis del efecto del polímero HDPEH en las propiedades viscoelásticas del asfalto modificado con SBS, plantean la posibilidad de mejorar aún más estas propiedades al agregar HDPEH a la mezcla asfáltica. Por último, Liang et al. (2017), en su estudio sobre los efectos del azufre polimerizado en las propiedades reológicas, morfología y estabilidad del asfalto modificado con SBS, concluyen que un mayor contenido de azufre polimerizado en el SBS conduce a una mayor estabilidad de almacenamiento, lo que sugiere la viabilidad de añadir más aditivos a la mezcla asfáltica una vez que se ha modificado con polímero SBS.

Así pues, es evidente que el polímero SBS ejerce un impacto significativo en las características mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. Específicamente, se observa un notable aumento en la estabilidad y la relación estabilidad/flujo al incorporar porcentajes de SBS que van desde el 1% hasta el 4%. Sin embargo, no se registra una influencia apreciable en la variación del flujo.

CONCLUSIONES

1. El polímero SBS tiene un rol fundamental en alterar las propiedades de las mezclas asfálticas durante su aplicación a alta temperatura. Este compuesto favorece la ampliación de los vacíos dentro del material agregado compactado, así como de los vacíos repletos de cemento asfáltico, lo cual se traduce en una mejora significativa en la estabilidad global y la proporción entre estabilidad y fluidez. También, la adición de este componente ayuda a reducir la densidad de la mezcla. Se sugiere añadir hasta un 2% de SBS para lograr óptimos resultados en cuanto a la eficiencia y resistencia del pavimento.
2. La formulación de la mezcla asfáltica caliente, que incluye polímero SBS en proporciones del 1% y 2%, ha mostrado cumplimiento con las normativas establecidas en el Manual de Vías del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Estas especificaciones técnicas son esenciales para asegurar la calidad y resistencia de las carreteras. La inclusión de este polímero ha notablemente potenciado las características del asfalto, otorgándole una mayor capacidad para resistir deformaciones y prolongando la durabilidad del pavimento. Este progreso en la tecnología de mezclas asfálticas promueve la edificación de infraestructuras viales más sólidas y perdurables, satisfaciendo las exigencias de la ingeniería vial contemporánea.
3. El polímero SBS provoca modificaciones importantes en las propiedades físicas de las mezclas asfálticas en caliente. Al incluir 2%, 3% y 4% de SBS, se nota un incremento en los vacíos del material agregado compactado, así como en los vacíos repletos de cemento asfáltico con un contenido del 3% de SBS. En

contraste, se evidencia una reducción en la densidad al utilizar 1%, 2%, 3% y 4% de SBS. No obstante, no se evidencia una influencia del SBS en la variación de la cantidad de vacíos ni en la relación polvo/asfalto.

4. El polímero SBS ejerce una influencia considerable en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, particularmente en la mejora de la estabilidad y la relación estabilidad-fluidez al ser aplicado en concentraciones del 1 %, 2 %, 3 % y 4 %. No obstante, no se percibe una influencia en la variación del flujo. Es relevante señalar que las composiciones que satisfacen las normativas del MTC son la mezcla asfáltica tradicional, junto con aquellas que contienen 1 % y 2 % de polímero SBS.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere emplear el polímero SBS en una mezcla asfáltica caliente diseñada para soportar un alto volumen de tráfico, limitando su contenido a un máximo del 2%. Esto garantiza que se cumplan satisfactoriamente los estándares de propiedades físicas y mecánicas establecidos por el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (MTC, 2013).
2. Se recomienda aplicar esta mezcla para un tráfico diferente, sería necesario ajustar los parámetros de diseño correspondientes. Es esencial adaptar estos diseños para garantizar un rendimiento óptimo en diversas condiciones de tráfico. Por lo tanto, se debe estar preparado para realizar modificaciones en la composición asfáltica según las exigencias específicas de cada situación vial, asegurando así su eficacia y durabilidad a largo plazo.
3. Se recomienda optar por el uso del polímero SBS para garantizar la longevidad de las mezclas asfálticas durante su aplicación en caliente. Esto se debe a que el polímero SBS ha demostrado mejorar significativamente la resistencia y estabilidad de las mezclas asfálticas, lo que contribuye a su durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo. Por lo tanto, su incorporación en la formulación de mezclas asfálticas puede conducir a una mayor calidad y vida útil de las superficies de carreteras y pavimentos.
4. Se sugiere utilizar el polímero SBS en proporciones de hasta un 2%, ya que esto contribuye a mejorar la durabilidad y la calidad del pavimento. Esta medida se considera óptima para garantizar un mejor desempeño y una mayor vida útil de las carreteras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alawi, M. H., & Rajab, M. I. (2020). *Determination of Optimum Bitumen Content and Marshall Stability Using Neural Networks for Asphaltic Concrete Mixtures*.
- Aljassar, A. H., Metwali, S., & Ali, M. A. (2004). Effect of filler types on Marshall stability and retained strength of asphalt concrete. *International Journal of Pavement Engineering*, 5(1), 47-51.
<https://doi.org/10.1080/10298430410001733491>
- Anwar, S. K. W. (2016). Experimental investigations on Marshall and Modified Marshall specimens by using Neat bitumen. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(5), 409-419.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera). Colombia.
- Chávez, J. (2017). *Análisis de la carpeta asfáltica modificada con polímero SBS en el clima frío de la región Junín – Yauli*. 2017. Universidad César Vallejo.
- Eka Putri, E., & Vasilsa, O. (2019). Improve the Marshall stability of porous asphalt pavement with HDPE addition. *MATEC Web of Conferences*, 276, 03005.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201927603005>
- Eme, D. B., Nwofor, T. C., & State, R. (2015). Investigating the Marshall Stability Requirements of Asphalt Concrete Mix With Ground Scrap Tyres As Aggregate. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 6(9), 1-7.
- Escalante, J. (2015). Factores recurrentes en el Perú: Inseguridad vial. *Viabilidad y transporte latinoamericano*, p. 84.
- Estrada, V. (2017). *Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70 -28*. Universidad Andina del Cusco.
- Flores, C. (2019). *Cámara de Comercio de Lima: El 80% de las carreteras del Perú*

está en mal estado (p. 2). p. 2. Huancayo.

Hermida, É. (2011). Polímeros. En *Edit. EDUCAR*. Ciudad autónoma de Buenos Aires.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta; J. Mares, Ed.). México: McGRAW-HILL.

Huari, R. (2020). *Análisis y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica en caliente con RAP y una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70-28* (Universidad Ricardo Palma). Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1040>

Karahancer, S., Capali, B., Eriskin, E., Morova, N., Serin, S., Saltan, M., ... Kucukcapraz, D. O. (2016). Marshall stability estimating using artificial neural network with polyparaphenylene terephtalamide fibre rate. *Proceedings of the 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, INISTA 2016*. <https://doi.org/10.1109/INISTA.2016.7571848>

León, P., Maila, J., & Albuja, E. (2020). Influencia de aditivos (polímero y polialuminio) en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 60-71. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1931>

Liang, M., Xin, X., Fan, W., Ren, S., Liang, M., & Shi, J. (2017). Effects of polymerized sulfur on rheological properties, morphology and stability of SBS modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 150, 860-871. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.069>

López, D., & Puma, C. (2017). *Caracterización de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímeros SBS y RET , mediante la determinación del módulo de rigidez*. Universidad Central del Ecuador.

Mistry, R., & Roy, T. K. (2020). Predicting Marshall stability and flow of bituminous mix containing waste fillers by the adaptive neuro-fuzzy inference system. *Revista de la Construcción*, 19(2), 209-219. <https://doi.org/10.7764/RDLC.19.2.209>

- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (2°; U. C. de Colombia, Ed.). Bogotá.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013)* (Tomo I). Recuperado de [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - \(Versión Revisada - JULIO 2013\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - (Versión Revisada - JULIO 2013).pdf)
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Recuperado de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf
- Ogundipe, O. (2016). Marshall Stability and Flow of Lime-modified Asphalt Concrete. *Transportation Research Procedia*, 14, 685-693. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.333>
- Parra, E. (2018). *Sustitución parcial del asfalto en una mezcla para pavimento a base de polimeros reciclados* (Vol. 1). Universidad Autónoma de Querétaro.
- Putra Jaya, R., Rosli Hainin, M., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., Khairul Idham Mohd Satar, M., Naquiuddin Mohd Warid, M., ... Irwan Ramli, N. (2018). Marshall stability properties of asphalt mixture incorporating black rice husk ash. *Materials Today: Proceedings*, 5(10), 22056-22062. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.068>
- Raol, H., Parmar, A., Patel, D., & Jayswal, J. (2014). Effect of the Use of Crumb Rubber in Conventional Bitumen on the Marshall Stability Value. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(01), 209-213. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0301034>
- Rengifo, J., & Vargas, M. (2017). *Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1 - 29 de la avenida La Paz San Miguel – Lima*. Universidad San Martín de Porres.
- Reyes, F. (2003). *Diseño racional de pavimentos* (1°). Bogotá.
- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación* (pp. 1-216). pp. 1-216. Caracas - Venezuela: Editorial Panapo.

- Saffarzadeh, M., & Heidaripناه, A. (2009). Effect of asphalt content on the Marshall Stability of asphalt concrete using Artificial Neural Networks. *Scientia Iranica*, 16(1 A), 98-105.
- Salamanca, D. (2018). *Estudio comparativo del comportamiento de mezcla asfáltica con incorporación de polvo de caucho nacional, mediante vía seca, versus mezcla con asfalto modificado con polímeros y asfalto multigrado tramo de prueba: Catapilco – La Laguna*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Serín, S., Morova, N., Sargin, Ş., Terzi, S., & Saltan, M. (2013). *The Fuzzy Logic Model for the Prediction of Marshall Stability of Lightweight Asphalt Concretes Fabricated using Expanded Clay Aggregate Genleştirilmiş Kil Agregası Kullanılarak Üretilmiş Hafif Asfalt Betonun Marshall Stabilite Tahmini İçin Bulanık Mantık*. 17(1), 163-172.
- Swamy, A. K., Rongali, U. D., & Jain, P. K. (2017). Effect of HDPEH polymer on viscoelastic properties of SBS modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 136, 230-236. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.049>
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (Cuarta). Balderas 95, México, D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Tapkin, S., Çevik, A., & Uşar, Ü. (2010). Prediction of Marshall test results for polypropylene modified dense bituminous mixtures using neural networks. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4660-4670. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.042>
- Torrico, D. (2018). *Huancayo: carreteras en mal estado perjudican el tránsito*. Huancayo - Perú.
- Vásquez, D., & Infante, C. (2016). *Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas*. Universidad Señor de Sipán.
- Wang, G. (2016). Slag use in asphalt paving. En *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100381-7.00010-0>

- Wang, S., & Huang, W. (2021). Investigation of aging behavior of terminal blend rubberized asphalt with SBS polymer. *Construction and Building Materials*, 267(xxxx), 120870. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120870>
- Xu, J., Sun, L., Pei, J., Xue, B., Liu, T., & Li, R. (2021). Microstructural, chemical and rheological evaluation on oxidative aging effect of SBS polymer modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 267, 121028. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121028>
- Zhang, W., Khan, A., Huyan, J., Zhong, J., Peng, T., & Cheng, H. (2021). Predicting Marshall parameters of flexible pavement using support vector machine and genetic programming. *Construction and Building Materials*, 306, 124924. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124924>

ANEXOS

Matriz de consistencia

Tesis: “Influencia del polímero SBS en las propiedades de las mezclas asfáltica en caliente”

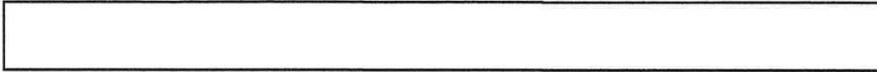
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general: ¿Cuál es la influencia del polímero SBS en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente?</p>	<p>Objetivo general: Evaluar la influencia del polímero SBS en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente .</p>	<p>Hipótesis general: La influencia del polímero SBS mejora significativamente las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente.</p>	<p>Variable independiente (X): polímero SBS.</p>	<p>- Características físicas del polímero SBS.</p>	<p>- Peso específico del polímero SBS. - Densidad Bulk - Gravedad específica</p>	<p>Método de investigación: científico.</p> <p>Tipo de investigación: aplicada.</p>
<p>Problemas específicos: a) ¿Cuál es el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS? b) ¿Cómo influye la cantidad de polímero SBS en los porcentajes de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico de las mezclas asfálticas en caliente? c) ¿Cuál es la influencia de la cantidad de polímero SBS en la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en caliente?</p>	<p>Objetivos específicos: a) Establecer el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS. b) Determinar cómo es la influencia de la cantidad del polímero SBS en los porcentajes de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico de las mezclas asfálticas en caliente. c) Determinar cuál es la influencia de la cantidad del polímero SBS en la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en caliente.</p>	<p>Hipótesis específicas: a) El diseño de mezcla asfáltica en caliente con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS es aquel que cumple con los requerimientos que establece el Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para la construcción del MTC. b) La influencia del polímero SBS no es significativa en los porcentajes de vacíos, vacíos de material agregado compactado, vacíos llenos de cemento asfáltico, relación polvo/asfalto y peso específico las mezclas asfálticas en caliente. c) La influencia del polímero SBS es favorable en la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en caliente.</p>	<p>Variable dependiente (Y): propiedades de la mezcla asfáltica</p>	<p>- Características mecánicas del polímero SBS.</p> <p>- Cantidad de polímero SBS.</p> <p>- Diseño de mezcla</p> <p>- Propiedades físicas</p> <p>- Propiedades mecánicas</p>	<p>- Dureza del polímero SBS. - Caudal de fusión - Elongación de rotura.</p> <p>- Adición de 1 % de polímero SBS - Adición de 2 % de polímero SBS - Adición de 3 % de polímero SBS - Adición de 4 % de polímero SBS</p> <p>Porcentaje óptimo de asfalto</p> <p>Granulometría de agregados</p> <p>Número de golpes para compactación</p> <p>- Porcentaje de vacíos. - Vacíos de material agregado compactado. - Vacíos llenos de cemento asfáltico. - Relación polvo/asfalto - Peso específico</p> <p>- Estabilidad - Flujo - Estabilidad/flujo</p>	<p>Nivel de investigación: explicativo.</p> <p>Diseño de investigación: experimental.</p> <p>Población: La población para el desarrollo de esta investigación estuvo conformada por la mezcla asfáltica en caliente convencional y mezcla asfáltica en caliente con adición de polímero SBS, en los cuales el porcentaje de adición fueron 1 %, 2 %, 3 % y 4 %.</p> <p>Muestra: La muestra según el tipo de muestreo no probabilístico intencional o dirigido estuvo conformada por 12 briquetas de la mezcla asfáltica en caliente convencional (con lo cual se obtuvo el contenido óptimo de asfalto) y 12 briquetas elaboradas con la mezcla asfáltica en caliente, es decir, 3 briquetas por cada adición de polímero SBS de 1 %, 2 %, 3 % y 4 %, haciendo un total de 24 briquetas de prueba.</p>

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 0.1. Operacionalización de las variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
Variable independiente: Polímero SBS	Están compuestos por una fase dura proporcionada por el Estireno y una fase elástica proporcionada por el butadieno, a diferentes grados de cristalización (Montejo, 2002).	Se utilizó 1 %, 2 %, 3 % y 4 % de polímero SBS para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.	Características físicas del polímero SBS	Peso específico Densidad Bulk Gravedad específica	ASTM D 1895 ASTM D 1895 ISO 2781	De intervalo continuo
			Características mecánicas del polímero SBS	Dureza Caudal de fusión Elongación de rotura	ASTM D 2240 ISO 37 ISO 37	De intervalo continuo
			Cantidad de polímero SBS	Adición de 1 % de polímero SBS Adición de 2 % de polímero SBS Adición de 3 % de polímero SBS Adición de 4 % de polímero SBS	Balanza	De intervalo continuo
			Diseño de mezcla	Porcentaje óptimo de asfalto Granulometría de agregados Número de golpes para compactación	Aparato Marshall Tamices Martillo compactador	De intervalo continuo
Variable dependiente: Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente	Son características de medibles; pudiendo ser físicas o mecánicas; además indica la calidad de una vía (Reyes, 2003)	Se consideró el diseño de mezcla, las propiedades físicas y mecánicas, para cada uno de los grupos de mezclas asfálticas.	Propiedades físicas	Porcentaje de vacíos. Vacíos de material agregado compactado. Vacíos llenos de cemento asfáltico. Relación polvo/asfalto Peso específico	Aparato Marshall	De intervalo continuo
			Propiedades mecánicas	Estabilidad Flujo Estabilidad/flujo	Aparato Marshall	De intervalo continuo

Certificados de ensayos realizados



INFORME DE ENSAYO

REFERENCIA : Ensayo en laboratorio
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

UBICACIÓN : LIMA
REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cantera "Carapongo" **ASFALTO** : PEN 85/100
DESCRIPCIÓN : Grava triturada **FECHA DE ENSAYO** : 18/06/2021

**REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE MEZCLAS AGREGADO - BITUMEN
(MTC-E 517)**

Ensayo	Resultado	Especificación
Adherencia	+95	+95



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 MTL GEOTECNIA S.A.C. SERVICIOS MATERIALES	 MTL GEOTECNIA S.A.C. Suelos, Concreto, Asfalto Elmer Moreno Huaman INGENIERO CIVIL N.º 21800	 MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FOR-LAB-MS-006
		Revisión	2
		Aprobado	CC-MTL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			

REFERENCIA	: Ensayo en laboratorio	Fecha de ensayo:	17/06/2021
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA		
OBRA	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE		
UBICACIÓN	: LIMA		
CANTERA	: Excelbur		
MUESTRA	: Ag. fino		
PROFUNDIDAD	: ---		

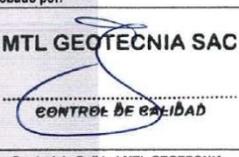
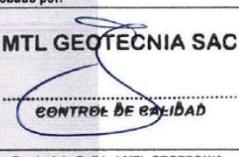
DESCRIPCION	UNIDAD	Material Pasante Tamiz N° 200	
		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
Nro. de Recipiente		NP	NP
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gr.		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.		
Peso de Recipiente (C)	gr.		
Peso del Agua (A-B)	gr.		
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.		
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	%		
N° De Golpes			

RESULTADOS OBTENIDOS	LIMITES DE CONSISTENCIA		INDICE PLASTICO
	LIQUIDO	PLASTICO	
		N.P	



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de MTL GEOTECNIA
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 	  Eimer Moreno Huaman INGENIERO CIVIL C. R. N. 27466	  CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO

Proyecto :	INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
Solicitante:	BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
Ubicación:	Lima
Fecha:	17/06/2021

(MTC E - 222)

CANTERA :	Excalibur
MUESTRA :	Ag. Fino

ENSAYO	N	1	2	ESPECIFICACION
PESO DEL AGREGADO FINO	(W)	1452.50	1420.50	/
VOLUMEN DEL CILINDRO	(V)	939.00	939.00	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO FINO	G _{sb}	2.585	2.585	
VACIOS NO COMPACTADOS	%	40.2	41.5	
PROMEDIO	%	40.8		

OBSERVACIONES :

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

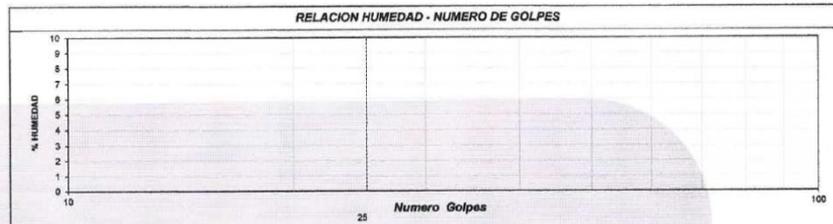
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FOR-LAB-MS-006
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			

REFERENCIA	: Resultados de laboratorio
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
UBICACIÓN	: LIMA
CANTERA	: Escalbur
MUESTRA	: Ag. Fino
PROFUNDIDAD	: --
Fecha de ensayo: 17/06/2021	

DESCRIPCION	UNIDAD
Nro. de Recipiente	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gr.
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.
Peso de Recipiente (C)	gr.
Peso del Agua (A-B)	gr.
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%
Nº De Golpes	

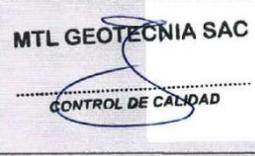
Material Pesante Tamiz Nº 40	
LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
NP	NP

RESULTADOS OBTENIDOS	LIMITES DE CONSISTENCIA		INDICE PLASTICO
	LIQUIDO	PLASTICO	
	N.P	N.P	N.P



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES, SULFATOS, CLORUROS y pH EN SUELOS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS NTP 339.152/ NTP 339.177/ NTP 339.178/ NTP 339.176/ AASHTO T290/ AASHTO T291	
REFERENCIA : Resultados de laboratorio SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	
UBICACIÓN : LIMA CANTERA : Excalibur MUESTRA : Ag. Fino PROFUNDIDAD : —	
Fecha de ensayo: 17/06/2021	

ENSAYO	RESULTADO		NORMA
	p.p.m.	%	
CONTENIDO DE SALES SOLUBLES	1725	0.173	MTC E 219

INDICACIONES:

- * Durante la preparación, el material fue secado a temperatura ambiente (60°C).

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	--	--

INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADOS

Solicitante	: BACH, LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
Tesis	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
Ubicación	: LIMA
Fecha:	18/06/2021
Cantera Ag. Fino	: Excaibur
Cantera Ag. grueso	: Carapongo

AGREGADO FINO
(ASTM D3744/ MTC E 214 - 2016)

TAMAÑOS DE MALLAS			Agitación Muestra	Contenido de	Muestra Lata
PASA	RETENIDO	PESO (g)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)	(ml.)
Nº 4	fondo	500	10'	1000.0	85

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	Promedio
Nº DE ENSAYO			
Hora de entrada a saturación	11:16	11:40	
Hora de salida de saturación (mas 10')	11:26	11:50	
Hora de entrada a decantación	11:30	12:00	
Hora de salida de decantación (mas 20')	11:50	12:20	
Altura máxima de la arcilla (pulg. 0.1")	8.75	8.56	
Altura máxima de la arena (pulg. 0.1")	3.57	3.52	
Índice de Durabilidad (D _f = H.arena/H.arcilla*100)	40.8	41.1	41.0

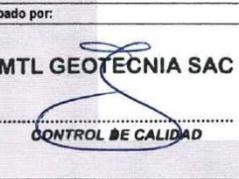
AGREGADO GRUESO
(ASTM D3744/ MTC E 214 - 2016)

TAMAÑOS DE MALLAS			Muestra	Agitación Muestra	Contenido de
PASA	RETENIDO	PESO (g)	Peso (g)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)
3/4"	1/2"	1070+/-10	1062		
1/2"	3/8"	570+/-10	565		
3/8"	Nº 4	910+/-5	908	10'	1000.0

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	Promedio
Nº DE ENSAYO			
Hora de entrada a decantación	12:10	12:20	
Hora de salida de decantación (mas 20')	12:30	12:40	
Altura máxima de material fino (0.1")	4.80	4.72	
Índice de Durabilidad (De la tabla)	48.0	47.0	47.5

OBSERVACIONES:

* Según la Tabla 3.8 de la EG del MTC, Base, los resultados cumplen con el requerimiento mínimo (35%) para ser aceptado.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES, SULFATOS, CLORUROS y pH EN SUELOS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS NTP 339.152/ NTP 339.177/ NTP 339.178/ NTP 339.176/ AASHTO T290/ AASHTO T291	
REFERENCIA : Resultados de laboratorio SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	
UBICACIÓN : LIMA CANTERA : Carapongo MUESTRA : Ag. Grueso PROFUNDIDAD : —	
Fecha de ensayo: 17/06/2021	

ENSAYO	RESULTADO		NORMA
	p.p.m.	%	
CONTENIDO DE SALES SOLUBLES	1160	0.116	MTC E 219

INDICACIONES:

- * Durante la preparación, el material fue secado a temperatura ambiente (60°C).

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	--	--

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	FORMATO DE ENSAYO CARAS FRACTURADAS	Código	FOR-LAB-AG-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

MTC E 210

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

REFERENCIA	: Ensayo en laboratorio
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
PROYECTO	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
UBICACIÓN	: LIMA
CANTERA	: Carepongo
PROGRESIVA	: Material de acopio
MUESTRA	: Ag. Grueso
	<i>Fecha de ensayo:</i> 17/06/2021

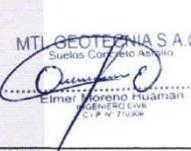
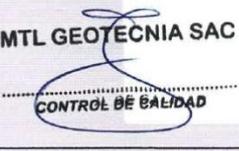
A- CON UNA CARA FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	((B/A)*100)	(g)	C*D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	568.5	522.6	91.9	9.5	873.3
1/2"	3/8"	208.3	196.5	94.3	4.3	405.6
TOTAL		776.9	719.1			

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA	TOTAL E	=	1279		
	TOTAL D	=	13.80	92.7	%

B- CON DOS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	((B/A)*100)	(g)	C*D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	568.5	433.6	76.3	9.5	724.5
1/2"	3/8"	208.3	192.0	92.2	4.3	396.3
TOTAL		776.9	625.6			

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS	TOTAL E	=	1121		
	TOTAL D	=	13.80	81.2	%

OBSERVACIONES :

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA	Código	FOR-LAB-AG-007
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS
ASTM D2419 / MTC E - 114

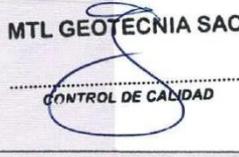
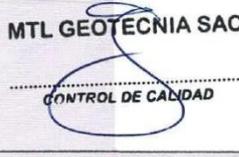
REFERENCIA	: Ensayo en laboratorio	
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA	
PROYECTO	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	
UBICACIÓN	: LIMA	Fecha de ensayo: 17/06/2021
CANTERA	: EXCALIBUR	
MUESTRA	: AG. FINO	
MATERIAL	: DE ACOPIO	

DATOS DE LA MUESTRA

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS		
1	Tamaño Maximo (mm)	4.75	4.75	4.75
2	Muestra N°	1	2	3
3	Hora de Entrada	11:23	11:25	11:27
4	Hora de Salida	11:33	11:35	11:37
5	Hora de Entrada	11:35	11:37	11:39
6	Hora de Salida	11:55	11:57	11:59
7	Altura Maxima de la Arena (Pulgadas)	3.60	3.60	3.60
8	Altura Maxima de Material Fino (Pulgadas)	4.70	4.90	4.90
9	Equivalente de Arena (%)	74.5	73.5	73.5
10	Equivalente de Arena Promedio (%)		74.0	

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, será reportado como el siguiente número más alto.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
  Jefe de Laboratorio	  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	  Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	Código	FOR-LAB-AG-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS
ASTM D4791 / MTC E - 223

REFERENCIA	: Ensayo en laboratorio
SOLICITANTE	: BACH, LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
UBICACIÓN	: LIMA
CANTERA	: Carapongo
PROGRESIVA	: Material de acoplo
MUESTRA	: Ag. Grueso

Fecha de ensayo: 17/06/2021

TAMIZ (Pulg.)	ABERTURA (mm)	AGREGADO GRUESO		PESO DE PARTICULAS	CHATAS y ALARGADAS (3:1)		
		PESO RET. GRAD. ORIG.	(%) RET.		PESO	(%)	(%) CORREGIDO
2"	50.800						
1 1/2"	38.100		-				
1"	25.400		-				
3/4"	19.000		-				
1/2"	12.700	1896	58.4	1896	36	1.9	1.1
3/8"	9.500	1351	41.6	1351	22	1.6	0.7
PESO TOTAL DE LA MUESTRA:		3247					

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	1.8
--	------------

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de MTL GEOTECNIA
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 	 	 
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO INALTERABILIDAD POR SULFATO DE MAGNESIO	Código	FOR-LTC-AG-012
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	23/03/2020
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO ASTM C88 / MTC E - 209			

PROYECTO	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE		
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA		
CÓDIGO	: --		
UBICACIÓN	: LIMA		
REGISTRO N°	: --		
Cantera	: Cantera "Excalibur"	Muestreado por:	CJRT
Material	: Agregado fino	Ensayado por:	CJRT
N° Muestra	: M-01	Fecha de ensayo:	16/06/2021

INALTERABILIDAD POR SULFATO DE MAGNESIO
ASTM C88

A) AGREGADO FINO:

Cantera: Cantera "Excalibur"
Material: Agregado Fino (M-01)

Rango de Tamaños	Gradación de la Muestra Original (%)	Peso seco de muestreo (gr.)	Porcentaje que pasa por los tamices después del ensayo	Porcentaje de pérdida pesada (%)
3/8" a No. 04	11.1	100	8.7	1.0
No. 04 - No. 08	14.8	100	7.5	1.1
No. 08 - No. 16	15.4	100	6.4	1.0
No. 16 - No. 30	26.6	100	6.7	1.8
No. 30 - No. 50	25.4	100	5.5	1.4

Porcentaje de pérdidas por alterabilidad mediante Sulfato de Magnesio	6%
--	-----------

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Muestra retenida del tamiz No. 50 (para el agregado fino) y secada al horno a 110 ± 5°C antes del tamizado para el muestreo.
- * Para el sumergimiento se utilizaron canastillas durante un tiempo de 16 a 18 horas con solución saturada de sulfato de magnesio a una temperatura de 21° C.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Pablo Tesavco Caballero Jefe de Laboratorio	 MTL GEOTECNIA S.A.C. Suelos, Concreto y Asfalto Elma Andrenó Huamán Ingeniera de Suelos C.I. N° 210405	 MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD Darvy Cecilio Trujillo Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO INALTERABILIDAD POR SULFATO DE MAGNESIO	Código	FOR-LTC-AG-012
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO ASTM C88 / MTC E - 209			

PROYECTO	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE		
SOLICITANTE	: BACH, LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA		
CÓDIGO	: -		
UBICACIÓN	: LIMA		
REGISTRO N°	: -		
Cantera	: Cantera "Carapongo"	Muestreado por:	CJRT
Materia	: Agregado Grueso	Ensayado por:	CJRT
N° Muestra	: M-01	Fecha de ensayo:	16/06/2021

INALTERABILIDAD POR SULFATO DE MAGNESIO
ASTM C88

A) AGREGADO GRUESO:

Cantera: Cantera "Carapongo"
Material: Agregado Grueso (M-01)

Análisis Cuantitativo:

Rango de Tamaños	Gradación de la Muestra Original (%)	Peso seco de muestreo (gr.)	Porcentaje que pasa por los tamices después del ensayo	Porcentaje de pérdida pesada (%)
3/4 " - 3/8 "	95.8	1004	8.3	7.9
3/8 " - No. 04	4.2	301	8.3	0.3

Porcentaje de pérdidas por alterabilidad mediante Sulfato de Magnesio	8%
--	-----------

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Muestra retenida del tamiz No. 50 (para el agregado fino) y secada al horno a 110 ± 5°C antes del tamizado para el muestreo.
- * Para el sumergimiento se utilizaron canastillas durante un tiempo de 18 a 18 horas con solución saturada de sulfato de magnesio a una temperatura de 21° C.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 MTL GEOTECNIA S.A.C. <small>Suelos, Concreto, Metalos</small> <small>INGENIERO CIVIL</small> <small>C.P. N° 21646</small>	 MTL GEOTECNIA S.A.C. <small>Suelos, Concreto, Metalos</small> <small>INGENIERO CIVIL</small> <small>C.P. N° 21646</small>	 MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Pablo Tasavco Caballero Jefe de Laboratorio	Daniel Ccoo Trullillo Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Daniel Ccoo Trullillo Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DESGASTE POR ABRASIÓN	Código	FOR-LAB-AG-006
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/05/2016

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS
ASTM C131 / ASTM C535 / MTC E - 207

REFERENCIA : Datos de laboratorio
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

UBICACIÓN : LIMA

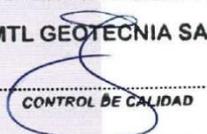
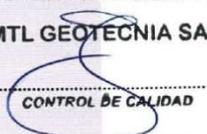
CANTERA : Carapongo
PROGRESIVA : ---
MUESTRA : Ag. grueso

Fecha de ensayo: 18/06/2021

GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
ESFERAS	12	11	8	6
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"				
1/2" - 3/8"		2503		
3/8" - 1/4"		2498		
1/4" - Nº4		-		
Nº4 - Nº8		-		
Peso Muestra		5001		
Peso Retenido Tamiz Nº 12		3736		
Peso Pasante Tamiz Nº 12		1265		
% DESGASTE		25.29		
PROMEDIO			25%	

OBSERVACIONES:

- * Según los requerimientos en la Tabla 8 de la Norma CE.010, BASE, el resultado está dentro de los parámetros aceptables (50% máximo)
- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de MTL GEOTECNIA
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 	 	 
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

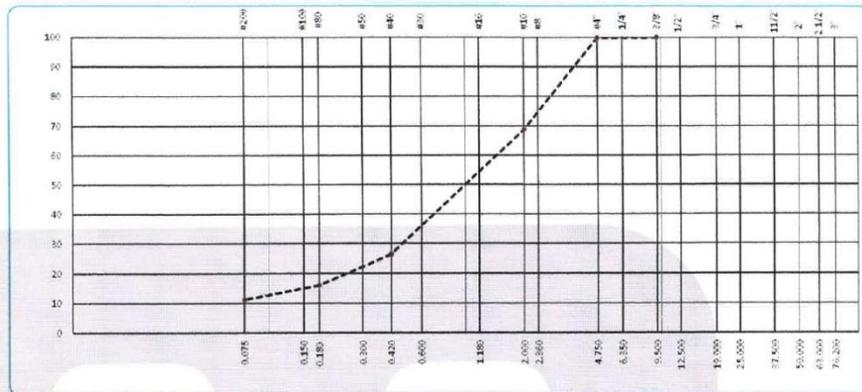
TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 18/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Cantera "Excalibur"
Descripción	: Arena triturada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PORCENTAJE				DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		Retenido	Pasado	Asúm.	Pasado	
3"	76.200					Peso húmedo 729.70 g Peso seco 720.34 g
2 1/2"	63.000					
2"	50.800					Contenido de humedad 1.3 % Límite líquido N.P. Límite plástico N.P. Azul de metileno 6.0 mg/g
1 1/2"	37.500				100.0	
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500					
1/4"	6.250					
#4	4.750	1.11	0.15	0.15	99.85	
#5	3.360					
#10	2.000	224.32	31.14	31.30	68.70	
#15	1.180					
#20	0.842					
#30	0.600					
#40	0.425	304.91	42.33	73.62	26.38	
#50	0.300					
#60	0.250	74.40	10.33	83.68	16.05	
#100	0.150					
#200	0.075	34.93	4.65	66.60	11.20	
#250		80.67	11.20	100.00	0.00	

Observaciones
Especificaciones Técnicas MTC "EG - 2013"
Pavimento de concreto asfáltico en caliente (Sección 425)

CURVA GRANULOMÉTRICA



Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE AZUL DE METILENO	Código	FOR-LSR-QU-80
		Revisión	2
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	31/12/2019

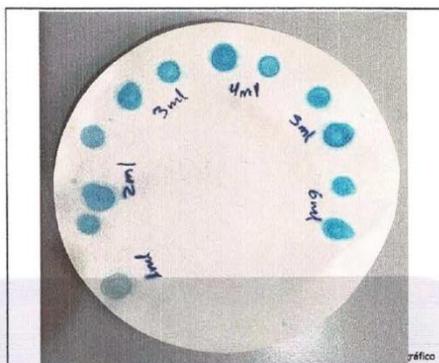
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
AASHTO TP 57-01

REFERENCIA	: Datos de Laboratorio
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
UBICACIÓN	: LIMA

CANTERA	: Cantera "Excalibur"
MATERIAL	: Agregado fino
PROGRESIVA	-
FECHA	: 18-08-2021

VALOR DE AZUL DE METILENO (VA)
AASHTO TP 57-01

Concentración de la solución de azul de metileno, en mg/ml	1	C
Solución de azul de metileno requerida en la titulación, en ml	6.0	V
Material seco utilizado en la prueba, en g	1	W



CÁLCULO

$$VA = (C \cdot V) / W$$

VA	6 mg/g
----	--------

OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante.
- El material fue secado al horno a temperatura constante de 110 ± 5°C y tamizado por la malla # 200
- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

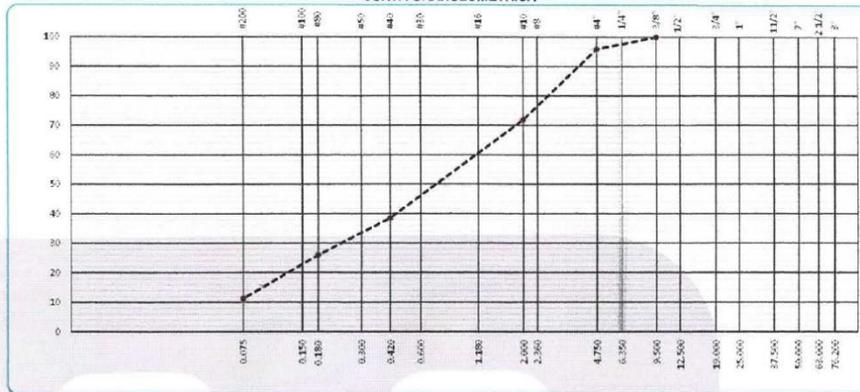
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

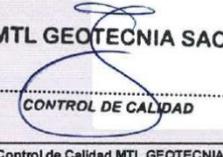
TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 18/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Cantera "Gloria"
Descripción	: Arena zarandeada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO Retenido	PORCENTAJE			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
			Retenido	Acumulado	Pasado	
3"	76.200					Peso húmedo 900.00 g Peso seco 891.09 g
2 1/2"	63.000					
2"	50.000					Contenido de humedad 1.0 % Límite líquido N.P. Límite plástico N.P. Azul de metileno 7.1 mg/g
1 1/2"	37.500				100.00	
1"	25.000					Observaciones Especificaciones Técnicas MTC "EG - 2013" Pavimento de concreto asfáltico en caliente (Sección 422)
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500					
1/4"	6.300					
#4	4.750	36.61	4.1	4.11	95.89	
#3	2.362					
#10	2.000	214.03	24.0	28.13	71.87	
#15	1.180					
#20	0.842					
#30	0.600					
#40	0.425	297.54	33.4	61.52	38.48	
#60	0.250					
#80	0.180	112.12	12.6	74.10	25.90	
#100	0.150					
#200	0.075	130.29	14.6	88.72	11.28	
760		100.50	11.3	100.00	0.00	

CURVA GRANULOMÉTRICA



Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

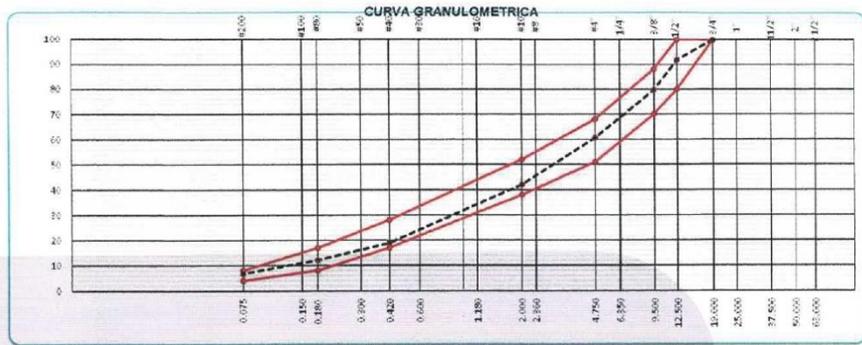
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canchales
Descripción : Diseño MAC N° 02

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO	PORCENTAJE			MAC - 2	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
			Retenido	Acum.º	Presente			
3"	76.200						Peso Inicial Peso Fracción	
2 1/2"	63.500							5511.4
2"	50.800						MEZCLA DE AGREGADOS	
1 1/2"	37.500							Arena triturada 35.0
1"	25.000						Arena natural 25.0	
3/4"	19.000			100.0	100	100	Grava triturada 40.0	
10"	12.500	456.6	8.1	8.1	91.9	80	100	
3/8"	9.500	584.6	12.2	20.3	79.7	70	88	
1/4"	6.350							
#4	4.750	1070.7	19.1	39.4	80.6	51	68	
#8	2.360							
#16	1.180	1041.7	18.6	58.0	42.0	38	52	
#30	0.600							
#60	0.420	1299.8	23.2	81.1	18.9	17	28	
#100	0.300							
#200	0.150	378.4	6.8	87.9	12.1	8	17	
#400	0.075	300.4	5.4	93.3	6.7	4	8	
#800	0.0375	378.2	6.7	100.0	0.0			



Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 MTL GEOTECNIA S.A.C. Suelos, Concreto, Asfalto Elmer ANDRÉS HUARANDA INGENIERO CIVIL C.P. N° 21966	 MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 18/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Cartera "Carapongo"
Descripción	: Grava triturada

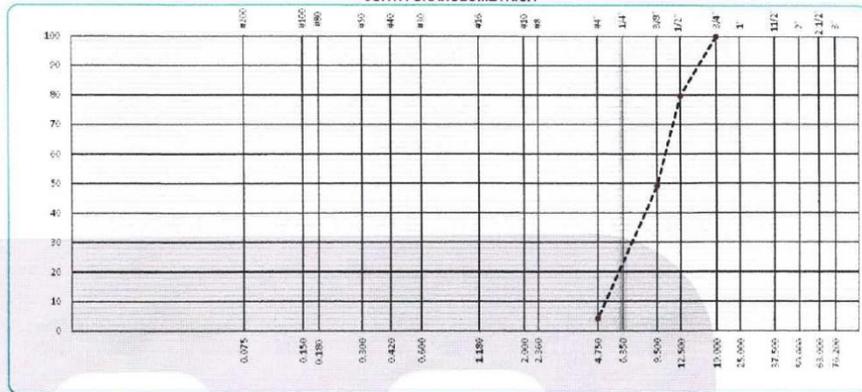
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)

TAMIZ	ABERTURA mm	PESO	PORCENTAJE			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
			Retenido	Acumal	Pasado	
3"	75.000					
2 1/2"	63.000					
2"	50.000					
1 1/2"	37.500					
1"	25.000					
3/4"	19.000				100.0	
10"	12.500	814.0	20.4	20.4	79.7	
20"	8.500	1220.0	30.5	50.9	49.2	
40"	4.750	1800.0	45.0	95.9	4.2	
# 8	2.360					
# 10	2.000	166.0	4.2	100.0	0.0	
# 15	1.180					
# 20	0.840					
# 30	0.600					
# 40	0.420					
# 50	0.300					
# 60	0.250					
# 100	0.150					
# 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0	
>200						

Peso húmedo 0.00 g
Peso seco 2000.00 g
Contenido de humedad 0.0 %
Límite líquido _____
Límite plástico _____

Observaciones
Especificaciones Técnicas MTC "EG - 2013"
Pavimento de concreto asfáltico en caliente (Sección 422)

CURVA GRANULOMÉTRICA



Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

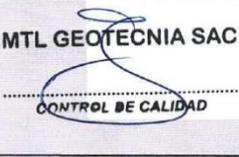
TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Cantera "Carapongo"
Descripción : Grava triturada

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E206)

MUESTRA		AGREGADO GRUESO				PROMEDIO
		1	2	3	4	
A	Peso del mat. sat. superf. seco (en el aire) (g)	826.0	845.0			
B	Peso del mat. sat. superf. seco (en el agua) (g)	521	535			
C	Vol. de masa + Vol. de vacíos (cc)	305.00	314.0			
D	Peso del material seco en el horno (105°C) (g)	821.00	840.0			
E	Vol. de masa (g)	300.00	309.0			
F	Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.662	2.675			2.683
G	Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.708	2.691			2.700
H	Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.737	2.718			2.728
I	% de absorción	0.6	0.6			0.6

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA

FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Identificación : Cantara "Gloria"

Descripción : Arena zarandeada

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E206)

AGREGADO FINO					
MUESTRA	1	2	3	4	PROMEDIO
A Peso del mat. sst. superf. Seco (en el aire) (g)	500.00	500.00			
B Peso fioia calibrada con agua (g)	697.49	697.49			
C Peso fioia con agua + peso del mat. s.s.s. (g)	1197.49	1197.49			
D Peso del mat. + peso fioia + H ₂ O (g)	1009.97	1008.40			
E Vol. de masa + vol. de vacios (cc)	187.52	186.09			
F Peso mat. sacco en el horno (105°C) (g)	495.58	495.40			
G Vol. de masa (g)	183.08	183.49			
H Peso especifico bulk (base seca) (g./cc)	2.643	2.634			2.638
I Peso especifico bulk (base saturada) (g./cc)	2.666	2.666			2.662
J Peso especifico aparente (base seca) (g./cc)	2.707	2.700			2.703
K % de absorción	0.9	0.9			0.9

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
  Jefe de Laboratorio	  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	  Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA

FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Identificación : Cantera "Excalibur"

Descripción : Arena triturada

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E206)

AGREGADO FINO						
MUESTRA		1	2	3	4	PROMEDIO
A	Peso del mat. sat. superf. Seco (en el aire) (g)	500.00	500.00			
B	Peso fiola calibrada con agua (g)	697.49	697.49			
C	Peso fiola con agua + peso del mat. s.s.s. (g)	1167.49	1197.49			
D	Peso del mat. + peso fiola + H ₂ O (g)	1006.37	1009.55			
E	Vol. de masa + vol. de vacíos (cc)	191.12	190.84			
F	Peso mat. seco en el horno (105°C) (g)	498.02	497.97			
G	Vol. de masa (g)	189.14	188.91			
H	Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.606	2.608			2.607
I	Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.616	2.619			2.617
J	Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.633	2.636			2.635
K	% de absorción	0.4	0.4			0.4

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TEMA : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

**DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO
(RESUMEN)**

1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Agregado grava triturada TM 1/2"	(Cantera "Carepongo")	: 40 %
Agregado arena triturada	(Cantera "Excalibur")	: 35 %
Agregado arena zarandada	(Cantera "Gloria")	: 25 %
Filler	(Cemento Portland)	: 0 %
Gradación		: MAC-2 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (423)"

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto	: PEN 85 / 100
% óptimo de asfalto residual	: 6.5%

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño	-0.3 %	% Óptimo	+0.3 %	Especificación EG 2013
GOLPES N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.20	5.80	5.80	
PESO UNITARIO kg/m ³	2.367	2.373	2.368	
VACIOS %	4.5	4.0	3.7	3 - 5
V.M.A. %	15.2	15.4	15.8	
V. L.L.C.A. %	88.4	72.0	75.6	
POLVO / ASFALTO %	0.7	0.7	0.7	0.5 - 1.3
FLUJO mm	13.7	14.0	14.3	8 - 14
ESTABILIDAD kN	11.5	10.6	9.9	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO kg/cm	3371.6	3039.0	2762.3	1700 - 4000
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa		2.6		2,1
RESISTENCIA RETENIDA %		80		75
RESISTENCIA CONSERVADA %		80		80

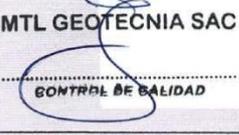
Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	--	--

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla								
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc								
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)								
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)								
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)								
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)								
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)								
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)								
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)								
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total								
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total								
21	Asfalto Absorbido por el Agregado								
22	% de Asfalto Efectivo								
23	Relación Polvo/Asfalto								
24	V.M.A.								
25	% Vacios llenos con C.A.								
26	Flujo 0.075(0.25 mm)								
27	Estabilidad sin corregir (kg)								
28	Factor de estabilidad								
29	Estabilidad Corregida 27 + 28								
30	Estabilidad / Flujo								

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

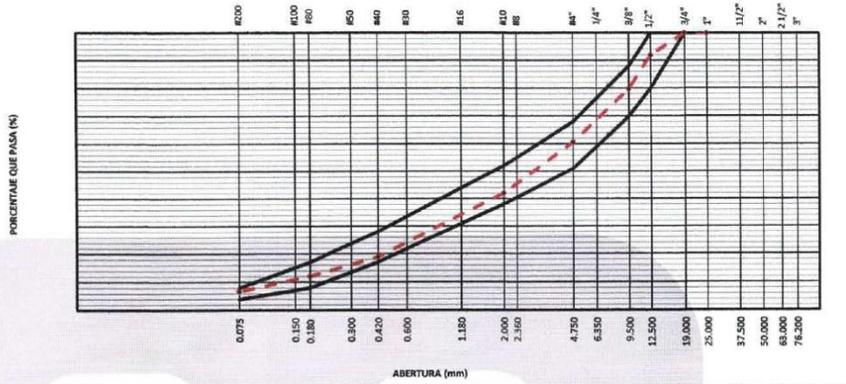
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PORCENTAJE				FORMULA DE TRABAJO	ESPECIFICACIÓN MAC-2	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		Retenido	Retenido	Acumul	Pasante			
5"	75.200							
2 1/2"	63.000							Peso total : 5611.4 g
2"	50.000							Freción finos : 0.0 g
1 1/2"	37.500							
1"	25.000							
3/4"	19.000				100.0	100	100	
1/2"	12.500	456.8	8.1	8.1	91.9	80	100	
3/8"	9.500	684.6	12.2	20.3	79.7	70	95	
1/4"	6.350							
#4	4.750	1070.7	19.1	39.4	60.6	51	68	Observaciones :
#8	2.360							Según especificación Norma MTC EG -2013 (Sección 423)
#10	2.000	1041.7	18.5	58.0	42.0	38	52	Pavimento de concreto asfáltico en caliente.
#16	1.180							Mezcla agregados diseño asfalto MAC-2
#30	0.500							
#40	0.420	1299.8	23.2	81.1	18.9	17	28	Arena triturada : 35.0%
#60	0.180	379.4	6.8	87.9	12.1	8	17	Arena zarandeada : 25.0%
#100	0.150							Grava triturada : 40.0%
#200	0.075	300.4	5.4	93.3	6.7	4	8	
>200		77.7	1.4	94.6				

CURVA GRANULOMÉTRICA



Elaborado por: Jefe de Laboratorio	Revisado por: Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	--	--

TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 19/05/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Mezcla de canteras
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRICQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4.9			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.49			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					57.61			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.021			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.683			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.622			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.728			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.669			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1194.0	1190.0	1192.0		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)				1196.0	1191.0	1193.0		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				690.0	687.0	685.0		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				506.0	504.0	508.0		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.360	2.361	2.346	2.356	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.484			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.0	5.0	5.6	5.2	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.646			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.682			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.52			
22	% de Asfalto Efectivo					4.40			
23	Relacion Filler/Betun					0.7			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.2	15.1	15.7	15.3	14
25	% Vacios llenos con C.A.				67.0	67.2	64.6	66.3	
26	Flujo 0.01"(0.25 mm)				14.0	13.0	14.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1173	1181	1155		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 ° 28				1220	1228	1201	1216	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3485	3779	3432	3566	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 19/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Mezcla de canteras
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla								
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc								
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)								
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)								
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)								
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)								
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)								
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)								
18	% de Vacios = (17-18)/(100/17) (ASTM D 3203)								
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total								
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total								
21	Asfalto Absorbido por el Agregado								
22	% de Asfalto Efectivo								
23	Relacion Filler/Betun								
24	V.M.A.								
25	% Vacios llenos con C.A.								
26	Flujo 0.01"(0.25 mm)								
27	Estabilidad sin corregir (Kg)								
28	Factor de estabilidad								
29	Estabilidad Corregida 27 ° 28								
30	Estabilidad / Flujo								

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 19/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Mezcla de canteras
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRICQUETA, N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.4			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.29			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					57.31			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.021			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.683			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.622			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.728			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.669			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1194.0	1196.0	1194.0		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)				1195.0	1197.0	1195.0		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				691.0	692.0	693.0		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				504.0	505.0	502.0		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.369	2.368	2.378	2.372	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.475			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				4.3	4.3	3.9	4.2	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.646			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.694			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.68			
22	% de Asfalto Efectivo					4.75			
23	Relacion Filler/Betun					0.7			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.3	15.3	15.0	15.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.				72.1	71.9	74.0	72.6	
26	Flujo 0.075(0.25 mm)				14.0	15.0	14.0	14.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1088	1053	1025		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 ° 28				1131	1095	1066	1097	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3232	2920	3045	3066	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLÍMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
 SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
 UBICACIÓN : LIMA
 FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : Mezcla de canteras
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)

MUESTRA Nº	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0	
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8190.0	8190.0	8190.0	8190.0	
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7714.0	7711.0	7709.3	7708.0	
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8904.0	8901.0	8899.0	8897.0	
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1190.0	1190.0	1188.7	1191.0	
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	476.0	479.0	480.7	484.0	
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.500	2.484	2.475	2.461	
CONTENIDO % C.A.	4.40	4.90	5.40	5.90	

Observaciones :

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFORZO DALBÍN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA

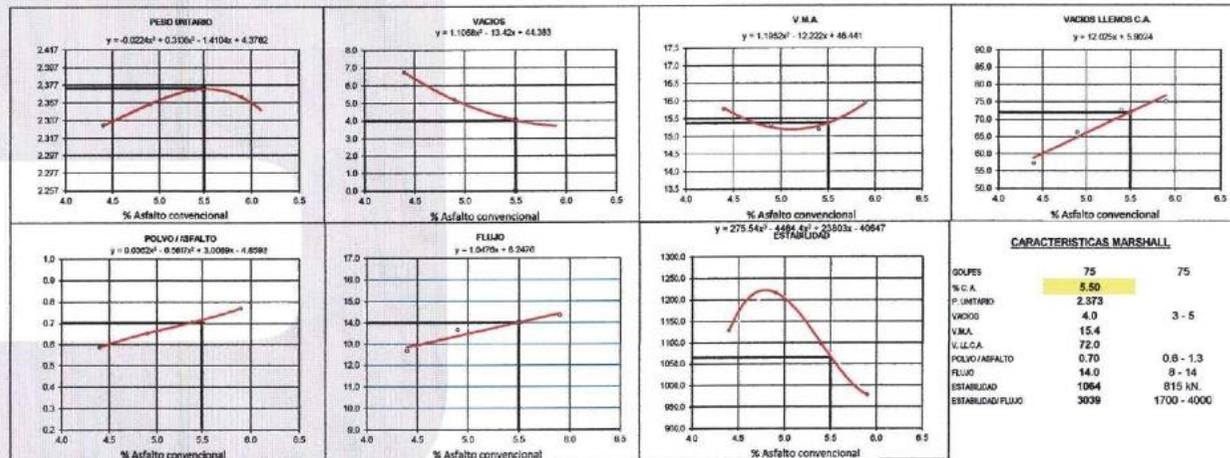
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Identificación : Mezcla de canteras

Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

**DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE**



Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)

N° DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02	03	04	05	06
1	Diámetro	10.15	10.17	10.15	10.15	
2	Espesor	6.89	6.86	6.70	6.70	
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.53	5.53	5.53	5.53	
4	Peso Probeta al Aire	1189.0	1187.0	1187.0	1181.0	
5	Peso de la Probeta Saturada (01 Hora)	1191.0	1188.0	1189.0	1192.0	
6	Peso de la Probeta en el Agua	675.0	672.0	673.0	677.0	
7	Volumen de la Probeta	516.0	517.0	516.0	515.0	
8	Peso Específico Bulk de la Probeta	2.304	2.296	2.300	2.313	
9	% de Vacíos = (17-18)x100/17 (ASTM D 3203)	6.9	7.2	7.1	6.8	
10	Estabilidad sin corregir	276	289	221	228	
11	Factor Estabilidad	1.00	1.90	1.00	1.00	
12	Estabilidad corregida (kg)	276	289	221	228	
13	Resistencia a la compresión	2.6	2.7			
14	Resistencia retenida	80	78			
15	Promedio Estabilidad (30 Minutos) (kg)	282				
16	Promedio Estabilidad (24 Horas) (kg)				225	
17	Resistencia conservada (%)	80			225	

Observaciones :

<p>Elaborado por:</p>  <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p>  <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
--	--	--

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA

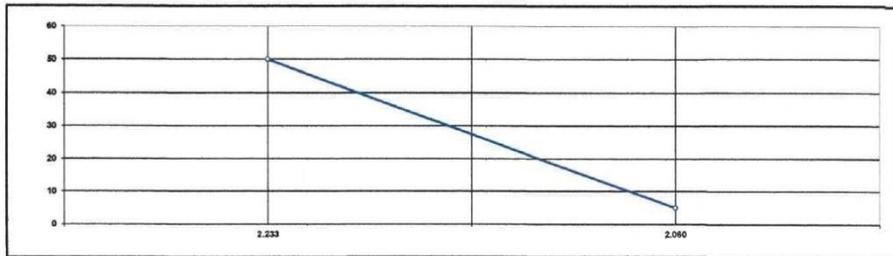
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Identificación : Mezcla de canteras

Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO ÍNDICE DE COMPACTIBILIDAD



Nº de Muestras	01	02	03	04
Nº de Cargas Marshall	50	50	5	5
1.- Peso Briqueta al Aire	1193.0	1195.1	1185.6	1189.0
2.- Peso Briqueta Saturada con Superf. Seca	1199.9	1190.2	1201.5	1201.6
3.- Peso por Desplazamiento	685.4	699.9	626.5	621.8
4.- Volumen de la Briqueta	534.5	530.3	575.0	579.8
5.- Peso Unitario (Gr/cc)	2.232	2.235	2.087	2.082
PROMEDIOS		2.233		2.080

2.233	2.090
50	0

1
0.174
GE(S) - GE(S)

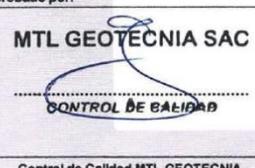
IC =	5.78
------	------

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS	: INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 19/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Mezcla de canteras
Descripción	: Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímero (1.0 %)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

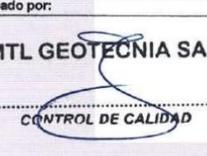
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	19.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.25			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					57.25			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					0.998			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.683			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.622			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.728			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.669			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1203.0	1202.5	1199.0		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1203.8	1203.0	1200.4		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				693.0	693.0	692.0		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				510.8	510.0	508.4		
16	Peso específico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.355	2.358	2.358	2.357	
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.461			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				4.3	4.2	4.2	4.2	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total					2.646			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total					2.690			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.62			
22	% de Asfalto Efectivo					4.92			
23	Relacion Filler/Betun					0.7			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.9	15.8	15.8	15.6	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				73.0	73.5	73.6	73.4	
26	Flujo 0.01"(0.25 mm)				13.0	14.0	14.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1172	1141	1187		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.00	1.04		
29	Estabilidad Carregida 27 ° 28				1219	1141	1214	1191	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3751	3260	3468	3493	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021
Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímero (3.0%)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	3/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 51	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA, N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.25			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					57.25			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					0.998			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.683			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.622			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.728			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.669			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1198.2	1211.6	1198.9		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1200.0	1213.2	1201.3		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				686.0	693.9	689.6		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				514.0	519.3	511.7		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.331	2.333	2.343	2.336	
17	Peso Especifico Maximo - Ríce (ASTM D 2041)					2.439			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3205)				4.4	4.3	3.9	4.2	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.646			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.663			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.23			
22	% de Asfalto Efectivo					5.28			
23	Relacion Filler/Betun					0.8			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				16.8	16.7	16.3	16.6	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				73.6	74.0	75.9	74.5	
26	Flujo 0.01"(0.25 mm)				13.0	14.0	14.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1925	1554	1516		
28	Factor de estabilidad				1.00	1.00	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1525	1554	1516	1532	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				4692	4440	4331	4468	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímero (2.0 %)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMCENES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA 17					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla								
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc								
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)								
13	Peso de la briqueta al agua por 60 '(gr)								
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)								
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)								
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)								
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)								
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)								
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total								
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total								
21	Asfalto Absorbido por el Agregado								
22	% de Asfalto Efectivo								
23	Relacion Filler/Betun								
24	V.M.A.								
25	% Vacios finos con C.A.								
26	Flujo 0.01'(0.25 mm)								
27	Estabilidad sin corregir (Kg)								
28	Factor de estabilidad								
29	Estabilidad Corregida 27 * 28								
30	Estabilidad / Flujo								

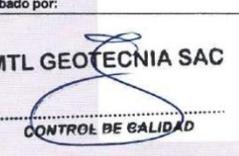
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de canteras
Descripción : Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímero (4.0 %)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100	100.0	91.9	79.7	60.6	42.0	18.9	12.1	6.7
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla								
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc								
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueza cm								
12	Peso de la briqueza al aire (gr)								
13	Peso de la briqueza al agua por 60' (gr)								
14	Peso de la briqueza desplazada (gr)								
15	Volumen de la briqueza por desplazamiento (cc) = (13-14)								
16	Peso específico Bulk de la Briqueza = (12/15)								
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)								
18	% de vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)								
19	Peso Específico Bulk Agregado Total								
20	Peso Específico Efectivo Agregado total								
21	Asfalto Absorbido por el Agregado								
22	% de Asfalto Efectivo								
23	Retencion Filler/Betun								
24	V.M.A.								
25	% Vacíos llenos con C.A.								
26	Flujo 0.01"(0.25 mm)								
27	Estabilidad sin corregir (Kg)								
28	Factor de estabilidad								
29	Estabilidad Carregada 27 + 28								
30	Estabilidad / Flujo								

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

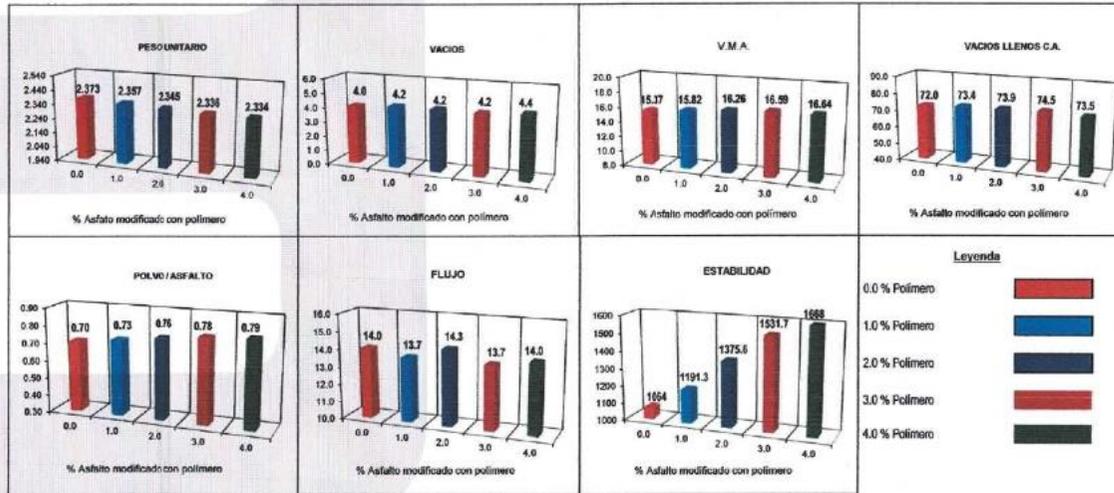
TESIS : INFLUENCIA DEL POLIMERO SRS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

SOLICITANTE : BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA

UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 19/06/2021

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de agregados
Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica variando el % de polímero en el asfalto modificado

**COMPARATIVO DE RESULTADOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA VARIANDO EL % DE POLÍMERO EN EL ASFALTO MODIFICADO
GRÁFICOS DE BARRAS**



<p>Elaborado por:</p>  <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p>  <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
--	---	--



(511) 457 2237 / 989 349 903
Jr. La Madrid 284, Asociación Los Olivos,
San Martín de Porres - Lima
informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

TESIS	: INFLUENCIA DEL POLÍMERO SBS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE	: BACH. LIFONZO BALBIN, RUTH KATIA
UBICACIÓN	: LIMA
FECHA	: 19/06/2021
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación	: Mezcla de canteras
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)

DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO
(RESUMEN)

1.- Mezcla de agregados (Doseificación)

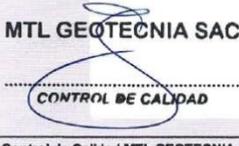
Agregado grava triturada TM 1/2"	(Cantera "Carapongo")	: 40 %
Agregado arena 5/16"	(Cantera "Excalibur")	: 35 %
Agregado arena zarandeada	(Cantera "Gloria")	: 25 %
Filler	(Cemento Portland)	: 0 %
Gradación		: MAC-2 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (423)"

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto	PEN	AMP	AMP	AMP	AMP
% óptimo de asfalto residual	85 / 100	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%
	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño	1	2	3	4	5	Especificación EG 2013
GOLPES N°			75.0			75
% DE POLÍMERO EN EL ASFALTO MODIFICADO	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
PESO UNITARIO kg/m³	2,373	2,357	2,345	2,336	2,334	
VACIOS %	4.0	4.2	4.2	4.2	4.4	3 - 5
V.M.A. %	15.4	15.8	16.3	16.6	16.8	14
V.L.L.C.A. %	72.0	73.4	73.9	74.5	73.5	
POLVO/ASFALTO %	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8 - 1.3
FLUJO mm	14.0	13.7	14.3	13.7	14.0	8 - 14
ESTABILIDAD kN	1064	1191	1376	1532	1668	8,15

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

KRATON

K0017
Europe
9/17/2019

KRATON™ D1192 A Polymer

Data Document

Identifier : K017DDk19E

Description

Kraton D1192 A is a clear linear block copolymer based on styrene and butadiene with bound styrene of 30% mass. It is supplied from Europe in the physical forms described below:

- Kraton D1192 AT - supplied as porous pellets dusted with talc
- Kraton D1192 AS - supplied as porous pellets dusted with amorphous silica
- Kraton D1192 ASM - supplied as powder dusted with amorphous silica
- Kraton D1192 ATM - supplied as powder dusted with talc for the North American market

Kraton D1192 A is used for modification of industrial and paving bitumen. It may also be suitable for use in formulating adhesives, sealants and coatings, and in the modification of polymers.

Sales Specifications

Property	Test Method	Units	Sales Specification Range	Notes
Vis, Sol (Toluene) 25.0%w @25C	KM 06	Pa.s	1.4 TO 2.4	
Molecular Weight	KM 01	kg/mol	138 TO 162	
Polystyrene Content	KM 03	%m	28.5 TO 32.5	
Vinyl Content	KM 03	%	> = 35	
Triblock Content	KM 01	%	> = 90	
Total Extractables	KM 05	%m	< = 1.0	
Volatile Matter	KM 04	%m	< = 0.3	
Antioxidant Content	KM 08	%m	> = 0.16	a
Ash (AS, AT)	ISO 247	%m	0.1 TO 0.4	
Ash (ATM)	BAM 908	%w	4.0 TO 6.0	
Ash (ASM)	ISO 247	%m	2.5 TO 5.0	
a Non-staining phenolic antioxidant				

Typical Properties (These are typical values and may not routinely be measured on finished product)

Property	Test Method	Units	Typical Value	Notes
Hardness, Shore A (15 sec)	ASTM D 2240	Hardness, Shore A (15 sec)	70	a
Bulk Density	ASTM D 1895 method B	kg/dm3	0.4	
Specific Gravity	ISO 2781		0.94	
Melt Flow Rate, 200C/5kg	ISO 1133	g/10min.	< 1	
300% Modulus	ISO 37	MPa	4.8	
Elongation at Break	ISO 37	%	1000	
Tensile Strength	ISO 37	Mpa	33	
a Measured on compression molded slabs				

Packaging

Kraton Polymers are available in a number of different package types. For information specific to this grade, please contact your local Kraton Polymers representative.

KRATON™ and the Kraton logo are either trademarks or registered trademarks of Kraton Corporation, or its subsidiaries or affiliates, in one or more, but not all countries.

End Use Requirements

If the finished article is intended for use in food contact and packaging applications, toys, or human contact areas, manufacturers of the final product should observe all relevant regulations. Some of these regulations require tests to be carried out on the final product, e.g. migration. These are the responsibility of the final product manufacturer. Information on the food packaging clearances of individual products is available from Kraton Polymers.

Safety and Handling Precautions

Read the Safety Data Sheet carefully and thoroughly before beginning any work. Additional information relating to the health, safety, storage, handling and processing of Kraton Polymers products can be found in "Health and Safety Aspects of Kraton D and Kraton G Polymers" (Document K0155), available from your local Sales Representative or the company website. Kraton Polymers also recommends that customers or users consult other sources of safety information, for example, the current edition of the "Code of Practice on the Toxicity and Safe Handling of Rubber Chemicals," British Rubber Manufacturers Association Limited. Kraton Polymers products and compounds can accumulate electrostatic charges when rubbed, chafed or abraded. Processing and storage equipment for use with Kraton Polymers products should provide a means of dissipating any charges that may develop.

When processing Kraton Polymers products, maintain a fire watch if the material reaches 225Å°C (437Å°F) for Kraton IR and Kraton D (polymers and compounds), and 280Å°C (536Å°F) for Kraton G (polymers and compounds). The temperatures listed above are indicated only for safety reasons (risk of fire and product degradation) and are not necessarily recommended for processing. Degradation of the polymer (polymer breakdown) will start at lower temperatures depending on the specific processing conditions. Therefore, operating below these temperatures does not guarantee the absence of product degradation.

Kraton Polymers products (the neat resin or the base product) are high molecular weight polymers which are non-toxic and biologically inactive.

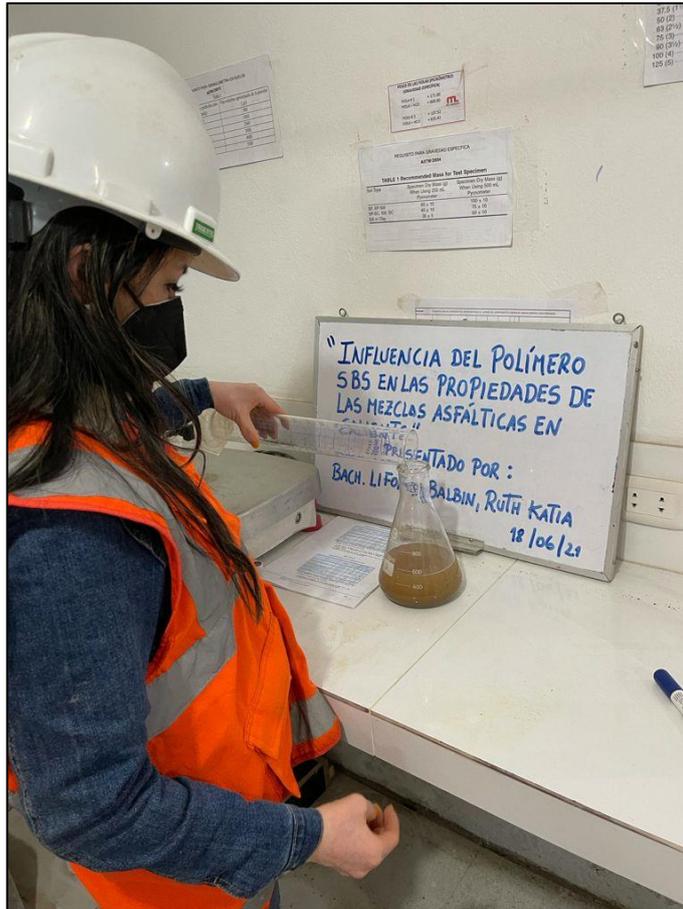
Legal Disclaimer

We cannot anticipate all circumstances, conditions or applications in which this information, our products, or the products of other suppliers in combination with our products may be used. We accept no responsibility for results obtained by the application of this information or for the safety or suitability of our products, either alone or in combination with other products. The user of our products bears the responsibility of determining their suitability for a particular application or formulation, or determining that the products or their use do not infringe any intellectual property. Unless otherwise stated in writing, WE MAKE NO WARRANTY REGARDING THE INFORMATION PROVIDED HEREIN OR OUR PRODUCT, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT OF ANY INTELLECTUAL PROPERTY. The buyer assumes all responsibility and liability for loss or damage arising from the handling and use of our products, whether used alone or in combination with other products.

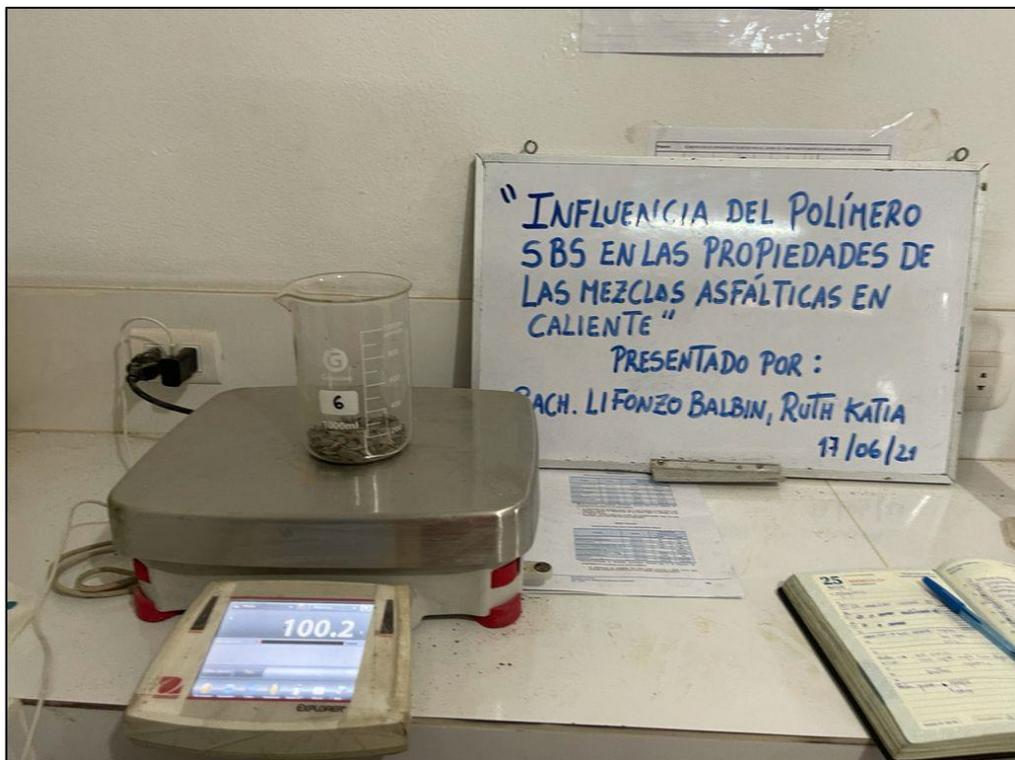
For Further Information

U.S.A Headquarters Kraton Polymers U.S. LLC 15710 John F. Kennedy Blvd. Suite 300 Houston, Texas 77032 +1-800-4-KRATON (800-457-2866) info@kraton.com	Asia Pacific Regional Headquarter/ Innovation Center Rm 2201, No.688, West Nan Jing Road 100 Century Avenue Shanghai, 200041, PR China +86 21 2082 3888 info.cn@kraton.com	Europe, Middle East, Africa Transistorstraat 16 NL - 1322 CE Almere The Netherlands +31 36 546 2846
--	--	--

Panel fotográfico



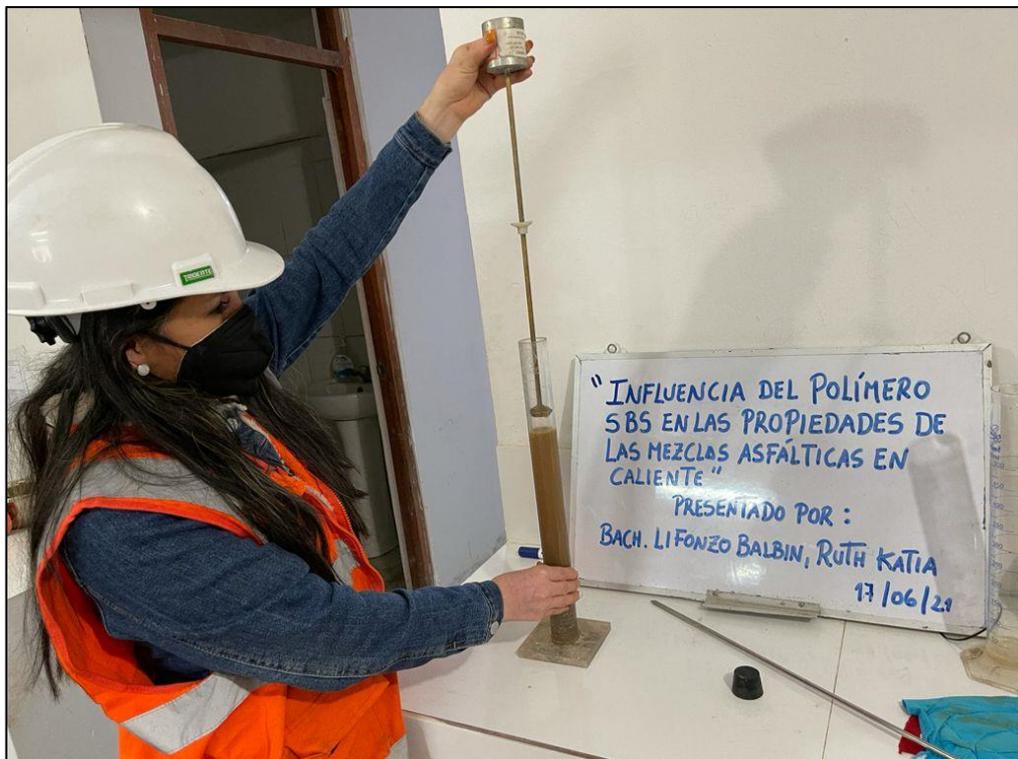
Fotografía 1. Evaluación de las propiedades del agregado fino.



Fotografía 2. Medición de la cantidad de agregado grueso, utilizando una balanza electrónica.



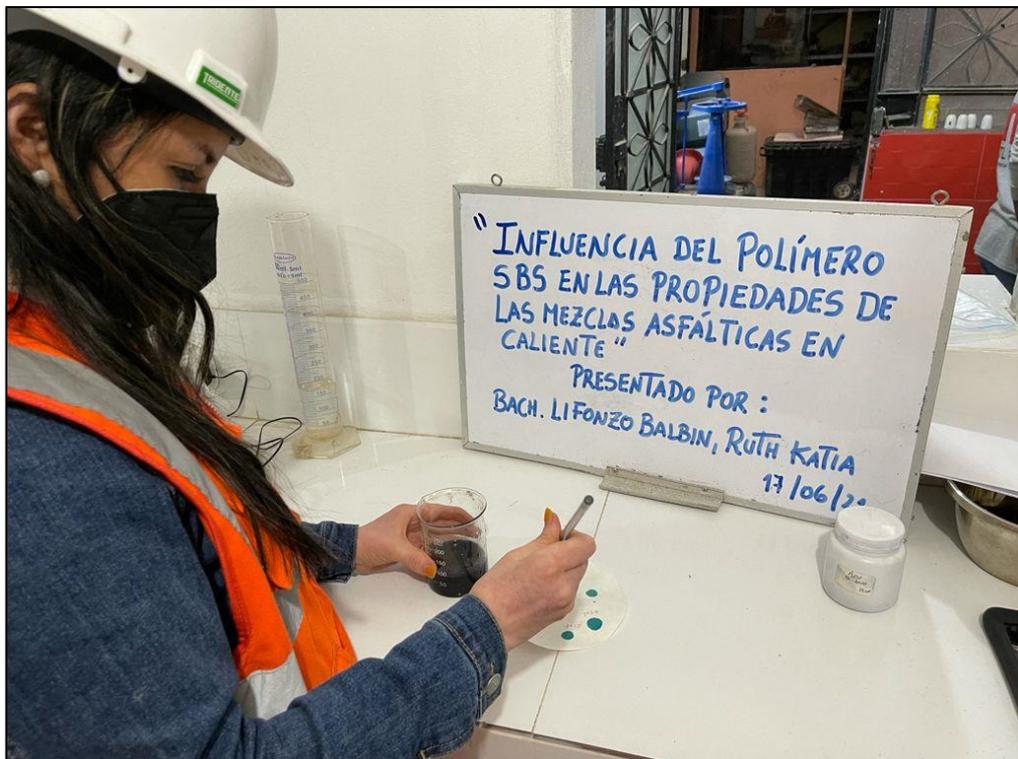
Fotografía 3. Evaluación de las propiedades del agregado grueso.



Fotografía 4. Evaluación del equivalente de arena del agregado fino.



Fotografía 5. Evaluación del límite líquido del agregado fino.



Fotografía 6. Evaluación del Azul metileno del agregado fino.



Fotografía 7. Ejecución del ensayo de Los Ángeles del agregado grueso.



Fotografía 8. Rotura de las briquetas realizadas en laboratorio.