

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PARA
EL MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN ZONA
DE SELVA**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. MEZA CÁCERES, LUIS ENRIQUE
BACH. PALOMINO ARCOS, KATIA JESSICA

ASESOR: M. Sc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NESTÓR
WILFREDO

LIMA – PERU

2021

DEDICATORIA

A mis padres Amílcar Meza y Victoria Cáceres por su apoyo incondicional, confiando en mí en todo momento.

A mi hermano Víctor Meza Cáceres por motivarme y alentarme a continuar con mis objetivos en cada etapa de mi vida.

A mi hija Luciana Meza quien fue mi motivación siempre para lograr mis metas.

Luis Enrique Meza Cáceres

Dedico esta tesis, especialmente a mis padres quienes me formaron para llegar a ser la persona que soy en día, asimismo a mis hermanos por estar presentes incondicionalmente apoyándome y asentándome siempre a seguir adelante en cada etapa de mi vida cumpliendo mis objetivos.

A mi enamorado, gracias por el amor y confianza que me tienes, apoyándome en todo y cada uno de los pasos que doy en mi vida.

Katia Jessica Palomino Arcos

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a nuestra alma mater Universidad Ricardo Palma y a todo el plantel docente que nos brindaron sus conocimientos y a nuestro asesor ingeniero Néstor Huamán G. por su apoyo para el Desarrollo de la tesis.

Luis Enrique Meza Cáceres

Jessica Katia Palomino Arcos

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Formulación y delimitación del problema	2
1.1.1 Problema General	2
1.1.2 Problemas Específicos	2
1.2 Objetivos de la Investigación	3
1.2.1 Objetivos General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Delimitación de la Investigación	3
1.3.1 Temporal	3
1.3.2 Espacial	3
1.3.3 Temática.....	3
1.4 Justificación e Importancia	3
1.4.1 Justificación	3
1.4.2 Importancia	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación	5
2.1.1 Investigaciones Nacionales	6
2.1.2 Investigaciones Internacionales	8
2.2 Bases Teóricas	9
2.2.1 Asfalto.....	9
2.2.2 Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP).....	10
2.2.3 Agregados	23
2.2.4 Mezcla Asfáltica Convencional	27
2.2.5 Polímeros	35
2.2.6 Modificación de Asfalto	36
2.2.7 Asfaltos Modificados con Polímeros	38
2.2.8 Costos y Presupuestos.....	44
2.2.9 Definición de Términos Básicos	45

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	48
3.1 Hipótesis	48
3.1.1 Hipótesis General.....	48
3.1.2 Hipótesis Específicas	48
3.2 Variables	48
3.2.1 Definición Conceptual de Variables	48
3.2.2 Operacionalización de las Variables.....	49
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
4.1 Tipo y Nivel	50
4.2 Diseño de la Investigación.....	50
4.3 Población y Muestra	50
4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	50
4.4.1 Procedimientos Para la Recolección de Datos.....	50
4.5 Técnicas Para el Procesamiento y Análisis de la Información	51
CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACION.....	52
5.1 Tipos de Suelos Comunes en Zonas de Selva.....	52
5.2 Fallas comunes en mezclas Asfálticas Convencionales en Zonas de Selva	52
5.3 Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico y Desempeño de la Mezcla	
Asfáltica Convencional y la Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros.....	55
5.3.1 Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica	
(Ensayo Marshall)	55
5.3.2 Análisis Comparativo de Desempeño de la Mezcla Asfáltica	59
5.4 Análisis Comparativo Costo Beneficio de las Mezcla Asfáltica	63
5.5 Contrastación de Hipótesis	66
5.5.1 Hipótesis Especifica 1	66
5.5.2 Hipótesis Especifica 2.....	66
5.5.3 Hipótesis Especifica 3.....	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	73
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	73
Anexo 2: Matriz de Operacionalización de Variables	74

Anexo 3: Tipo de Cambio Contable	75
Anexo 4: Ítem 1 - Data recolectada	76
Anexo 5: Ítem 2 - Data recolectada	80
Anexo 6: Ítem 3 - Data recolectada	82
Anexo 7: Ítem 4 - Data recolectada	84
Anexo 8: Ítem 5 - Data recolectada.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Muestra de Asfalto	10
Figura 2 : Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto	11
Figura 3 : Comportamiento del Asfalto (Consistencia vs Temperatura)	13
Figura 4 : Constitución Química del Asfalto	14
Figura 5 : Viscosímetro de Tubo Capilar en un Baño de Temperatura Constante	18
Figura 6 : Ensayo de Penetración	19
Figura 7 : (I)Ensayo de Copa Abierta de Cleveland, (D)Ensayo de Pensky-Martens....	20
Figura 8 : Prueba de Película delgada en Horno.....	21
Figura 9 : Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio.....	22
Figura 10 : Prueba de Ductilidad	22
Figura 11 : Máquina de Desgaste de Los Ángeles.....	25
Figura 12 : Agregados con Diferentes Formas y Texturas Superficiales.	26
Figura 13 : Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada	28
Figura 14 : Comportamiento Asfalto Convencional vs. Asfalto Modificado.....	36
Figura 15 : Efecto de incorporación del polímero sobre la susceptibilidad térmica.....	37
Figura 16 : Fotografía de Compactación de la Mezcla Asfáltica	41
Figura 17 : Compatibilidad asfalto base-polímero SBS	43
Figura 18 : Identificación del tipo de suelo in-situ	52
Figura 19 : Fallas comunes en zona de selva (Exudación, piel de cocodrilo)	53
Figura 20 : Fallas comunes en zona de selva (Ahuellamiento, huecos)	53
Figura 21 : Grafico comparativo de estabilidad de las investigaciones relacionadas....	58
Figura 22 : Imágenes de probetas de mezclas asfálticas (Antes y después)	62
Figura 23 : Grafico comparativo de P.U. por m3 entre MAC y MAMP (SBS)	64
Figura 24 : Gráfico Comparativo de P. U. por m3 de la MAC, MAMP SBS y SBR.....	65
Figura 25 : Valores de profundidad de Ahuellamiento graficados	78
Figura 26 : Comparación de Estabilidad en la mezcla convencional y con SBS	84
Figura 27 : Comparación de Flujo en la mezcla convencional y con SBS	84
Figura 28 : Comparación de M.C. AC – 20 a 6.10% y M.M. con SBS.....	86
Figura 29 : Comparación de M.C. AC – 20 a 6.10% y M.M.con SBR.	87
Figura 30 : Ensayo de desgaste mezcla con asfalto AC - 20 y modificadas con SBS 2% y SBR 1%.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del Asfalto	12
Tabla 2: Composición Química del Asfalto	15
Tabla 3: Causas y Efectos de una Poca Durabilidad	32
Tabla 4: Causas y Efectos de la Permeabilidad	33
Tabla 5:: Operacionalización de las variables	49
Tabla 6: Fallas en pavimentos asfálticos en zona de la selva del Perú	54
Tabla 7: Fallas en pavimentos asfálticos en zona de la selva del Perú	55
Tabla 8: Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas (Ensayo Marshall).....	56
Tabla 9: Incremento de estabilidad de Mezcla Asfálticas Modificadas con polímero respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional.	59
Tabla 10: Resultados de ensayos de Desempeño de las Mezclas Asfálticas.	61
Tabla 11: Cuadro comparativo de análisis de precios unitarios	64
Tabla 12: Beneficios de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS	65
Tabla 13: Matriz de Consistencia	73
Tabla 14: Matriz de Operacionalización.....	74
Tabla 15: Tipo de cambio contable.....	75
Tabla 16: Cuadro Comparativo de Diseño de Mezcla de PEN 60/70 vs. BETUTEC IC, indicando tolerancia.	76
Tabla 17: Resultados de los ensayos de Rueda de Hamburgo.....	78
Tabla 18: Resultados de Ensayo Marshall (convencional).....	80
Tabla 19: Resultados de Ensayo Marshall (EVA)	80
Tabla 20: Resultados de Ensayo Marshall (SBS)	81
Tabla 21: Cuadro comparativo de Mezcla Asfáltica Convencional vs Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS.....	82
Tabla 22: Análisis Comparativo Económico	83
Tabla 23: Ensayo de penetración AC-20 con SBS	85
Tabla 24: Estabilidad y flujo Marshall mezcla convencional y modificadas	86
Tabla 25: Carpeta asfáltica con asfalto convencional de 7.5 cm de espesor	88
Tabla 26: Carpeta asfáltica con asfalto modificado con SBS de 7.5 cm de espesor	89
Tabla 27: Carpeta asfáltica con asfalto modificado con SBR de 7.5 cm de espesor	90

Tabla 28: Resultados del ensayo para mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros SBS y SBR.....	91
--	----

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo analizar comparativamente las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas con polímeros SBS, SBR, EVA, teniendo en cuenta su comportamiento mecánico y desempeño de ambas mezclas, con el fin de promover los asfaltos modificados con polímeros, especialmente en zonas de altas temperaturas.

Los resultados obtenidos muestran un mejor comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS (mayor uso) y SBR. Ya que nos da una mayor resistencia a tensiones de tracción y proporciona mejores resultados de vida de fatiga en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

Se procedió a identificar las fallas que sufren los asfaltos convencionales en vías de selva obtenidas mediante fuentes bibliográficas, el mal diseño, procesos constructivos inadecuados, los factores climáticos y la carga vehicular de la zona de selva son unos de los principales agentes, además en el aspecto económico se tuvo como resultado que el uso del polímero en la modificación de asfaltos genera mayores costos en el proceso constructivo pero que esta se ve compensado a largo plazo ya que se ahorraría en costos de mantenimiento prematuros y constantes.

Palabras Claves: Polímeros, Mezcla asfáltica convencional, Mezcla asfáltica modificada, Comportamiento Mecánico, Desempeño.

ABSTRACT

The investigation was carried out in order to publicize the improvements in the mechanical behavior and performance of the asphalt mix by adding polymers to the asphalt mixes, in order to promote this technology that already has years of international application, providing a solution to the problem that Peru's roads have today, especially in places where the roads are under high temperatures. Obtaining the bibliographic sources, we proceeded to identify the main faults that roads suffer today due to the aforementioned, later the tests carried out on conventional asphalt mixtures and modified asphalt mixtures with SBS, SBR and EVA polymers were compared where it was evaluated the mechanical behavior and / or the performance of both mixtures.

The results obtained show significant improvements in the mechanical behavior and performance of the asphalt mixtures modified with SBS and SBR polymers, in addition to the economic aspect, they were profitable in the long term because they will not require premature maintenance. However, the use of the EVA polymer was not suitable for the modifications since its mechanical behavior has a risk of brittleness.

Keywords: Modified asphalt mixing with polymers, mechanical behavior, and performance.

INTRODUCCIÓN

El uso de pavimentos asfálticos es un recurso principal y fundamental para el avance tecnológico de cualquier país en crecimiento, con las carpetas de rodaduras en buen estado se logra conectar distintas poblaciones importantes, o aumentar el avance económico de una ciudad alejada geográficamente. En el Perú se realizan obras de pavimentación y se da mantenimiento a las vías asfálticas, utilizando los métodos constructivos comunes de pavimentos; que consiste en la mezcla del asfalto y agregados minerales, en proporciones normadas.

Las zonas selva no ha sido ajena a estos problemas en la pavimentación, ya que la mayoría de sus proyectos no han tenido un buen planteamiento de estudio antes de poder ejecutarse, y sobre todo teniendo en cuenta las propiedades afectadas por el clima de la zona, y que acciones tomar para mejorar estos diseños para que estos factores naturales no trasciendan en este diseño y así pueda incrementarse el flujo vehicular que se tiene previsto. Al existir estos problemas, esta región ha necesitado una fuerte inversión para poder recuperar el funcionamiento de sus carreteras, además de ciertos mantenimientos específicos que se les tenga que dar a cada una según las propiedades afectadas.

Esta presente investigación se divide en 5 capítulos donde presentaremos su contenido:

En el capítulo I, llamado planteamiento del problema, se desarrolla la problemática, los objetivos, la justificación y las limitaciones de la investigación.

En el capítulo II, marco teórico, se habla sobre los antecedentes nacionales e internacionales de la investigación y el sustento teórico de esta investigación, en el cual mencionamos el procedimiento Marshall, ya que en la actualidad es para el diseño de las mezclas asfálticas el más utilizado, además nos proporciona los valores de estabilidad y fluencia que nos indica el comportamiento mecánico de la mezcla.

En el capítulo III, sistema de hipótesis, se plantean las hipótesis de la investigación y el sustento de las variables.

En el capítulo IV, metodología de la investigación, se define el tipo y nivel de investigación, el diseño de investigación, la población de estudio y las técnicas de recolección de datos.

En el capítulo V, se verá la presentación y análisis de resultados de la investigación, donde se desarrolla un estudio comparativo de la mezcla asfáltica convencional y modificada. Además de verificar la rentabilidad del uso de esta tecnología actualmente en el Perú.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación y delimitación del problema

Los pavimentos asfálticos convencionales no están durando el tiempo de vida útil para lo cual fueron diseñados en el Perú. En la actualidad encontramos un aumento considerable en el flujo vehicular de tránsito; así como se puede ver que los pavimentos convencionales han presentado fallas por el tipo de materiales y especialmente por un mal diseño en su estructura.

El pavimento está expuesto a altas temperaturas en zonas selva por lo cual sería una de las causas principales del deterioro de éstos. En muchos casos se trató de utilizar tratamiento superficial para aplicarlos en rehabilitación de los daños del pavimento, pero son insuficientes ya que con el tiempo los problemas comunes como fallas o grietas se volverán a relucir.

Este estudio se va a enfocar en la vía pavimentada en mal estado en zonas selva; para ello utilizaremos los polímeros que contribuyen en mejorar la vida útil de la carpeta asfáltica teniendo en cuenta que es un pavimento expuesto a altas temperaturas, dando una clara mejora en sus propiedades y características mecánicas de resistencia a las deformaciones presentadas por los factores climatológicos.

1.1.1 Problema General

¿Cómo el uso de la mezcla asfáltica modificada con polímeros mejora el comportamiento mecánico del pavimento asfáltico en zonas de selva?

1.1.2 Problemas Específicos

- a) ¿En qué medida las fallas de la mezcla asfáltica se relacionan con las propiedades del pavimento asfáltico en zonas de selva?
- b) ¿De qué manera el tipo y porcentaje de polímero incide en la mejora del comportamiento mecánico para la mezcla asfáltica modificada?
- c) ¿Cuál es la rentabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivos General

Determinar como el uso de la mezcla asfáltica modificada con polímeros mejora el comportamiento mecánico del pavimento asfáltico en zonas de selva.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar en qué medida las fallas de mezcla asfáltica se relacionan con las propiedades del pavimento asfáltico en zonas de selva.
- b) Identificar de qué manera el tipo y porcentaje de polímero incide en el comportamiento mecánico para la mezcla asfáltica modificada.
- c) Determinar la rentabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros

1.3 Delimitación de la Investigación

1.3.1 Temporal

La presente investigación se enfocará en la recopilación bibliográfica de las investigaciones de tesis relacionadas con el tema del uso de los asfaltos modificados con polímeros, las cuales están comprendidas entre el año 2015 al 2020.

1.3.2 Espacial

La investigación se realizará en el distrito de los Olivos y Surco, provincia de Lima, departamento de Lima, en los meses de mayo y diciembre del 2021. En los que nos enfocaremos en el estudio de diferentes investigaciones relacionadas con el tema de mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

1.3.3 Temática

La investigación consistirá en la recopilación de información bibliográfica sobre estudios comparativos actualizados (Comportamiento mecánico, Desempeño y análisis de Costo - Beneficio) de mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con polímeros para zonas selva.

1.4 Justificación e Importancia

1.4.1 Justificación

El presente trabajo de investigación se justificará basándonos en los estudios bibliográficos de ensayos ya realizados, que tuvieron como fin

evaluar el comportamiento de los asfaltos modificados con polímeros bajo altas temperaturas, y se recopilará información de investigaciones anteriores sobre los pavimentos modificados con polímeros existentes en zonas de selva, con lo cual se sustentará el beneficio de su uso.

1.4.2 Importancia

La importancia de la investigación es fomentar el uso del polímero para modificar la mezcla asfáltica en vías ubicadas en zonas de selva, ya que en la actualidad la red vial es fundamental para el desarrollo y crecimiento del país. Asimismo, si las carreteras no son adecuadas para que la población satisfaga sus necesidades básicas, es poco probable que los ciudadanos puedan desarrollar una mejora económica.

El buen diseño de la carretera contribuiría al desarrollo del país; por ello el uso de asfalto modificado con polímeros aumenta la durabilidad y por otro lado disminuye el fisuramiento (asfalto debilitado) por efecto térmico a las altas temperaturas prolongando la vida útil del pavimento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación

A través del tiempo en el Perú se ha ido realizando estudios del porqué se originan la deformación en los pavimentos asfálticos, buscando una mejora tecnológica sobre las mezclas asfálticas con el fin de lograr que alcancen su vida útil en toda la zona del territorio peruano. El Perú presenta una muy alta diversidad ecológica de climas, por sus características geográficas existen zonas con altas temperaturas como es en la selva alta y baja del cual veremos como tema de investigación las consecuencias que genera las carpetas asfálticas al someterse a temperaturas muy altas ocasionando severas fallas a causa de la susceptibilidad térmica que presenta el asfalto. (Huamán & Chang 2015, pp.29-30).

Bustos, Sosa, Rodríguez & Calderón (2018) manifiestan que:

Los copolímeros comúnmente más utilizados en la modificación de asfaltos como son los estirenos, butadieno -estireno más conocidos como SBS, constituido por estireno y butadieno. Este polímero tiene una temperatura de fusión superior a 300°C, estas particularidades hacen que el polímero contenga propiedades elásticas muy necesarias para evitar grietas a baja temperatura con total éxito. Por ello esto ha permitido que el copolímero lo clasifiquen como el más apropiado cuando hablamos en la modificación del asfalto ya que realiza un mejor rendimiento ya sea alta o baja temperatura, aun así, se ha dado de conocer que no satisface totalmente las propiedades necesarias de los ligantes modificados al emplearse para una carretera. Mientras tanto de acuerdo con las investigaciones como es en el caso de Sengoz B y otros hacen mención que al incorporar SBS de 3 a 5 % en su masa logra causar un aumento en el punto de ablandamiento; lo que significa que disminuirá la susceptibilidad a la deformación a altas temperaturas. (pág. 64).

Huamán, N. (2011) nos indica que:

De acuerdo con la tesis que tuvo como objetivo realizar un estudio bibliográfico sobre mecanismos que provocan la deformación en los pavimentos asfálticos, utilizando equipos de laboratorio y campo obteniendo más información que se halla mediante los ensayos realizados con el fin de conocer las fallas y lograr mayor durabilidad con respecto al territorio peruano. De acuerdo con ello, hace referencia de los resultados obtenidos mediante los estudios sobre la reología del asfalto y su comportamiento de la mezcla asfáltica con respecto al tema geográfico. Reportando

que las carpetas asfálticas en zonas de alta temperatura y mayor susceptibilidad térmica sufran fallas por deformación permanente. Del cual el autor finaliza con que se debe escoger correctamente el tipo de ligante de acuerdo con la zona donde el cual se colocará la mezcla asfáltica; entre menos susceptible a la temperatura sea el ligante asfáltico más resistente a la deformación será la mezcla a altas temperaturas. Figueroa, Reyes, Hernández, Jiménez, & Bohórquez (2007) nos indica que:

El uso de asfaltos modificados con polímeros permite obtener mezclas asfálticas de mayor durabilidad y comportamiento bajo las cargas de tránsito. La tecnología de asfaltos modificados se emplea desde hace varios años en diferentes países del mundo. Al utilizar cualquiera de estos modificadores, se pretende tener una resistencia al envejecimiento, a los efectos del agua y en general a las condiciones climáticas, busca una mejor adherencia con los pétreos, propiedades elásticas, de viscosidad y en general con estas condiciones se alcanzan mezclas con mayor resistencia a la deformación y a la fatiga (pp. 7-8).

Borja & Cárdenas, (2019) nos menciona que:

El polímero EVA pertenece a los polímeros plastómeros, al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación, tienen deformaciones pseudo-plásticas con poca elasticidad. Por ende, no son tan utilizados en la modificación del asfalto. (p. 14)

2.1.1 Investigaciones Nacionales

Ibáñez (2015) manifestó en su tesis titulada "Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto: contribución para el tramo de la carretera chilete – Cajamarca" que la realización del método de modificación de asfaltos con polímeros para mejorar las propiedades carpeta asfáltica de rodadura; la finalidad de esta tesis fue desarrollar mediante ensayos, una combinación entre el asfalto convencional PEN 120/150 con el polímero y ácido polifosfórico, que aumente la utilidad de la misma, para ello fue necesario tomar ciertos factores que influyen en el pavimento, entre ellos están los factores geográficos y la carga vehicular que soporta la vía Chilite-Cajamarca. (p.130)

Marín (2008) manifestó en su tesis titulada "Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos", que se dieron a saber los tipos de materiales que se pueden utilizar, para que los asfaltos convencionales se

puedan modificar. De acuerdo con sus ensayos realizados, estos tipos de componentes tienden a variar significativamente el comportamiento de las mezclas asfálticas. La utilización de estos recursos va a depender exclusivamente del criterio del proyectista, que desde su perspectiva técnica debe tener un criterio objetivo.

Fernández, & Manco., (2016) manifestó en su tesis titulada “Diseño de la superficie de rodadura con mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros SBS para mejorar el comportamiento reológico en la carretera CHECCA – MAZOCRUZ en el departamento de puno”, nos dice sobre la utilización del polímero SBS para modificar la mezcla de diseño y obtener un mejor comportamiento reológico.

Infante. & Vásquez (2016) manifestó en su tesis titulada “Estudio Comparativo del Método Convencional y uso de Polímeros EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas”, resalta el costo que pueda tener esta elaboración que un convencional, sin embargo; con el estudio podemos recalcar que el uso de polímeros mejora sus propiedades de estabilidad y a su vez hace referencia de la reducción del costo que pueda tener a un mantenimiento con mezcla asfáltica modificada con polímeros. Hace mención a un proyecto demostrativo en EE.UU donde se utilizó en la ejecución un porcentaje de 7.5% de polímeros SBS, del cual se permitió demostrar el buen rendimiento sobre el tema de resistencia de agrietamiento a los daños provocados por la humedad. En esta investigación se resalta mayormente la demostración mediante ensayos, la estabilización al mezclar empleando polímeros (SBS), También se realizó la evaluación del tiempo de vida del pavimento. (p.17)

Balbín & Enríquez (2020) manifestó en su tesis titulada “Influencia de la mezcla asfáltica modificada con polímeros en zonas cálidas del Perú”, ha de conocer mediante comparación de resultados donde se evaluó el desempeño de una mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica modificada con los polímeros SBS, SBR, y EVA. Con el fin de ser aplicado en las carreteras del Perú dando solución especialmente en vías de altas temperaturas. Además, muestran resultados rentables a largo plazo en el aspecto económico ya que no requerirán mantenimiento antes de la vida útil diseñada. (p.92)

Domínguez & Yovera (2020) manifestó en su tesis titulada “Análisis del efecto de los polímeros en los asfaltos provenientes de la refinería de Talara a fin de mejorar su comportamiento para su aplicación en los pavimentos de la ciudad de Piura, departamento de Piura”, nos dice que actualmente la ciudad de Piura el 40% de las vías asfaltadas se encuentran en mal estado y uno de los factores principales sería el clima y el tránsito vehicular, por lo tanto, concluye el uso de los polímeros ya que según sus resultados los polímeros tipo elastómeros proporciona dureza y recuperación elástica y los elastómeros mejora la resistencia de la estructura asfáltica. (p.100)

2.1.2 Investigaciones Internacionales

Wulf.F (2008) manifestó en su tesis titulada ” Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímeros”, tuvo como resultado que al analizar los resultados de la mezcla asfáltica con los polímeros tendrán un mejor desenvolvimiento que las mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se requería, al realizar este procedimiento se reflejara el buen mejoramiento de sus propiedades de dicha mezcla. En los ensayos de laboratorio realizadas en los dos tipos de materiales, se puede afirmar que la mezcla del asfalto modificado con polímero, claramente nos da una mayor estabilidad incluso siendo sometido a una mayor carga diseñada en comparación al asfalto convencional. (p.105)

Velásquez (2016) manifestó en su tesis titulada “Rehabilitación de Carreteras pavimentadas utilizando mezcla asfáltica en caliente modificada con Polímeros”, hace mención el tipo de polímero elastómero SBS y su mejora en las propiedades físico – mecánico de las mezclas haciendo la comparación con el cemento asfáltico sin modificar. Soportando largos periodos de carga sin problemas de deformación.

La modificación de una mezcla asfáltica en caliente se realiza con el objetivo de mejorar las propiedades de desempeño en la carpeta de rodadura y ampliar su vida útil; asimismo, esto no debe intervenir en el diseño de espesores de las capas (un asfalto modificado no es un asfalto con menor espesor). (p.95)

Aimacaña (2017) manifestó en su tesis titulada “Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales”, se realizó el estudio en adicionar

polímeros a los asfaltos tradicionales para ver sus características, resistencia en las deformaciones por factores climatológicos y de tránsito. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren es por eso que a distintas temperaturas el asfalto posee distinta consistencia, propiedad que determina susceptibilidad térmica. (p.101)

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Asfalto

Asphalt Institute (1982) nos define al asfalto de la siguiente manera:

Un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto usado en los Estados Unidos es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico. El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil, y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas del agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento (pp. 10-11)

Huamán, N. (2011)

Los asfaltos naturales pueden encontrarse impregnados en poros de roca formando las llamadas Rocas Asfálticas (Gilgonita) o también se encuentran mezclados con impurezas minerales.



Figura 1 : Muestra de Asfalto

Fuente: Huamán, N. (2011)

2.2.2 Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Origen y Producción del Asfalto

El asfalto es un producto negro y pegajoso, que proviene del crudo o petróleo. El asfalto se ha convertido en un material importante en la construcción civil.

Una vez que el crudo llega a la refinería se calienta en un gran horno a temperaturas superiores a los 370°C , para después transportarlos a una torre de destilación, el corazón de la refinería. En la torre se fragmenta el crudo en diferentes componentes.

Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo, estos son: Destilación por vacío y extracción con solventes.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío.

Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más

oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio. (Repsol, 2013)

Tabla 1: Composición del Asfalto

Elemento	Betún A	Betún B	Betún C	Betún D
Carbono (%)	83.77	85.78	82.90	86.77
Hidrógeno (%)	9.91	10.19	10.45	10.93
Nitrógeno (%)	0.28	0.26	0.78	1.10
Azufre (%)	5.25	3.41	5.43	0.99
Oxígeno (%)	0.77	0.36	0.29	0.20
Vanadio (ppm)	180	7	1380	4
Níquel (ppm)	22	0.4	109	6

Fuente: Repsol

Propiedades físicas Asfalto

Las propiedades físicas del asfalto más resaltantes del cemento asfáltico, usadas para poder realizar el diseño, construcción y mantenimiento de carretera, son:

Durabilidad

La durabilidad es parte fundamental de un pavimento ya que se pone a prueba su capacidad para resistir diversos factores como desintegración de agregado, polimerización y oxidación del asfalto, las cuales son variables debido a los factores a los que estará expuesto dicho pavimento.

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. (Asphalt Institute, 1982, p. 17)

Cuanto mayor asfalto exista en la mezcla, mayor durabilidad tendremos, debido a que las partículas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las partículas delgadas, lo que hace que mantenga con mayor tiempo sus características iniciales. Además de ello al tener un máximo contenido de asfalto, no dará un sellado eficaz de porcentaje de vacíos en el pavimento, lo que hará una penetración más difícil de aire y agua.

Adhesión y Cohesión

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado. (Asphalt Institute, 1982, p. 17)

La adhesión hace referencia a la capacidad que tiene el asfalto para poder adherirse al agregado en la mezcla realizada para la pavimentación. Siendo esta propiedad de prioridad en el asfalto para que pueda garantizar su tiempo de servicio del pavimento. Mientras que la cohesión es la capacidad de poder mantener las partículas del agregado en un solo puesto dentro del pavimento, esta es importante para cumplir con la propiedad de estabilidad de la mezcla asfáltica.

Susceptibilidad a la Temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se denomina susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado, pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado. (Asphalt Institute, 1982, p. 18)

Se denomina susceptibilidad térmica a la propiedad del asfalto cuando varía su comportamiento según la temperatura en la que este expuesta, esto hará que muestre diferentes consistencias, por ello es mejor mantenerlos en un intervalo de temperatura y que presente menor variación de temperatura.

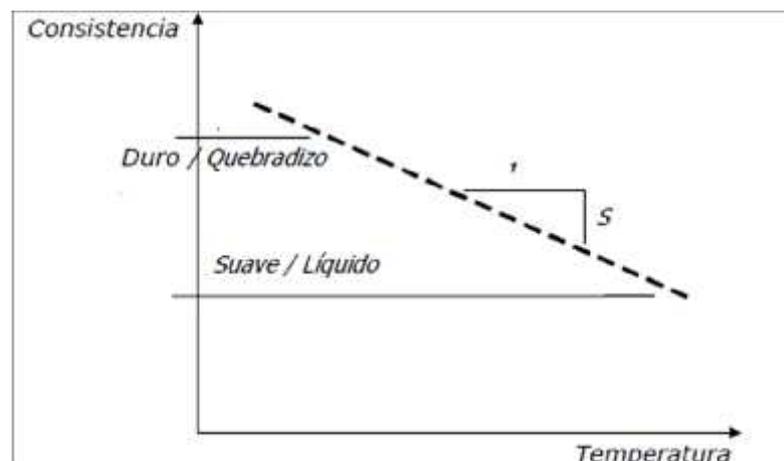


Figura 3 : Comportamiento del Asfalto (Consistencia vs Temperatura)

Fuente: Principios de la construcción de mezclas asfálticas en caliente.
(Asphalt Institute)

En la figura N°3 se muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se lo conoce como susceptibilidad a la temperatura y es la pendiente de la recta (S).

Endurecimiento y Envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación, el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto. (Asphalt Institute, 1982, p. 20)

El envejecimiento es una propiedad derivada del endurecimiento del asfalto, ya que es dependiente del endurecimiento del material y otros procesos oxidativos para que un asfalto pueda envejecer.

Propiedades Químicas del Asfalto

Asphalt Institute (1982) indica que:

Básicamente el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y máltenos, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas:

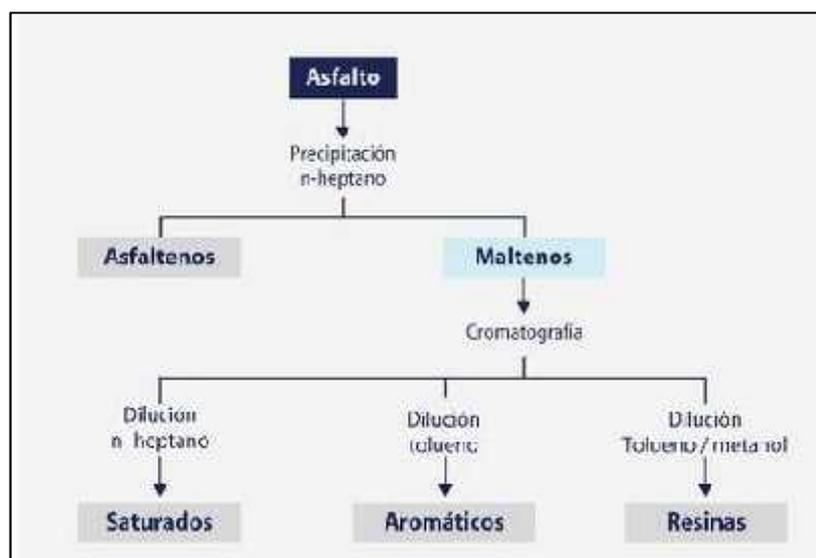


Figura 4 : Constitución Química del Asfalto

Fuente: Repsol

Tabla 2: Composición Química del Asfalto

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN
Carbono	82- 88%
Hidrógeno	8- 11%
Azufre	0- 6%
Oxígeno	0-1.5%
Nitrógeno	0- 1%

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto (2004)

-Asfáltenos: Los asfáltenos no se disuelven en el heptano. Una vez separados de los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza.

-Máltenos: Los máltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro. Proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto. Los aceites son de color más claro que las resinas. Actúan como un medio de transporte para los asfáltenos y las resinas.

La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar debido a diversos factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas del agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo y con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. (p. 17).

Tipos de Asfaltos Utilizados Para Hacer Pavimentos

Cemento Asfáltico (AC)

ASOPAC, (2004) nos comenta que:

Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub clasificar bajo tres sistemas diferentes:

- a) Viscosidad antes del envejecimiento.
- b) Viscosidad después del envejecimiento.
- c) Penetración.

Se prepara comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 70-90, AC 60-80, AC 80-100. Los números indican la penetración en decimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto.

Asfaltos Líquidos

Velazquez, L., (1999) nos indica que:

Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida, por ello no se incluyen en el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. También se los denomina asfaltos rebajados o cutbacks. Se componen por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado.

Asfaltos Emulsificados

Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificante que al añadirle agua llegan a formar una emulsión estable, lo que nos permitirá tender las carpetas asfálticas “en frío”, es decir, a temperaturas menores a 100°C.

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (no se mezclan), como son el asfalto y el agua, a esta mezcla se le añadirá una minúscula cantidad de un agente activador de superficie, tensoactivo o emulsificante de base jabonosa o solución alcalina, esta mantendrá en dispersión el sistema, denominando a la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos del asfalto, en tamaño, entre uno a diez micrones.

Ensayos Para Determinar las Propiedades del Cemento Asfáltico

) Viscosidad

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación requieren, generalmente, ciertos valores de viscosidad a temperaturas de 60°C y 135°C. La viscosidad a 60°C es la viscosidad usada para clasificar el

cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135°C corresponde, aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando. La prueba de viscosidad a 60°C utiliza un viscosímetro de tubo capilar (Figura N° 4), el cual consiste en un tubo calibrado de vidrio que mide el flujo del asfalto. El viscosímetro es colocado en un baño de agua con temperatura controlada y es precalentado a 60°C. Luego se vierte, en el extremo ancho del viscosímetro, una muestra de cemento, una muestra de cemento asfáltico calentada a la misma temperatura. A una temperatura de 60°C, es necesario aplicar un vacío parcial al extremo pequeño del tubo para pasar el asfalto a través del mismo, debido a que el cemento asfáltico es muy viscoso y no puede fluir fácilmente a través de la estrecha abertura del tubo capilar. El tiempo que el asfalto toma para pasar de una marca a otra del tubo es registrado, a medida que este comienza a fluir. Este tiempo es convertido fácilmente a poises, siendo la unidad normal de medida para viscosidad de asfaltos.

El ensayo de viscosidad a 135°C es similar al ensayo descrito anteriormente; sin embargo, debe haber ciertas variaciones debido a que la temperatura es más alta. En primer lugar, es necesario usar un aceite claro en el baño con temperatura controlada debido a que el agua se evaporaría a 135°C. En segundo lugar, se utiliza un viscosímetro que no requiera de la aplicación de vacío debido a que el cemento asfáltico posee suficiente fluidez a 135°C. Por último, la medida de viscosidad utilizada es convertida a centistokes en

lugar de poises, debido que el flujo a través del tubo es inducido por gravedad y no por vacío. (Asphalt Institute, 1982, p.21-22)

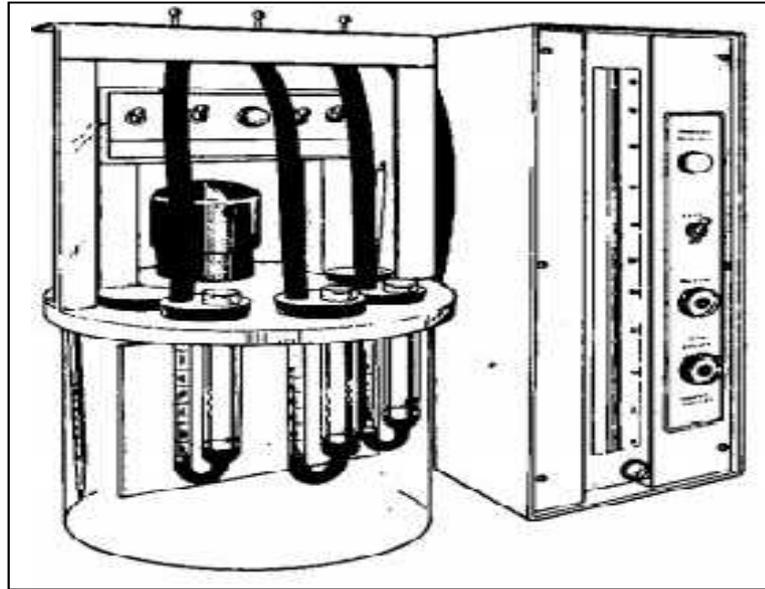


Figura 5 : Viscosímetro de Tubo Capilar en un Baño de Temperatura Constante

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Penetración

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C.

La prueba normal de penetración consiste, como primera medida, en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente, una aguja de dimensiones prescritas se coloca sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y por un tiempo exacto de 5 segundos (Figura N° 6). La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. La cantidad de estas unidades es llamada la “penetración” de la muestra. (Asphalt Institute, 1982, p.22)

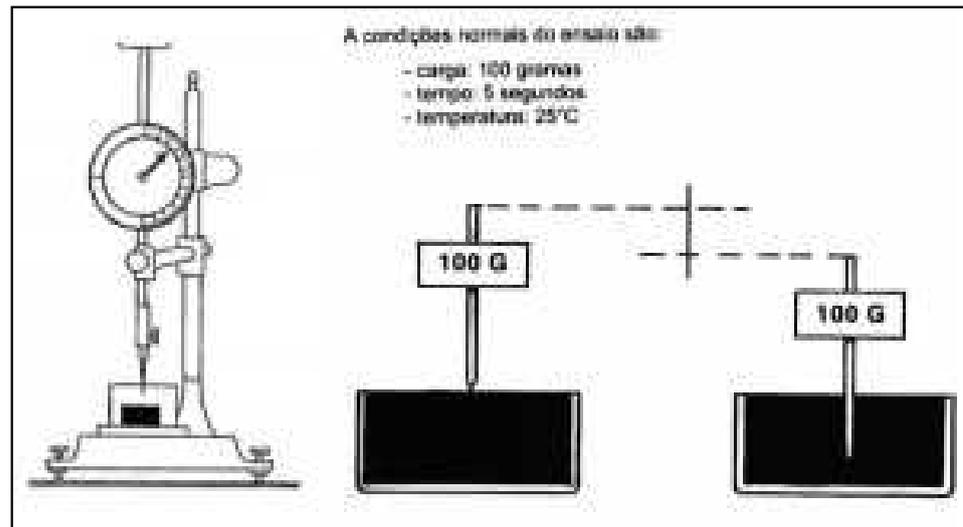


Figura 6 : Ensayo de Penetración

Fuente: Cavalcante (2005).

Punto de Inflamación

Es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto. Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame.

Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado. El procedimiento básico para determinar el punto de inflamación consiste en calentar, gradualmente, una muestra de cemento asfáltico en una copa de latón mientras se está aplicando una pequeña llama sobre la superficie de la muestra (Figura N° 7). La temperatura a la cual se presentan destellos instantáneos de vapores sobre la superficie se denomina punto de inflamación. El ensayo de Copa Abierta de Cleveland es el procedimiento comúnmente usado para determinar el punto de inflamación. Sin embargo,

el Ensayo de Pensky-Martens es a veces usado. Ambos sirven el mismo propósito. (Asphalt Institute, 1982, p.23).

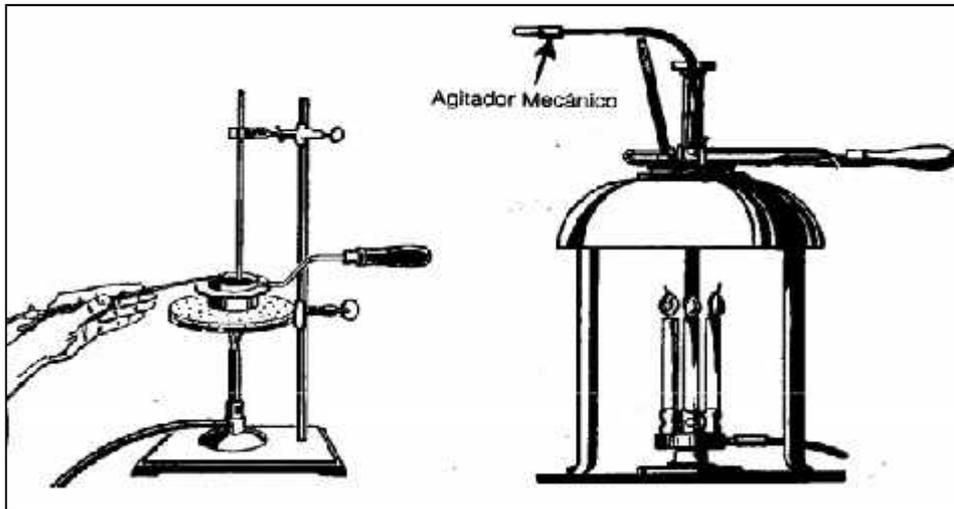


Figura 7 : (I)Ensayo de Copa Abierta de Cleveland, (D)Ensayo de Pensky-Martens

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio

Estas pruebas son procedimientos que exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

El procedimiento de TFO consiste en colocar una cantidad exacta de cemento asfáltico en un platillo de fondo plano tal que la muestra cubra el fondo del platillo con un espesor aproximado de 3 mm (1/8 pulgada). La muestra y el platillo se colocan, luego, en un plato rotatorio dentro de un horno (Figura N° 8), y se mantiene una temperatura de 163°C por cinco horas. En seguida se ensaya la muestra envejecida y endurecida artificialmente, para determinar su valor y viscosidad y/o penetración.

El procedimiento de RTFO tiene el mismo propósito del ensayo TFO, pero utiliza equipos y procedimientos diferentes. Como puede apreciarse en la Figura N° 9, el equipo requerido por la prueba RTFO incluye un horno especial y unas botellas especialmente diseñadas para contener la muestra

del ensayo. La muestra de cemento asfáltico se coloca en la botella, y posteriormente, de costado, en un soporte rotatorio, el cual hace girar continuamente la botella dentro del horno (mantenido a 163°C). La rotación de la botella expone continuamente el cemento asfáltico en forma de películas delgadas. La abertura de la botella pasa, durante cada rotación completa, por un chorro de aire que remueve de la botella cualquier acumulación de vapores.

Las ventajas del ensayo de RTFO sobre el ensayo TFO consisten en que el horno del RTFO permite acomodar un mayor número de muestras y que el tiempo requerido para endurecer las muestras es menor. (Asphalt Institute, 1982, p.23-24)

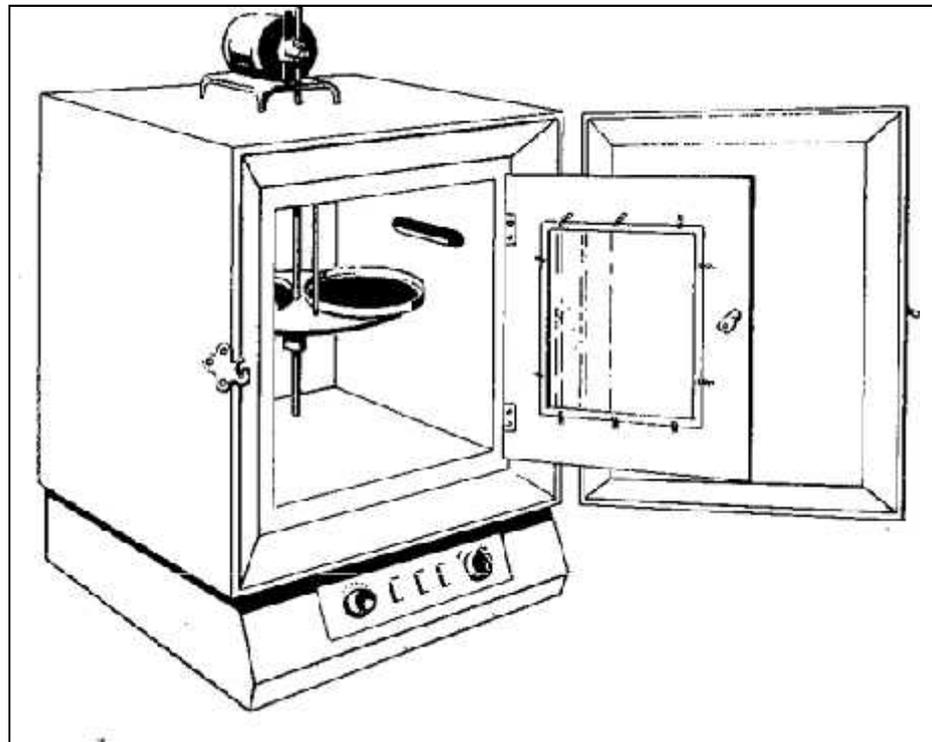


Figura 8 : Prueba de Película delgada en Horno

Fuente: Asphalt Institute (1982)

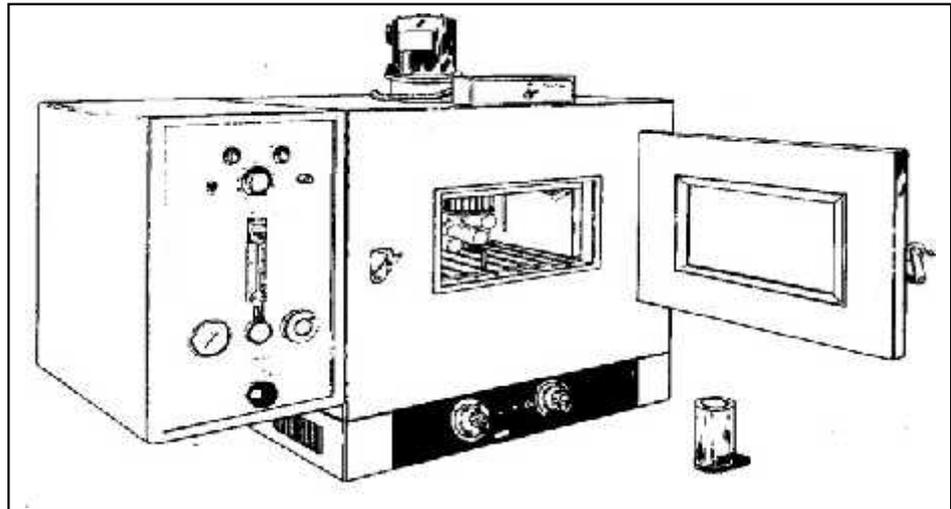


Figura 9 : Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Ductilidad

La ductilidad es una medida de cuánto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de “extensión”, en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y una temperatura específica (Figura N° 10). El estiramiento continúa hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompe. La longitud del hilo de material en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad de la muestra. (Asphalt Institute, 1982, pp.24-26)

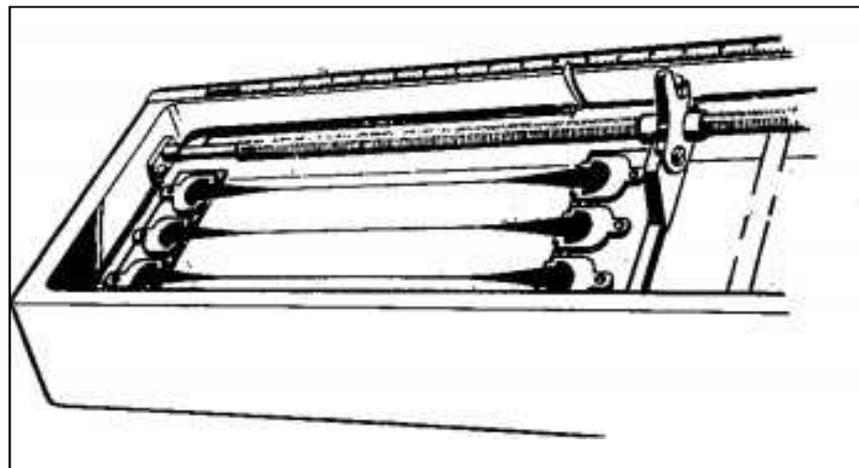


Figura 10 : Prueba de Ductilidad

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Peso Especifico

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. El peso específico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en las especificaciones de la obra. De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

-El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado.

Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen, las cuales serán discutidas más adelante.

-El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado. El peso específico es determinado, generalmente, usando el método del picnómetro. Los resultados para el asfalto, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que el peso específico varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico, a diferentes temperaturas. (Asphalt Institute, 1982, pp. 26-27)

2.2.3 Agregados

Propiedades del Agregado y su Evaluación

Asphalt Institute (1982) indica que:

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. A esto se añade que los agregados deben cumplir ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. (p. 42)

Graduación y Tamaño de Partícula

Asphalt Institute (1982) indica que:

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen

de tamaños y que la partícula de agregado esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

Tamaño Máximo de Partícula. - El tamaño máximo de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

-Tamaño máximo nominal de partículas - Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

-Tamaño máximo de partícula - Designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100% de las partículas de agregado (p. 42).

Limpieza

Las especificaciones de obra suelen colocar límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables como son la vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcillas, etc., en el agregado. Ya que las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. (Asphalt Institute, 1982, p. 51).

Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están cerca de la superficie deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores, debido a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito. El ensayo de desgaste de los ángeles (AASHTO T 96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión. El equipo usado en el ensayo se muestra en la Figura N° 11. (Asphalt Institute, 1982, pp. 51-52)

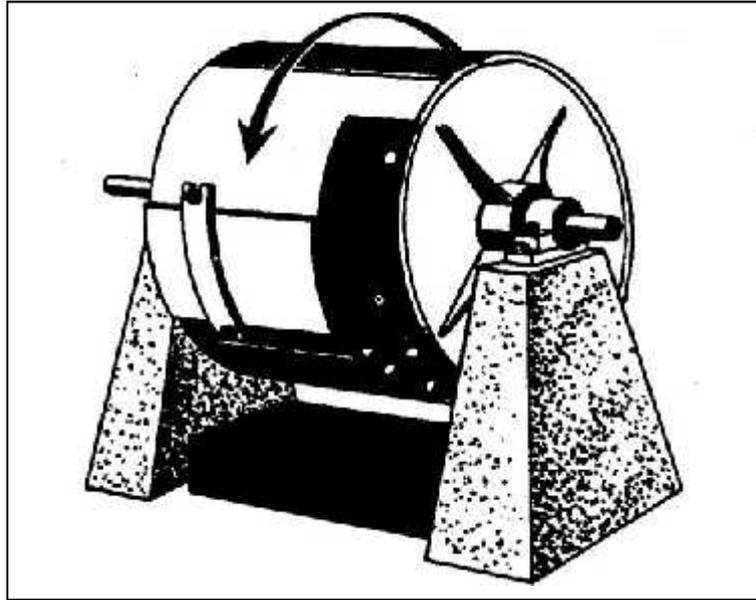


Figura 11 : Máquina de Desgaste de Los Ángeles

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Forma de la Partícula

La forma de la partícula (Figura N° 12) afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida. Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente son partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración. (Asphalt Institute, 1982, p. 52).

Textura Superficial

La textura superficial (Figura N° 12) de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. (Asphalt Institute, 1982, p. 53)

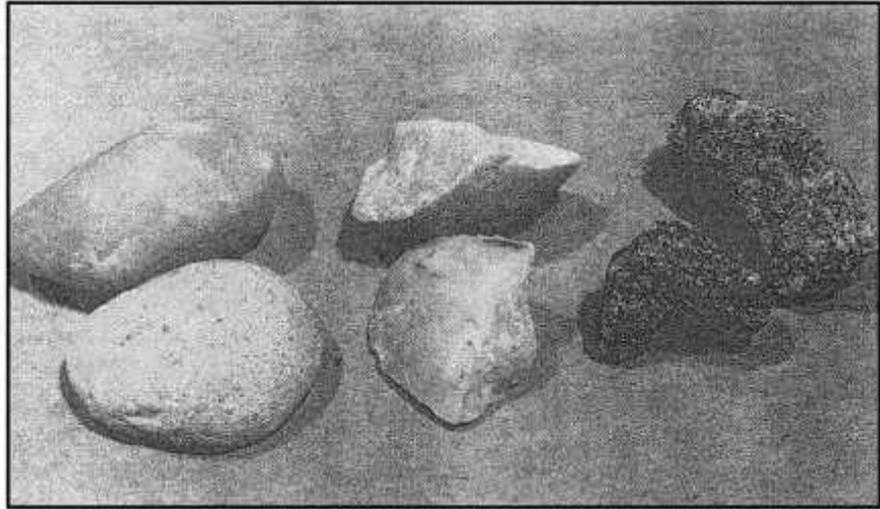


Figura 12 : Agregados con Diferentes Formas y Texturas Superficiales.

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Capacidad de Absorción

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad. La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante, pues si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades muchos mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso. (Asphalt Institute, 1982, p. 53)

Afinidad por el Asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapeanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies. Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. En el ensayo de inmersión-compresión dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un

indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento. (Asphalt Institute, 1982, p. 44).

2.2.4 Mezcla Asfáltica Convencional

En una mezcla en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinaciones en proporciones exactas, estas proporciones determinan las propiedades físicas de la mezcla, así como el desempeño de esta como pavimento terminado. En este trabajo de recopilación bibliográfica se utilizó el Método Marshall para determinar estas proporciones del asfalto y agregado. (Asphalt Institute, 1982, p. 57)

Pruebas de Laboratorio Para Determinar la Característica y Comportamiento de la Mezcla Asfáltica

Las pruebas de laboratorio que se realizan a las muestras de pavimento para determinar su desempeño se orientan en las siguientes características:

Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). Es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa en kg/m³ o lb/ft³. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1,000 kg/m³ o 62.416 lb/ft³). (Asphalt Institute, 1982, pp. 57-58)

Vacíos de Aire

Son espacios pequeños de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. La razón es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, que significa lugares por los cuales pueda entrar agua y aire en la mezcla, y que como consecuencia se generen deterioros. Por otro lado, un contenido pobre en vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. La densidad y el contenido de vacíos están directamente

relacionados. Entre más altas la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. (Asphalt Institute, 1982, p. 58)

A menor porcentaje de vacíos de aire la mezcla será menos permeable. En el diseño de mezclas convencionales, los vacíos de aire están entre 3 a 5% en laboratorio, pero en campo se permite tener vacíos de aire no mayores al 8% permitiendo que la carpeta se compacte bajo tránsito. (Diseño de Mezclas Asfálticas, 2014, p. 167)

Vacíos en el Agregado Mineral

Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen necesario en la mezcla. Cuanto mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Dichos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

La Figura N° 13 ilustra el concepto de VMA. Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. (Asphalt Institute, 1982, p. 58).

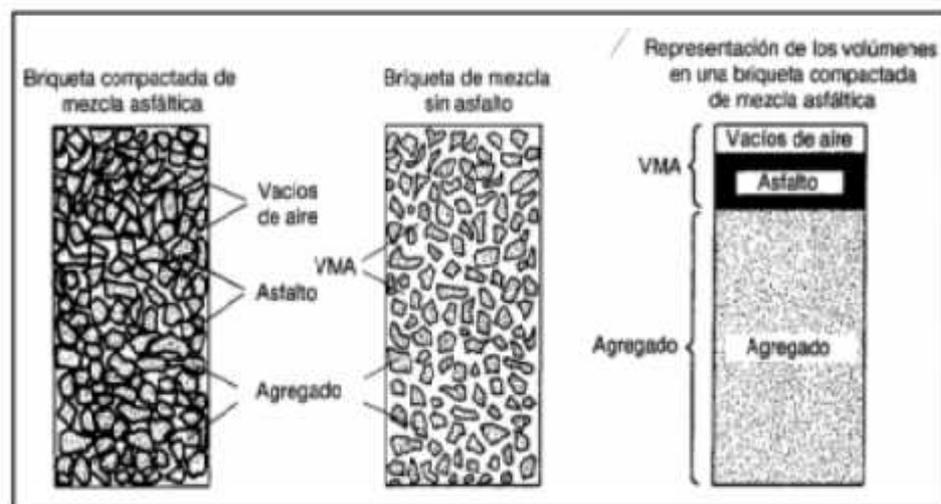


Figura 13 : Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Contenido de Asfalto

El contenido de asfalto de la mezcla se establece usando los criterios dictados por el diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas.

Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral. Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral pueden absorber gran parte del contenido del asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario, por lo que con poco relleno mineral nos resulta una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido de relleno mineral causa cambio en las propiedades de la mezcla, haciéndola varias de seca a húmeda. Si una mezcla poco, o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorara. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla. La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto absorbido y al no- absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionado a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva no absorbido por el agregado. (Asphalt Institute, 1982, p. 60)

Propiedades Consideradas en el Diseño de Mezcla (Método Marshall)

Las propiedades consideradas para el Diseño de Mezcla por el Método Marshall para definir la calidad del pavimento son los siguientes:

Estabilidad

Al hablar de estabilidad, hacemos referencia a la capacidad que tiene el asfalto de poder mantenerse en una sola posición, es decir, resistir el desplazamiento y deformación cuando se les somete a las cargas de tránsito. Esto nos ayudara a tener una forma uniforme a pesar de que se someta a cargas similares; de no ser así, el pavimento presentara ahuellamientos, ondulaciones entre otras. Por tal motivo la prueba de la estabilidad está incluida en el Método Marshall.

Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de los que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla. La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tránsito). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdidas de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. (Asphalt Institute, 1982, p. 61)

Durabilidad

Es la habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. La durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. La durabilidad aumenta con la mayor cantidad de asfalto, porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, resistente a la separación contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento.

Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento. La Tabla N° III figura una lista de algunas de estas causas y efectos. (Asphalt Institute, 1982, p. 62)

Tabla 3: Causas y Efectos de una Poca Durabilidad

POCA DURABILIDAD	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Impermeabilidad

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados. La Tabla N° IV describe ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa. (Asphalt Institute, 1982, pp. 62-63)

Tabla 4: Causas y Efectos de la Permeabilidad

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad
Compactación inadecuada	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: Asphalt Institute (1982)

Trabajabilidad

Está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación. Es importante usar mezclas trabajables en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla. Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla

afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla. (Asphalt Institute, 1982, pp. 63-64)

Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de estos. (Asphalt Institute, 1982, p. 64)

Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Asimismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. (Asphalt Institute, 1982, pp. 64-65)

Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (Asphalt Institute, 1982, p. 65)

2.2.5 Polímeros

Son sustancias macromoleculares o sintéticas. Son sustancias macromoleculares o sintéticas, obtenidas a partir de moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por consiguiente, un polímero es un compuesto con elevado peso molecular, cuya estructura se representa por la repetición de pequeñas unidades.

Los polímeros, una vez dispersos en el asfalto, llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado que confiere propiedades relevantes de elasticidad al asfalto modificado. (Diseño Racional de Pavimentos, 2003, p. 86)

Polímeros Utilizados en la Modificación de Asfaltos

En la actualidad los cementos asfálticos son modificados comúnmente con:

- a) Elastómeros: Son aquellos que al tensarlos y dejar de hacerlo, vuelven a su posición original; es decir, son muy elásticos. (Polímeros Naturales, proceden de los seres vivos Ejemplo: Algodón, Seda, Caucho Natural; Polímeros Sintéticos, se obtienen en la industria o en el laboratorio, Ejemplo: Plásticos, Kevlar, Tergal, Nylon. El petróleo, hoy en día es el más importante insumo para la producción de polímeros sintéticos y además SBS, SBR).
- b) Plastómeros: Son aquellos que al tensarlos, se sobrepasa la tensión de fluencia no volviendo a su longitud original al cesar la

solicitud, (EVA: etileno-acetato de vinilo; EMA: Etileno-acrilato de metilo; PE: Polietileno, tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas; PP: Polipropileno; Poliestireno: una alternativa de poco uso). (Ciencia dos Polímeros, 2002, p. 5)

2.2.6 Modificación de Asfalto

La modificación del asfalto, es una nueva técnica que permite el aprovechamiento efectivo de los asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica, consiste en la adición de polímeros tipo elastómeros, fundamentalmente SBS; a los asfaltos convencionales, con la finalidad de mejorar sus características físico-mecánicas y la reología, (ver Figura N°14) es decir, mejorar su resistencia a las deformaciones. Entonces, los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos son:

- a) Contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez.
- b) Disminuir los fisuramientos por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentan su elasticidad.
- c) Contar con un ligante de mejores características adhesivas. (Polymers in Asphalt, 2004, p.15).

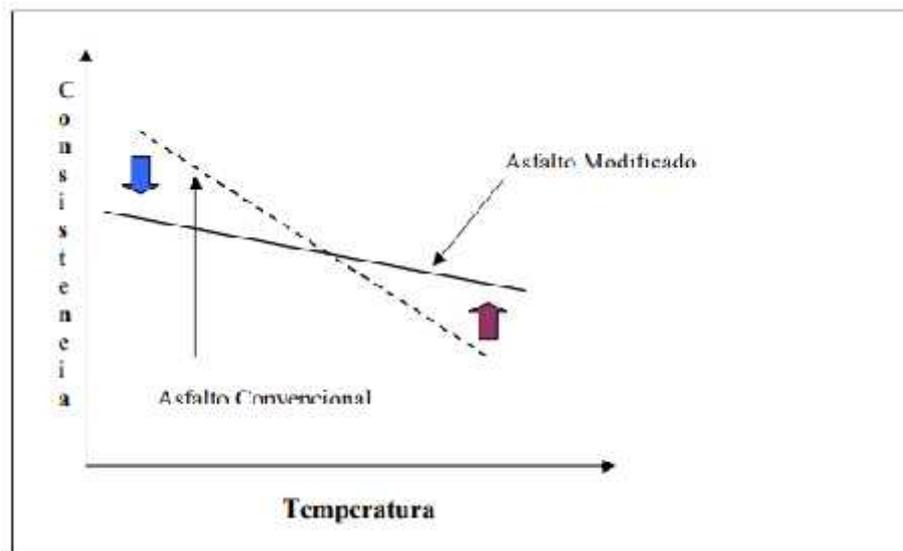


Figura 14 : Comportamiento Asfalto Convencional vs. Asfalto Modificado

Fuente: Introducción a la Reología de los Asfaltos Modificados, Costa Rica, 2004.

Objetivos de la Modificación

Los modificadores le permiten al diseñador intervenir sobre las características mecánicas del asfalto. Entre otras se puede mencionar la reducción de la susceptibilidad térmica, en la búsqueda de unas características reológicas constantes, especialmente a elevadas temperaturas de servicio. En consecuencia, ello implica modificar las propiedades de las mezclas, en el sentido de disminuir tanto la deformación plástica a alta temperatura, como la rigidez a baja temperatura, ofreciendo un mejor comportamiento en servicio ante la acción de cargas circulantes más pesadas del tránsito, independientemente de las condiciones climáticas imperantes. Un asfalto convencional, presenta un cambio continuo de sus características en todo el rango de temperaturas de operación. El asfalto ideal es aquel que muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a las temperaturas de la mezcla y compactación. La adición de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto, tal como se muestra en la Figura N° 15 obteniéndose debido a una mejora en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de servicio a las deseadas en un asfalto ideal. (Montejo, 2002, p.617-618).

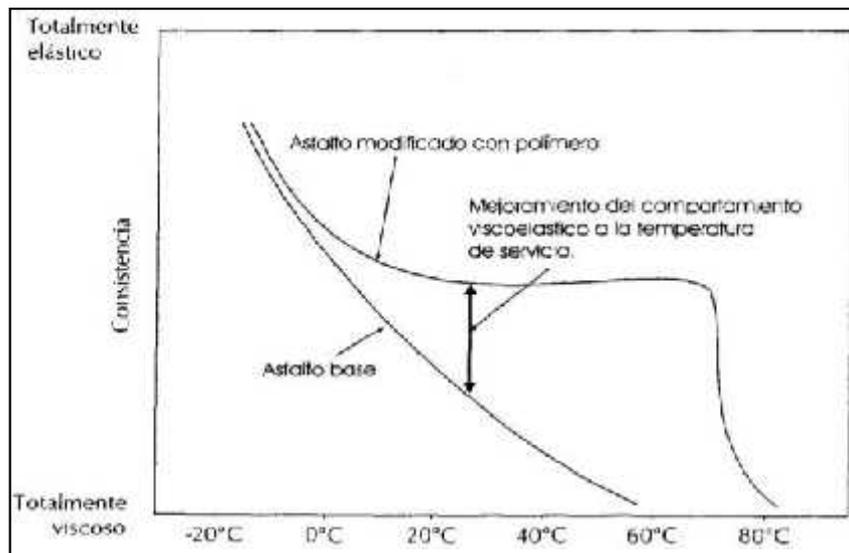


Figura 15 : Efecto de incorporación del polímero sobre la susceptibilidad térmica

Fuente: Montejo (2002)

Beneficios con la modificación del Asfalto

Los principales beneficios que se persiguen con la modificación del asfalto:

- Z Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.
- Z Reducir la rigidez a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.
- Z Aumentar la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Z Mejorar la adhesión con los agregados pétreos.
- Z Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados en la vida inicial de los tratamientos superficiales Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.
- Z Disminuir la susceptibilidad térmica en el rango de temperatura de servicio.
- Z Aumentar la viscosidad a bajas velocidades de corte, permitiendo mejores espesores de película en el agregado de las mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.
- Z Existe una variedad de aditivos que pueden ser exitosos en la mejora de cuando menos una de las propiedades del asfalto, pero, es necesario tener en cuenta que no existe un aditivo que mejore todas las propiedades antes descritas. (Montejo, 2002, p.619)

2.2.7 Asfaltos Modificados con Polímeros

Estructuras de los Asfaltos Modificados

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continúa constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto

parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad vs temperatura, sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas, permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperatura. (Velázquez, 2016, p.70)

Proceso de Modificación de un Cemento Asfaltos

En la investigación de Avellán (2007), se utilizó 360 toneladas de mezcla asfáltica modificada en un tramo de 813 metros de carretera, el área donde fue tendida fue un tramo plano con una sección curva.

El Equipo utilizado es similar al que se usa en una mezcla asfáltica convencional, no se utiliza la compactadora neumática, se utiliza un camión regador para aplicar el riego de liga, una máquina pavimentadora para colocar la carpeta asfáltica del espesor requerido y un rodo vibratorio de doble tambor para la compactación.

También se requieren los operadores de cada máquina, un operador del camión regador, un operador para la máquina pavimentadora, dos personas encargadas de emparejar las orillas de la pavimentadora, un encargado de chequear el espesor de la carpeta y un operador del rodo vibratorio.

La aplicación de la mezcla con asfalto modificado fue sobre un pavimento asfáltico, el proceso que se siguió fue el siguiente:

- a) Se verificó que la superficie esté completamente nivelada y libre de cualquier clase de desechos antes de empezar a pavimentar.
- b) Se aplicó un riego de liga a razón de 0.07 a 0.18 gal/m², con la finalidad de que exista adherencia entre la carpeta existente y la nueva.
- c) Se revisó la temperatura a la que se entregó la mezcla asfáltica ya que no es adecuado compactar a temperaturas muy bajas.

- d) La pavimentación se llevó a cabo utilizando una pavimentadora o finisher, la cual está conformada por dos unidades: la del tractor y la del enrasador. La unidad del tractor incluye una planta motriz y el enrasador es el encargado de colocar la carpeta de mezcla en caliente y controlar el espesor de esta, aunque el espesor es siempre revisado por un encargado que va midiendo con una varilla graduada. La plancha del enrasador debe ser calibrada para estar a la temperatura de la mezcla y evitar enfriamiento prematuro de la mezcla asfáltica. (Ver figura N°16).



Figura N° 1: Fotografía de Pavimentadora en Obra

Fuente: Avellán (2007)

- e) Se procedió a compactar, esto consistió en comprimir el volumen de mezcla asfáltica para así obtener un volumen menor con el fin de aumentar la resistencia y estabilidad de la mezcla, también de cerrar los espacios por donde pueda colarse agua o aire, debido a que estos dos factores son dañinos. La carpeta fue compactada a 132 – 141°C, se deben evitar temperaturas menores debido a que el tipo de asfalto utilizado ha sido modificado con polímeros de tipo elastómeros, lo cual hace que el bitumen se vuelva más viscoso y esta propiedad aumenta conforme la temperatura disminuye.
- f) En el proceso de compactación se utilizó únicamente un rodo vibratorio doble tambor. No es necesario utilizar una

compactadora neumática.

El tiempo utilizado para la aplicación de la carpeta fue de 4 horas, y las condiciones climáticas fueron favorables, con una temperatura ambiente de 27°C.



Figura 16 : Fotografía de Compactación de la Mezcla Asfáltica

Fuente: Avellán (2007)

Técnicas Para Modificar Asfaltos

Acosta & Herrera (2016) indica que:

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de los siguientes parámetros:

- a) Tipo de polímero a emplearse ya sean elastómeros o plastómeros.
- b) Su forma física.
- c) Naturaleza y grado de asfalto.
- d) Tipo de equipo.
- e) Tiempo y temperatura durante el mezclado.
- f) La compatibilidad Asfalto - Polímero.

El proceso apropiado de modificación es variable de acuerdo con el tipo de polímero, polímeros del tipo SBS requieren etapas de molienda y otros como el tipo EVA requieren solamente proceso de agitación. (p.34)

En la investigación de Rodríguez (2008) mencionan de manera general las etapas importantes del proceso de modificación:

- a) Polímero EVA. - En esta no se requiere un molino, solamente

es con agitación y temperatura, en un tiempo corto el polímero se funde y se incorpora al asfalto. Por lo regular son 2 horas a 180° C, el control de calidad se observa mediante la prueba visual (microscopía óptica).

b) Polímero Látex SBR. - La operación de modificación se lleva a cabo a una temperatura de 160° C a 170° C. La adición del látex se realiza mediante una bomba de diafragma que puede ser adicionada mediante aire o motor eléctrico. El tiempo de agitación depende del equipo empleado. Los tiempos normales para todo el proceso del látex y mezclado oscilan entre 1.5 y 2 horas.

c) Polímero SBS

Etapas 1. Evaluar el asfalto base.

Etapas 2. Incrementar la temperatura del asfalto.

Etapas 3. Proceso de molienda y/o homogeneización asfalto - polímero. Se requiere de un molido de alto corte.

Etapas 4. Controlar la calidad a través de microscopía óptica.

Etapas 5. Finalización de la reacción. Control de calidad

realizando corrida de pruebas físicas para asfaltos

modificados después de 24 horas de reacción. Las

temperaturas de mezclado son de 180° C a 190° C. Y el

tiempo de mezclado varía dependiendo de la dispersión del

polímero. (p.29)

Pruebas de laboratorio Para Determinar la Característica y Comportamiento de la Mezcla Asfáltica Modificada

Montejo (2002) nos comenta que:

En la actualidad, los asfaltos modificados se caracterizan a través de ensayos de tipo convencional, así como de otros que se han desarrollado específicamente adaptados a las particularidades de este nuevo ligante.

Algunos de ellos se describen someramente a continuación (p.625):

Ensayos de Identificación y Composición:

Estos ensayos tienen por objeto conocer el tipo y proporciones del polímero en el ligante. En algunos polímeros de uso generalizado en la modificación de los ligantes bituminosos, como los polímeros de estireno- butadieno-

estireno (SBS), se determina su proporción mediante técnicas analíticas convencionales, como son la extracción selectiva con disolvente o precipitación del polímero; pero generalmente es necesario el empleo de técnicas como la espectroscopia infrarroja, cromatografía sobre geles porosos, etc., para su determinación. (Montejo, 2002, p. 626)

Ensayos de compatibilidad

Se debe hacer una estimación a priori de la compatibilidad para el caso de polímeros termoplásticos y cauchos sin vulcanizar, comparando los parámetros de solubilidad del polímero y del ligante; o bien mediante la relación hidrofílica -lipofílica (HLB) si el polímero es un termoendurecible; pero el control de la dispersión del polímero en el ligante se realiza generalmente por microscopía óptica de fluorescencia por reflexión técnica que permite observar la micromorfología de estos ligantes. La micromorfología depende, además del método y condiciones de fabricación, de la compatibilidad de los dos componentes, por lo que puede ser un método rápido para evaluar esta característica. (Montejo, 2002, p. 626)

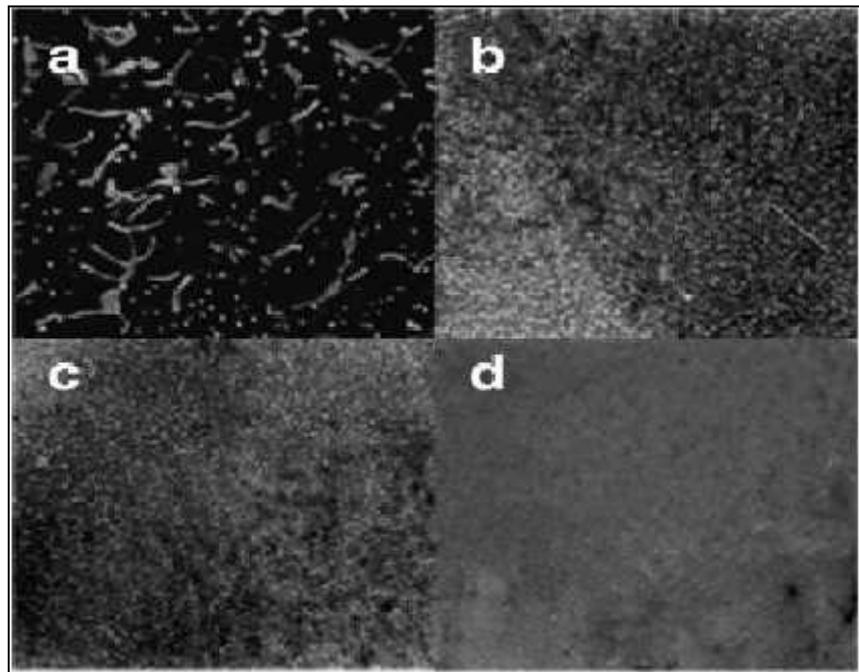


Figura 17 : Compatibilidad asfalto base-polímero SBS

Fuente: Bustos, Sosa, Rodríguez, & Calderón (2018)

Ensayos para Determinar la Estabilidad al Almacenamiento

Durante el almacenamiento a elevadas temperaturas se pueden producir, en los ligantes modificados con polímeros, fenómenos de cremado o sedimentación, enriqueciéndose el ligante en polímero en la parte superior o inferior del tanque, dependiendo de la densidad del polímero respecto al ligante. Esta desestabilización se puede producir por falta de compactibilidad entre ambos, y/o por dispersión incorrecta del polímero, porque el sistema y condiciones de mezclado sean deficientes.

La mayoría de los procedimientos ideados para valorar este fenómeno consisten en mantener el ligante-polímero en un recipiente en posición vertical sobre una estufa a elevada temperatura durante un período de tiempo razonable y tomar muestras en la parte superior e inferior del recipiente para detectar las diferencias de concentración del polímero entre ellas, generalmente de manera indirecta a través del ensayo de punto de ablandamiento. . (Montejo, 2002, p. 626)

Ensayos de comportamiento reológico y susceptibilidad a la temperatura:

Las propiedades reológicas de los ligantes-polímero se evalúan generalmente mediante los ensayos convencionales utilizados en la caracterización de los ligantes bituminosos, es decir: penetración, punto de ablandamiento, índice de penetración, punto de fragilidad Fraass, ductilidad y viscosidad a varias temperaturas. (Montejo, 2002, p. 627)

2.2.8 Costos y Presupuestos

Como ya tenemos conocimiento cada actividad realizada ya sea en obra o no, genera una lista de costos que afecta de manera directa al valor que tiene la obra. Así como el costo del material, herramientas, instrumentos, entre otros; y existen otros que influyen de manera indirecta como son los honorarios generados por los trabajadores, etc.

Por ello podemos separarlo e identificarlo de la siguiente manera:

- Costos Directos: materiales, mano de obra, equipos, herramientas.
- Costos Indirectos: supervisión, honorarios, impuestos, luz y agua para el personal.

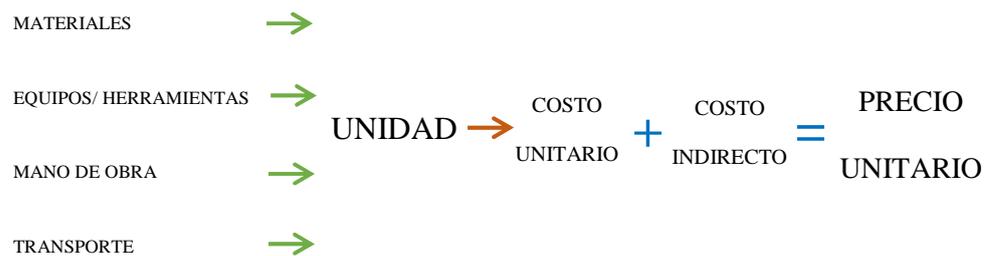
En resumen:

Costos directo + costo indirecto + utilidad = costo total de la obra.

Análisis de Precios Unitarios

El análisis de precio unitario se basa en desglosar el costo por unidad de medida de cada unidad, identificando los rendimientos, costos y cantidades de cada material a usarse en dicha partida, de esta manera se puede fijar el costo en los diferentes componentes de la unidad como: materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos.

En resumen:



2.2.9 Definición de Términos Básicos

Asphalt Institute (1982) menciona conceptos brindados a continuación que se han obtenido del Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

- a) **AGREGADO:** Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
- b) **AHUELLAMIENTO:** Surcos que pueden desarrollarse sobre un pavimento en los carriles de las ruedas. Los ahuellamientos pueden ser resultados de una consolidación o movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico, o pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Pueden ocurrir bajo efectos del tráfico en pavimentos asfálticos nuevos que han tenido muy poca compactación durante su construcción, o como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir tráfico.
- c) **ASFALTO:** Es un material aglutinante de consistencia variable, de color oscuro, puede encontrar naturalmente y/o

refinación de petróleos. Está constituido por mezcla compleja de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular.

- d) **CEMENTO ASFÁLTICO:** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.
- e) **COMPACTACIÓN:** El acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Muy poca compactación en las capas asfálticas de pavimento puede generar una canalización de la superficie. Generalmente, la compactación se logra usando los rodillos o cilindradoras.
- f) **CONCRETO ASFÁLTICO:** Una mezcla en caliente, muy bien controlada, de cemento asfáltico (de alta calidad), compactada muy bien para formar una masa densa y uniforme.
- g) **CONSISTENCIA:** Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia del cemento asfáltico varía con la temperatura; por lo tanto, es necesario usar una temperatura patrón cuando está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro. La temperatura patrón es de 60°C (140°F).
- h) **DEFORMACIÓN:** La deformación de un pavimento es cualquier cambio que presente el pavimento con respecto a su forma original.
- i) **DENSIDAD:** El grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada y que solo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa.
- j) **DESINTEGRACIÓN:** La separación progresiva de partículas de agregado en el pavimento, desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia el interior. La desintegración puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa muy delgada en periodos fríos,

agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla, o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

- k) **DUCTILIDAD:** La habilidad de una sustancia de ser estirada o estrechada en forma delgada. Aun cuando la ductilidad se considera como una característica importante del cemento asfáltico en muchas de sus aplicaciones, la presencia o ausencia de ductilidad es generalmente considerada más importante que el mismo grado de ductilidad.
- l) **DURABILIDAD:** La propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación que describe su habilidad para resistir desintegración por efectos ambientales o de tráfico. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto, tales como oxidación y volatilización, y cambios en el pavimento y en el agregado debido a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo.
- m) **ESTABILIDAD:** La habilidad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.
- n) **ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:** Una estructura de pavimento con todas sus capas compuestas de mezclas de asfalto y agregado, o con una combinación de capas de asfalto y capas de agregado sin tratar, colocadas sobre una subrasante tratada o sin tratar.
- o) **EXUDACIÓN:** Es un tipo de falla producido por el exceso de material bituminoso a la superficie del pavimento.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

El uso de la mezcla asfáltica modificada con polímeros mejora el comportamiento mecánico del pavimento asfáltico en zonas de selva.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- a) Las fallas de mezcla asfáltica se relacionan con las propiedades del pavimento asfáltico en zonas de selva.
- b) El tipo y porcentaje de polímero incide en el comportamiento mecánico para la mezcla asfáltica modificada.
- c) La mezcla asfáltica modificada con polímeros es rentable.

3.2 Variables

3.2.1 Definición Conceptual de Variables

J Variable Independiente: Polímero

Se analizará las investigaciones que tengan como objetivo estudiar la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS, SBR y EVA, cada una de ellas con un porcentaje indicado para que el pavimento muestre mejoras.

J Variable dependiente: Fallas de Mezcla Asfáltica, comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica y rentabilidad.

Mediante los resultados del ensayo Marshall podremos dar a conocer el comportamiento de la mezcla asfáltica al ser añadido los polímeros SBS, SBR y EVA, además de ello veremos el costo que estas conllevan.

3.2.2 Operacionalización de las Variables

Tabla 5: Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTO
Independiente					
Polímeros	Son macromoléculas formados por la unión de compuestos más pequeños "monómeros", que se repiten a lo largo de toda una cadena.	Los polímeros tiene como finalidad mejorar las características físico, mecánicas, es decir mejora su resistencia a las deformaciones.	Tipo y Cantidad de Polímero	% polímero, SBS	Investigaciones Nacionales e Internacionales
Dependiente					
Fallas de la Mezcla Asfáltica	Es la segregación de material, son producidas por no tener un adecuado proceso constructivo por los agentes climáticos de la zona a la que esta expuesta.	Las fallas se debe a un mal mantenimiento además por las fatigas o cargas que están siendo sometidas a sus capas.	Propiedades Afectadas - Resistencia y Estabilidad	Segregación, abultamiento y fisuras	Investigaciones Nacionales e Internacionales
Comportamiento Mecánico en la Mezcla Asfáltica	Consiste en estudiar el comportamiento interno de un modelo estructural, en referente a los esfuerzos, deformaciones y deflexiones.	El comportamiento mecánico genera los parámetros fundamentales para el diseño estructural del pavimento o evaluación de estructuras existentes.	Ensayo Marshall	Estabilidad y Fluencia	Investigaciones Nacionales e Internacionales
			Ensayo de Hamburg Wheel Tracking	Profundidad de abultamiento	Investigaciones Nacionales e Internacionales
			Ensayo de desgaste	Modulo Resiliencia	
			Ensayo de tracción indirecta	Porcentaje de desgaste superficial	
			-Ensayo de módulo de resiliencia	-Resistencia a la Tracción Indirecta	
-Ensayo de vida fatiga	-Resistencia a la Fatiga				
Rentabilidad	Son los beneficios que proporciona una actividad detrás de una inversión.	Análisis del costo- beneficio de una actividad a realizar.	Precio Unitario	Costo-Beneficio	Investigaciones Nacionales e Internacionales

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y Nivel

El tipo de esta investigación fue básica, ya que fue un aporte para poder ver como los polímeros mejoran a las mezclas asfálticas en las altas temperaturas de la selva peruana.

4.2 Diseño de la Investigación

Esta investigación de diseño No Experimental, ya que se pudo llevar a cabo sin manejar las variables, más nos basamos en la recolección de diversos trabajos de investigación ya culminados en la zona de estudio, las cuales no han sido modificados ni variados.

4.3 Población y Muestra

“Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, p.174).

La población de la presente investigación se basó en el análisis al comparar el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímeros internacionales y nacionales.

4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos fue tomada por medio de investigaciones ya realizadas, tomando en cuenta que sean de zonas con temperaturas altas y contengan el diseño de mezclas asfálticas, ensayos en los laboratorios para poder determinar sus propiedades.

4.4.1 Procedimientos Para la Recolección de Datos

-) Se eligieron los trabajos de investigación que se realizaron en zonas cálidas.
-) Se identificaron los daños más comunes que sufren los pavimentos en zonas cálidas.
-) Se eligieron los trabajos de investigación que se utilizaron como asfalto base CAP PEN 60/70 o similar.
-) Se escogieron los diseños de mezclas asfálticas que se elaboraron mediante el método de Marshall, para compararlas bajo un mismo tipo de diseño.
-) Se identificaron los diferentes tipos de polímeros más usados.

) Se recopiló información de presupuestos elaborados en las investigaciones ya realizadas y recopiladas para esta investigación.

4.5 Técnicas Para el Procesamiento y Análisis de la Información

) Se consideraron zonas cálidas como la selva peruana ya que presentan temperatura promedio anual de 24° C a más.

) Se realizó un cuadro comparativo con los resultados de las investigaciones (Ensayo Marshall, Ensayos de Desempeño y Análisis Comparativo Costo – Beneficio)

CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

5.1 Tipos de Suelos Comunes en Zonas de Selva

Al hablar de la zona selva podemos determinar que predominan los suelos profundos, con tonalidad amarilla y rojiza, ácidos y de buen drenaje, son llamados también como acrisoles o rojo amarillo, además de ello también están compuestos de suelos arcillosos con hierro o arcilla expandible. Lo que nos da el indicio de ser un suelo arenoso de tendencia limo arcilloso, donde predominan las arenas pobremente graduadas limosas.

Si las identificamos en el sistema de clasificación SUCS como un SP-SM, con una participación del 44%, más en el sistema de clasificación AASHTO como un A-3(0), con una participación del 56%



Figura 18 : Identificación del tipo de suelo in-situ

Fuente: Propia

De acuerdo con el tipo de suelo in-situ se encontró un SP-SM, en el sistema de clasificación AASHTO como un A-3(0).

5.2 Fallas comunes en mezclas Asfálticas Convencionales en Zonas de Selva

Según los puntos tratados a lo largo del tema de investigación podemos llegar a concluir que la mayoría de las vías hechas con mezcla asfálticas ubicadas en la zona selva, las cuales tienen como característica tener altas temperaturas, sufren fallas tales como ahuellamiento, desplazamiento o deformación.

De acuerdo con la evaluación de pavimentos revisado en el índice de Condición de Pavimentos (PCI) en el tramo como estudio de nuestra investigación podemos ver

como sufre esa zona con un tipo de falla al presentarse un gran porcentaje de ahuellamiento.

Además de la falla ya mencionada, existe otra la cual es considerada como propio de la zona debido a la frecuencia con la que se presenta esta es la Exudación, y se produce por el alto contenido de asfalto en una mezcla, brotando manchas negras aisladas.



Figura 19 : Fallas comunes en zona de selva (Exudación, piel de cocodrilo)

Fuente: Propia



Figura 20 : Fallas comunes en zona de selva (Ahuellamiento, huecos)

Fuente: Propia

En la siguiente tabla (Tabla VI) podremos ver el caso de 5 vías, que cumplen con la zona geográfica en la cual se basa nuestra investigación, caracterizándose con temperaturas en el rango de 26 ° C a 40 ° C. Podremos ver que los tipos de fallas más comunes en esta zona son ahuellamiento y exudación.

Tabla 6: Fallas en pavimentos asfálticos en zona de la selva del Perú

CARRETERA	UBICACIÓN	FALLAS SUPERFICIALES	CAUSAS	CARACTERÍSTICAS
Corral Quemado - Chachapoyas	Amazonas	Ahuellamiento y fisura	Fallas geológicas y factores climáticos	Altitud: 26 msnm
				Clima: cálido y lluvioso
				Temperatura: 28 ° C
Tramo 5 - Emp-PE35 Concepción-Comas-Satipo	Satipo	Ahuellamiento severo	Factores climáticos (alta temperatura)- tránsito pesado	Altitud: 628 msnm
				Clima: tropical
				Temperatura: 23 ° C
Carretera Huánuco – Tingo María	Tingo María	Ahuellamiento moderado	Tránsito pesado	Altitud: 64 msnm
				Clima: cálido y tropical
				Temperatura: 26 ° C
Corredor 16 tramo 2 Iquitos - Nauta	Iquitos	Ahuellamiento, exudación y fisura	factores climáticos (alta temperatura)	Altitud: 105 msnm
				Clima: cálido y lluvioso
				Temperatura: 34 ° C
Tramo 6 Carretera Paita - Piura y Piura - Olmos	Piura - Lambayeque	Ahuellamiento moderado y severo	Factores climáticos (alta temperatura)	Altitud: 35msnm
				Clima: tropical
				Temperatura: 30 ° C

Fuente: Elaboración Propia

5.3 Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico y Desempeño de la Mezcla Asfáltica Convencional y la Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros

5.3.1 Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica (Ensayo Marshall)

De acuerdo con las investigaciones encontradas sobre mezclas asfálticas modificadas con polímeros nacionales, así como internacionales, trabajaremos con 4 casos radicados en la zona selva. Tomando en cuenta la Tabla VII del Tipo de Cemento Asfáltico según la Temperatura Media Anual, estaríamos hablando de un cemento asfáltico base a modificar el CAP PEN 60/70; tipo que usualmente se emplea para temperaturas semi-cálidas mayores a 24 °C como indica la tabla siguiente:

Tabla 7: Fallas en pavimentos asfálticos en zona de la selva del Perú

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Selección del tipo de cemento asfáltico

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013, p.471)

A su vez, se analizó el comportamiento mecánico a través del Ensayo Marshall teniendo como resultado los valores de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros.

Tabla 8: Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas (Ensayo Marshall)

Nº	INVESTIGACIÓN	CEMENTO ASFÁLTICO BASE	TIPO Y % POLÍMEROS	ENSAYO MARSHALL	Und.	MAC	MAMP (SBS)	MAMP (SBR)	MAMP (EVA)
1	"Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70"	PEN 60/70	SBS / 3.5%	Estabilidad	kgf	1373	1964	-	-
				Flujo	mm	3.47	3.33	-	-
2	"Estudio Comparativo del Método Convencional y Uso de los Polímeros EVA Y SBS en la Aplicación de Mezclas asfálticas"	PEN 60/70	SBS /4.0%	Estabilidad	kgf	1220	1869	-	1432
			EVA/ 3.00%	Flujo	mm	2.60	2.70	-	2.10
3	"Análisis comparativo del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modifica con Betutec IC + Aditivo Warmix respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional"	PEN 60/70	SBS/ 3.50%	Estabilidad	kgf	1360	1770	-	-
				Flujo	mm	3.33	3.42	-	-
4	"Evaluación de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente utilizando aditivo SBS "	PEN 60/70	SBS/ 5.00%	Estabilidad	kgf	1075.8	1817.13	-	-
				Flujo	mm	3.50	3.60	-	-

5	"Caracterización de Mezclas Asfálticas en Caliente, elaboradas con el Uso de Cemento Asfáltico con polímero SBR y SBS"	AC – 20 (Es equivalente a PEN 60/70)	SBS / 2.00 %	Estabilidad	kgf	927.6	1118.56	1068.66	-
			SBR / 1.00 %	Flujo	mm	2.28	2.54	3.04	-

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla VIII, podemos ver que según el análisis comparativo de la mezcla asfáltica el Tipo de Polímero más usado en las investigaciones para la modificación de mezcla asfáltica es el SBS, y luego solo 1 vez el Tipo SBR, al igual que el Tipo EVA.

Además de ello podemos ver que el porcentaje de adición de SBS usado para la modificación de la mezcla asfáltica esta entre el rango de 2% a 5 %. En el caso del Tipo de Polímero SBR la adición es 1 % y del Tipo EVA es 3 %.

Debido a la modificación añadiendo polímero podemos ver que los resultados nos muestran valores diferentes y positivos en comparación a los valores iniciales de la Mezcla Asfáltica Convencional (MAC), estos resultados los analizaremos a continuación.

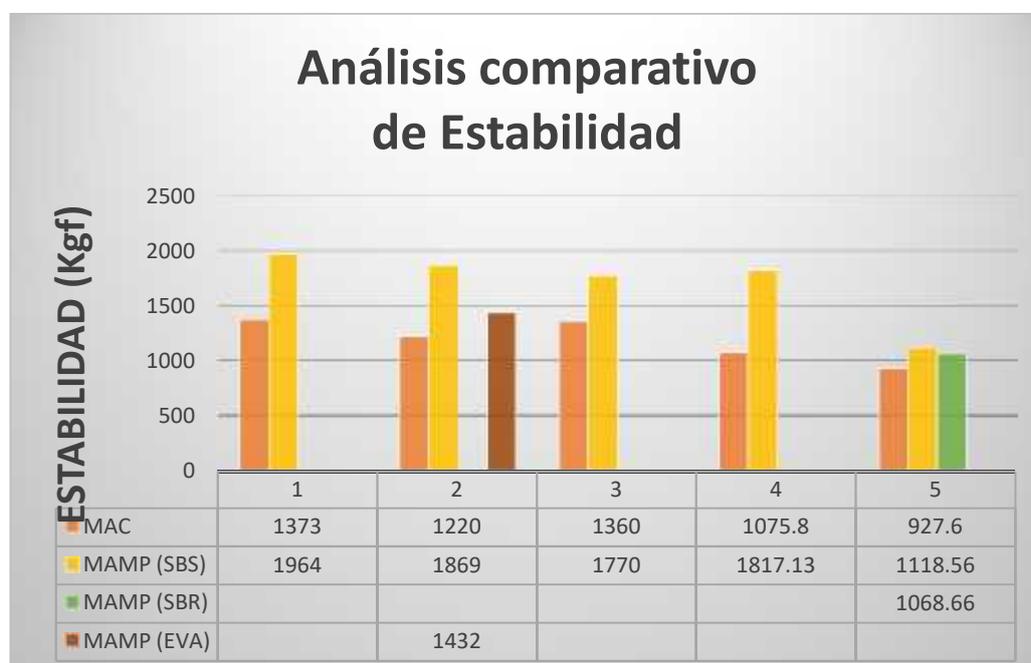


Figura 21 : Grafico comparativo de estabilidad de las investigaciones relacionadas.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9: Incremento de estabilidad de Mezcla Asfálticas Modificadas con polímero respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional.

Ítem N°	% Incremento de Estabilidad			
	MAC	MAMP (SBS)	MAMP (SBR)	MAMP (EVA)
1	<i>Teniendo como valor base de MAC</i>	43.04%	-	-
2		53.20%	-	17.38%
3		30.15%	-	-
4		68.91%	-	-
5		20.59%	15.21%	-

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°22 podemos notar que si se le agrega polímeros a la mezcla asfáltica se incrementa considerablemente el valor de la Estabilidad como se puede apreciar en la Tabla IX, donde vemos que incrementan entre 30 - 69%, con respecto a los valores base de la Mezcla Asfáltica Convencional (MAC), siendo este resultado un gran avance ya que este nuevo valor de la estabilidad nos indica la carga máxima que puede soportar la mezcla asfáltica antes de que pueda fallar totalmente.

Como ya habíamos mencionado el Ensayo Marshall también se pudo analizar el comportamiento de fluencia, en la Tabla X se indica dichos valores de fluencia de las mezclas asfálticas modificadas con SBS y SBR, de las cuales entre estas no varían tanto respecto a la mezcla asfáltica convencional ya que en algunos resultados aumentan y en otros disminuyen.

5.3.2 Análisis Comparativo de Desempeño de la Mezcla Asfáltica

De todas las investigaciones realizadas sobre las mezclas asfálticas modificadas con polímeros tanto en las nacionales como internacionales centradas cerca al estado peruano ya mencionadas en el 5.3.1., podemos ver que sólo 2 de ellas realizaron ensayos de desempeño.

Vemos que se evalúa el desempeño de la mezcla asfáltica mediante ensayos que simulan las condiciones de campo en donde mezcla asfáltica puede estar expuesta.

En todas las investigaciones vistas, podemos observar que coincidieron en realizar los siguientes ensayos: Ensayo de Hamburg Wheel Tracking (desempeño frente a las deformaciones permanentes), Ensayo de desgaste (mide la durabilidad de la mezcla), Ensayo de tracción indirecta (determina la resistencia a la compresión diametral), Ensayo de módulo de resiliencia (verifica la variación del comportamiento tanto elástico como de temperatura) y Ensayo de vida fatiga (determina la resistencia máxima antes cargas cíclicas a diferentes temperaturas).

Tabla 10: Resultados de ensayos de Desempeño de las Mezclas Asfálticas.

Nº	INVESTIGACIÓN	UBICACIÓN	CEMENTO ASFÁLTICO BASE	TIPO Y % POLÍMEROS	ENSAYO O DESEMPEÑO	MEDICIÓN	MAC	MAMP (SBS)	MAMP (SBR)
1	"Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70"	PERÚ	PEN 60/70	SBS / 3.5%	Ensayo de Hamburgo Wheel	Profundidad de ahuellamiento	7.77	1.8	-
5	"Caracterización de Mezcla Asfáltica en Caliente, elaboradas con el Uso de Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros SBR y SBS"	ECUADOR	AC-20 equivalente a PEN 60/70	SBS/ 2.00%	Ensayo Desgaste	Porcentaje de desgaste	2.6	2.1	1.8
				SBR / 1.00%	Ensayo Tracción Indirecta	Tracción indirecta	2.69	7.74	3.71

Fuente: Elaboración Propia

En el ítem 1 de la Tabla X, según los resultados del ensayo de Hamburg Wheel Tracking podemos observar que en la mezcla asfáltica convencional (MAC) y mezcla asfáltica modificada con polímero (MAMP) tipo SBS del cual tiende a presentar profundidades de ahuellamiento de 7.77 mm y 1.80 mm respectivamente, luego de someterlos a condiciones desfavorables, en este ensayo las briquetas recibieron 20,000 pasadas de la Rueda de Hamburgo sumergidos en agua a 50°C.

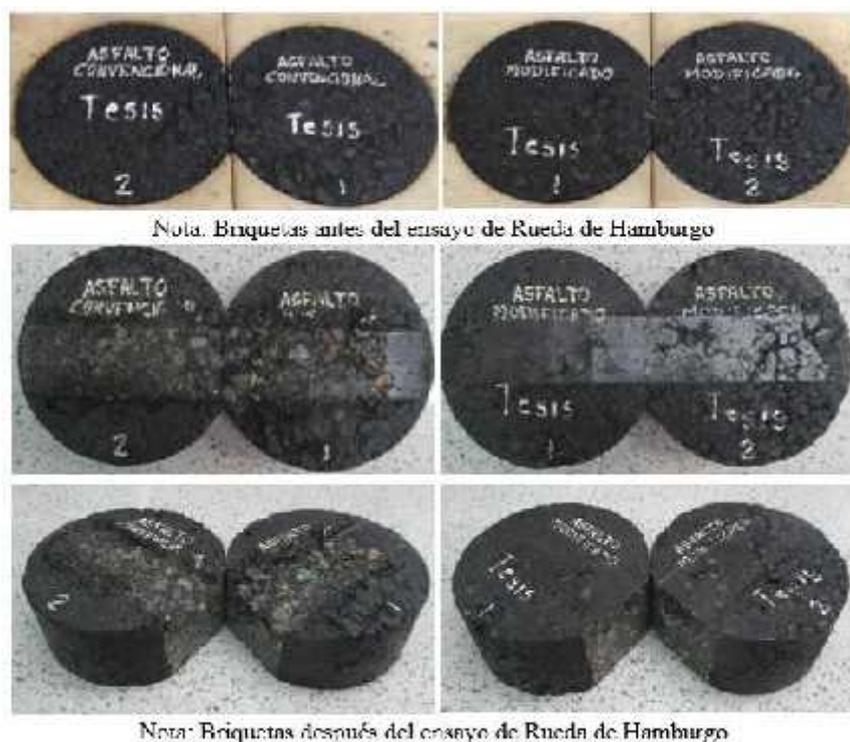


Figura 22 : Imágenes de probetas de mezclas asfálticas (Antes y después)

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

La magnitud de una falla de ahuellamiento de la mezcla asfáltica es moderada más la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS es casi inexistente de acuerdo con la Tabla X. Según estos datos nos dan un resultado positivo ya que la profundidad de ahuellamiento es reducida hasta en un 76.83%, lo cual es importante ya que este es el problema principal de las mezclas asfálticas en zonas de alta temperatura.

En el ítem 5 de la Tabla X se observan que los resultados del ensayo de desgaste que consistió en ingresar las probetas en la máquina de Los Ángeles y tracción indirecta que consistió en aplicar compresión diametral

a las probetas de la mezcla asfáltica convencional y a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS y SBR.

Los resultados de desgaste en porcentaje fueron los siguientes: 2.60%(MAC), 2.10%(MAMP-SBS) y 1.80% (MAMP-SBR). Estos porcentajes nos generara una mayor adherencia de los agregados con el cemento asfáltico modificado, es decir, presenta un gran mejoramiento de la propiedad de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Los resultados del Tracción indirecta fueron los siguientes: 2.69 kg/cm² (MAC), 7.74 kg/cm²(MAMP-SBS) y 3.71 kg/cm² (MAMP-SBR). Lo cual nos muestra que la mezcla asfáltica modificada con polímeros genera una mayor resistencia a tensiones de tracción, en este caso el polímero SBS es quien nos muestra el mejor resultado con un incremento de 187.73% con respecto a la mezcla convencional, a comparación con el polímero SBR el cual generó un incremento de 37.92%.

En el ítem 5 de la Tabla X se observan los resultados del ensayo de módulo resiliente y de vida fatiga que se realizaron a la mezcla asfáltica convencional y a la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS.

5.4 Análisis Comparativo Costo – Beneficio de las Mezcla Asfáltica

Según las investigaciones analizadas, dos de ellas presentan análisis de precios unitarios, que será de donde tomaremos como referencia para poder hacer nuestra comparación de costos entre las mezclas asfálticas. Las cuales se verán reflejadas en la siguiente Tabla XI. Donde si observamos el ítem 3 notaremos que el costo inicial por m³ de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS excede en un 32.35% como se detalla en la Figura N° 24.

Tabla 11: Cuadro comparativo de análisis de precios unitarios

ITEM N°	INVESTIGACIÓN	PAIS	ANÁLISIS DE PRECIOS		MONTO		
			UND.	MONEDA	MAC	MAMP (SBS)	MAMP (SBR)
3	"Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modificada con Betutec IC+ Aditivo Warmix respecto a Mezcla Asfáltica Convencional"	PERÚ	m3	soles	340.00	450.00	-
5	"Característización de mezclas asfálticas en Caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímeros SBR y SBS"	ECUADOR	m3	soles	46.32	58.07	53.64

Fuente: Elaboración Propia

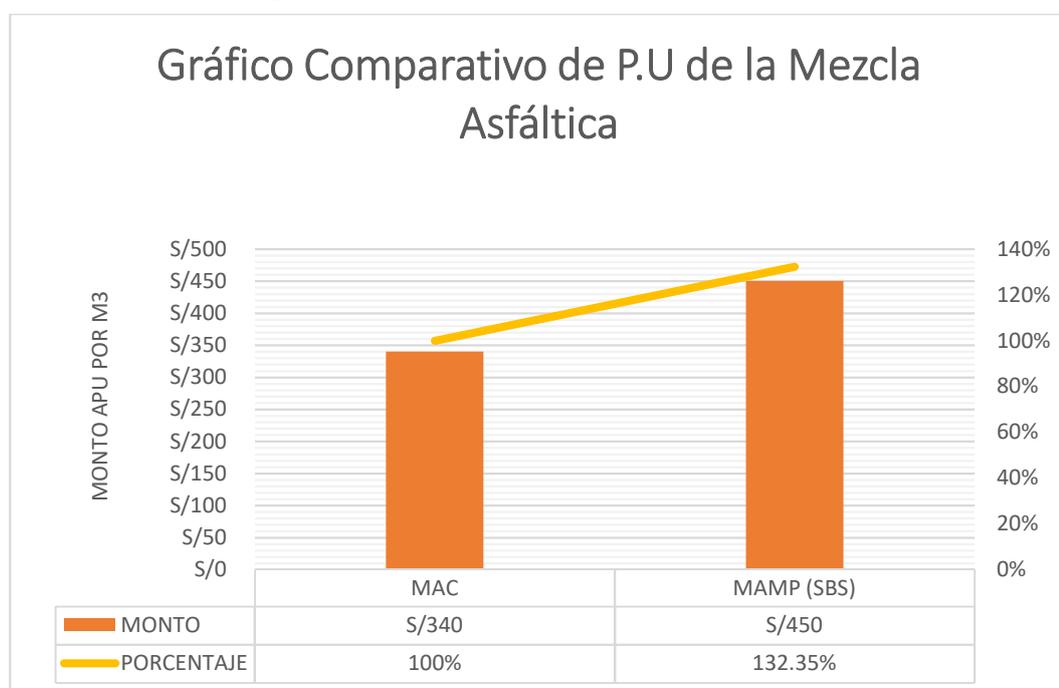


Figura 23 : Grafico comparativo de P.U. por m3 entre MAC y MAMP (SBS)

Fuente: Elaboración Propia.

De la Tabla XI, en el ítem 5 observamos que el costo inicial por m3 de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS excede en un 25.35% y en el caso de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR excede en un 15.80% como se detalla en la Figura N° 25.

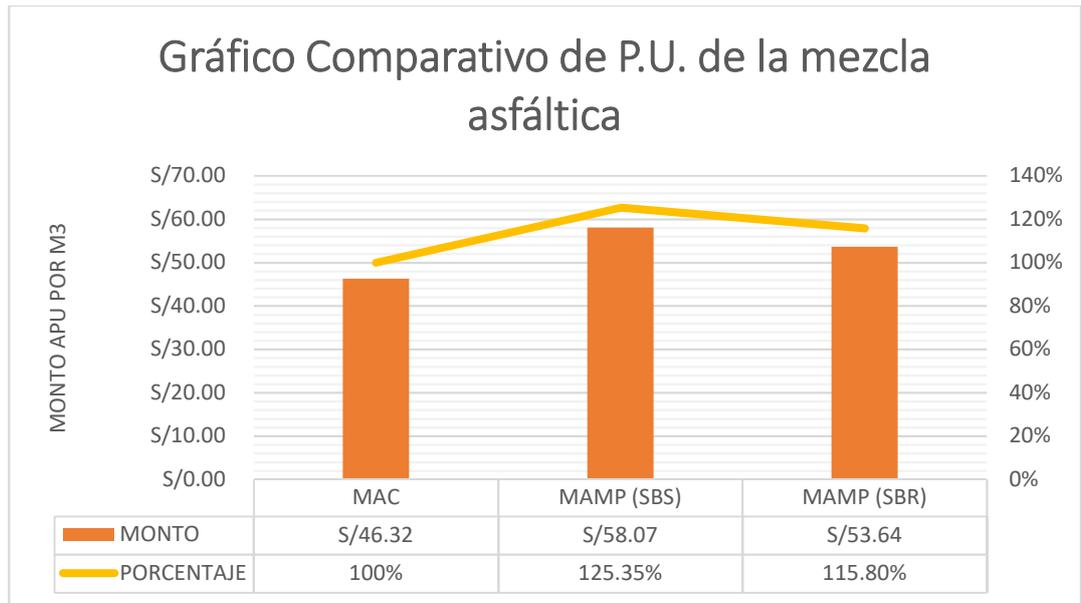


Figura 24 : Gráfico Comparativo de P. U. por m3 de la MAC, MAMP SBS y SBR

Fuente: Elaboración propia.

Tomando de referencia a los costos ya vistos líneas arriba, se puede estimar que el aumento de costo al principio en las mezclas asfálticas modificadas varía entre 15% a 33% con respecto a la mezcla asfáltica convencional. Estos se equilibran a largo plazo gracias mejoramiento significativo que tienen en su comportamiento mecánico y desempeño mostrado en el 5.2 del presente capítulo. Además, se presenta un resumen de los beneficios positivos del polímero SBS en la Tabla XI en las mezclas asfálticas.

Tabla 12: Beneficios de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS

ANALISIS	VALORES	BENEFICIOS
COMPORTAMIENTO MECÁNICO	Estabilidad	Incremento de estabilidad de (17 a 68%)
	Fluencia	Mantiene valores similares a la mezcla convencional
DESEMPEÑO	Ahuellamiento	Reducción de profundidad de ahuellamiento hasta un 77%
	Desgaste Superficial	Reducción de desgaste superficial en 0.5%
	Resistencia a tracción indirecta	Incremento de Resistencia a tracción indirecta 187.07%

Fuente: Elaboración Propia

5.5 Contrastación de Hipótesis

5.5.1 Hipótesis Especifica 1

Hipótesis alterna (Hi1): Las fallas más en la mezcla vistas asfálticas convencionales, que han sido planteadas en la zona de selva, son la falla de ahuellamiento y fisura.

Hipótesis Nula (Ho2): Las fallas más vistas en la mezcla asfáltica convencional, que han sido planteadas en la zona de selva, no son la falla de ahuellamiento y fisura.

Según las investigaciones se pudo identificar que las fallas de mezclas asfálticas convencionales situadas en zonas selva de Perú, detalladas en la Tabla N° 9, podemos observar que en todas las vías mostradas existen las fallas como el de ahuellamiento y fisura, siendo de estas solo una que presento una falla diferente, siendo esta el desgaste superficial.

Por lo tanto, la hipótesis específica 1 es válida.

5.5.2 Hipótesis Especifica 2

Hipótesis alterna (Hi2): El uso del polímero tipo SBS, mejora el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica convencional con una adición entre 1% a 5 %.

Hipótesis Nula (Ho2): El uso del polímero tipo SBS, no mejora el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica convencional con una adición entre 1% a 5 %.

Recordando los resultados del ensayo de módulo resiliente y de vida fatiga que se realizaron a la mezcla asfáltica convencional y a la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS, nos resulta que la mezcla modificada con polímero SBS nos generará un mayor módulo de resiliencia, es decir, hay una mejora a las cargas cíclicas a una temperatura de 25°.

Además de ello también nos indica que la mezcla modificada con polímero SBS nos da mejores resultados de vida de fatiga generando hasta dos o tres veces mayores que los resultados con mezcla asfáltica convencional, lo que nos dará mayor vida útil.

Por lo tanto, los análisis tanto para el comportamiento mecánico como el desempeño de las mezclas asfálticas, el polímero que con mayor incidencia para la modificación de la mezcla asfáltica es el SBS con

porcentajes de adición del porcentaje entre el 2%, al 4.95%; mientras que el SBR (menor incidencia) con porcentaje de adición de 1%. Los cuales se encuentran comprendidos entre el 1% - 5% como se planteó inicialmente.

Por lo tanto, Hi2 es válido.

5.5.3 Hipótesis Especifica 3

Hipótesis Alterna (Hi3): El análisis de viabilidad indica que la mezcla asfáltica modificada con polímero (SBS) es rentable a largo plazo.

Hipótesis Nula (Ho3): El análisis de viabilidad indica que la mezcla asfáltica modificada con polímero (SBS) no es rentable a largo plazo.

Cuando se realizó el análisis de Beneficio-Costo de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS, nos resultó que el precio unitario inicial es mayor entre 15% a 33% con respecto a la mezcla asfáltica convencional. Este resultado se verá compensado con el mejoramiento del comportamiento mecánico y también se verá reflejado en su desempeño, de cada mezcla asfáltica modificada con el polímero SBS.

Por ende, Hi3 es válido.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que las fallas de la mezcla asfáltica convencional localizadas en zonas de la selva peruana son el ahuellamiento y exudación; lo cual es importante determinarlas ya que estas indican debilitamiento de las propiedades de estabilidad y resistencia a la fatiga respectivamente; por ello es necesario la modificación de la mezcla asfáltica convencional, de esta manera al añadir el polímero estas puedan mejorar sus propiedades mecánicas.
2. Luego de analizar los resultados de las diferentes investigaciones se determinó que el polímero que muestra una mejora el comportamiento mecánico y desempeño de la mezcla asfáltica modificada es el SBS, el porcentaje de adición varía entre el 1% al 5%, esto se puede determinar que fue el polímero con resultados de mayor incidencia, con porcentajes de adición como 2%, 3%, 3.5%, 4% y 5%, mientras que el SBR tan solo presento un porcentaje de adición de 1% y 3.5%.
3. Según el análisis de Beneficio-Costo para el caso de la mezcla asfáltica modificada con el polímero SBS, nos resultó que el precio unitario inicial es mayor entre el 15% y 33% con respecto a la mezcla asfáltica convencional. Mas este incremento será compensado a largo plazo debido a los beneficios que nos genera la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS tanto en su comportamiento mecánico y su desempeño.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda poner más énfasis en realizar investigaciones de esta manera se podrá evaluar el estado situacional en que las carreteras se encuentran, en zonas de la selva peruana y de esta manera podremos ver la realidad vial con la que vive nuestro país, así se le dará más importancia para implementar esta tecnología, lo que generara menores interrupciones en la transitabilidad que ocasionan tanto los deterioros como los mantenimientos prematuros.
2. Se recomienda que para una comparación de resultados al usar los polímeros SBS y SBR en las mezclas asfálticas modificadas se debe realizar ensayos donde se podrá ver el desempeño de cada una respectivamente, así como también su respectivo análisis económico para fortalecer los beneficios que nos ofrece esta tecnología.
3. Se recomienda poder realizar diferentes ensayos de desempeño, y asimismo en todos los proyectos de pavimentos flexibles, ya que es una manera de simular la realidad a la que está expuesta la mezcla asfáltica, y así optimizar el diseño de estas.
4. A medida que se pueda se recomienda la construcción de tramos de prueba con el uso de mezclas asfálticas modificadas con polímeros para su poder ejecutarlas posteriormente en las carreteras del Perú, debiendo hacerse el seguimiento correspondiente al desempeño del pavimento durante toda su vida útil a fin de que sirva de referencia para otras vías nacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asphalt Institute. (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Obtenido de <https://vdocuments.mx/ms-22-principios-de-construccion-de-pavimentos-de-mezcla-asfalticas.html>
- Alvines, P. J. (2018). Evaluación de la Condición Superficial del Pavimento Flexible de la Carretera Bagua Grande-Cajaruro - Bagua, Km 5+000 al Km 8+000, Anazonas, 2018. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1646/Alvines%20P%C3%A9rez%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Balbin C. M, & Enriquez L. R. (2020). Influencia de la mezcla asfáltica modificada con Polímeros en zonas cálidas de Perú. Obtenido de http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/3672/CIV-T030_71209873_T%20%20%20BALBIN%20CASTRO%20MARIA%20LUIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Borja, T. S., & Cárdenas, C. J. (2019). Caracterización de Mezclas Asfálticas en Caliente, elaboradas con el uso de Cemento Asfáltico Modificado con Polímero SBR y SBS. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18757>
- Bustos, C. H., Sosa, M. P., Rodríguez, R. N., & Calderón, B. J. (2018). Fundamentos Micro Y Macroscópicos de la Modificación del Asfalto Convencional con Polímeros: Una Revisión. Obtenido de <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.13.24.2018.58-77>
- Canevarolo, J. S. (2006). *Ciencia dos polímeros (Segunda ed.)*. Artliber. Obtenido de http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/LIvros/Cie%CC%82ncia%20dos%20polimeros%20-%20Canevarolo%20Jr.,%20Sebastia%CC%83o%20V..pdf
- Cavalcante, L. M. (2005). *Caracterização Química e Reológica de Asfaltos Modificados por Polímeros*. Obtenido de <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/2080>
- Escalante, Z. J. (2007). Evaluación de mezclas producidas con Ligantes Asfálticos peruanos convencional PEN 60/70 y modificado por polímeros SBS tipo I 60/60 E PG 76-22. Obtenido de <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-26042007-173415/publico/Zegarra2007.pdf>

- Estrada, E. 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. Obtenido de <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1057>
- Fernandez, V. V. (2019). Evaluación de las Fallas Estructurales del Pavimento Flexible de la Avenida Francisco vidal, Huacho. Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/4002/VICTOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Figuroa, I. A., Reyes, L. F., Hernández, B. D., Jiménez, C., & Bohórquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingeniería e Investigación*, 27, 7(3), 5-15. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/14840>
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2014). Metodología de la Investigación. Obtenido de http://euaem1.uaem.mx/bitstream/handle/123456789/2776/506_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huamán, G. N., & Chang, A. C. (2015). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. *Perfiles de ingeniería*, II (11), 23-31. Obtenido de [doi:https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v2i11.402](https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v2i11.402)
- Ibañez, M. W. (2015). Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico-mecánicas del asfalto: Contribución para el tramo de la carretera Chilete-Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1639>
- Infante, A. C., & Vásquez, A. D. (2016). Estudio Comparativo del método Convencional y Uso de los Polímeros EVA y SBS en la Aplicación de Mezclas Asfálticas. Obtenido de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/2253>
- López, J. S., & Veloz, V. Y. (2013). Análisis Comparativo de Mezclas Asfálticas Modificadas con Polímeros SBR y SBS, con Agregados Provenientes de la Cantera de Guayllabamba. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6533>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

- Montejo, F. A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (Segunda ed.). Universidad católica de Colombia. Obtenido de https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_-_Alfonso_Montejo_Fonseca
- Pérez, V. R. (2014). Realidades y percepciones del uso de los Asfaltos Modificados en Colombia. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12236>
- Romero, R. G. (2012). Estudio del ahuellamiento en la Carretera IIRSA NORTE, Tramo 6, Sector óvalo Cáceres - Dv. Sullana. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1357>
- S. Minaya & A. Ordoñez (2014). Diseño de mezclas Asfálticas. Obtenido de <https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/acapitulo-10-disec3b1o-de-mezclas-asfc3a1lticas.pdf>
- Salcedo, d. I. (Noviembre de 2008). Experiencia de modificacion de cemento asfáltico con polímeros SBS en obra. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1988/MAS_ICIV-L_004.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Salinas, R. P. (2009). Aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana-Aguas verdes. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1348/ICI_172.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (28 de Octubre de 2020). Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. Obtenido de https://www.sbs.gob.pe/app/pp/SISTIP_PORTAL/Paginas/Publicacion/TipoCambioContable.aspx
- Villafana, H. G., & Ramírez, V. R. (2019). Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS BETUTEC IC y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11537/21259>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Tabla 13: Matriz de Consistencia

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN ZONA DE SELVA						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL	Independiente			
¿Cómo el uso de la mezcla asfáltica modificada con polímero mejora el comportamiento mecánico del pavimento asfáltico en zonas de selva?	Determinar como el uso de la mezcla asfáltica modificada con polímeros mejora el comportamiento mecánico del pavimento asfáltico en zonas de selva.	El uso de la mezcla asfáltica modificada con polímeros mejora el comportamiento mecánico del pavimento asfáltico en zonas de selva.	Polímeros	Tipo y Cantidad de Polímero	% polímero, SBS	Investigaciones Nacionales e Internacionales
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	Dependiente			
a: ¿En qué medida las fallas de la mezcla asfáltica se relacionan con las propiedades del pavimento asfáltico en zonas de selva?	a: Identificar en qué medida las fallas de mezcla asfáltica se relacionan con las propiedades del pavimento asfáltico en zonas de selva.	a: Las fallas más comunes en la mezcla asfáltica convencional que existen en zona de selva son ahuellamiento y fisura.	Fallas de la Mezcla Asfáltica	Propiedades Afectadas : Resistencia y Estabilidad	Segregación , ahuellamiento y fisuras	Investigaciones Nacionales e Internacionales
b: ¿De qué manera el tipo y porcentaje de polímero incide en la mejora del comportamiento mecánico para la mezcla asfáltica modificada?	b: Identificar de qué manera el tipo y porcentaje de polímero incide en el comportamiento mecánico para la mezcla asfáltica modificada.	b: El uso del polímero (SBS) mejora el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica convencional con una adición entre 1% a 5 %	Comportamiento Mecánico en la Mezcla Asfáltica	Ensayo Marshall	Estabilidad y Fluencia	Investigaciones Nacionales e Internacionales
				-Ensayo de Hamburg Wheel Tracking	-Profundidad de ahuellamiento	Investigaciones Nacionales e Internacionales
				-Ensayo de desgaste	-Módulo Resiliencia	
				-Ensayo de tracción indirecta	-Porcentaje de desgaste superficial	
				-Ensayo de módulo de resiliencia	-Resistencia a la Tracción Indirecta	
-Ensayo de vida fatiga	-Resistencia a la Fatiga					
c: ¿Cuál es la rentabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros?	c: Determinar la rentabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros	c: El análisis de costo y beneficio indica que la mezcla asfáltica modificada con polímero (SBS) es rentable a largo plazo.	Rentabilidad	Precio Unitario	Costo-Beneficio	Investigaciones Nacionales e Internacionales

Fuente: Propia

Anexo 2: Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 14: Matriz de Operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTO
Independiente					
Polimeros	Son macromoléculas formados por la unión de compuestos más pequeños "monómeros", que se repiten a lo largo de toda una cadena.	Los polímeros tiene como finalidad mejorar las características físico, mecanicas, es decir mejora su resistencia a las deformaciones.	Tipo y Cantidad de Polimero	% polímero, SBS	Investigaciones Nacionales e Internacionales
Dependiente					
Fallas de la Mezcla Asfáltica	Es la segregación de material, son producidas por no tener un adecuado proceso constructivo y/o por los agentes climáticos de la zona a la que esta expuesta.	las fallas se debe a un mal mantenimiento,asimismo por las fatigas o cargas que estan siendo sometidas a sus capas.	Propiedades Afectadas : Resistencia y Estabilidad	Segregación , ahuellamiento y fisuras	Investigaciones Nacionales e Internacionales
Comportamiento Mecánico en la Mezcla Asfáltica	Conciste en estudiar el comportamiento interno de un modelo estructural, en referente a los esfuerzos , deformaciones y deflexiones .	El comportamiento mecánico genera los parametros fundamentales para el diseño estructural del pavimento o evaluación de estructuras existentes.	Ensayo Marshall	Estabilidad y Fluencia	Investigaciones Nacionales e Internacionales
			-Ensayo de Hamburg Wheel Tracking	-Profundidad de ahuellamiento	Investigaciones Nacionales e Internacionales
			-Ensayo de desgaste	-Modulo Resiliencia	
			-Ensayo de tracción indirecta	-Porcentaje de desgaste superficial	
			-Ensayo de módulo de resiliencia	-Resistencia a la Tracción Indirecta	
-Ensayo de vida fatiga	-Resistencia a la Fatiga				
Rentabilidad	Son los beneficios que proporciona una actividad detrás de una inversión.	Análisis del costo- beneficio de una actividad a realizar.	Precio Unitario	Costo-Beneficio	Investigaciones Nacionales e Internacionales

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo 3: Tipo de Cambio Contable

Tabla 15: Tipo de cambio contable

TIPO DE CAMBIO CONTABLE

Ingrese fecha: 11/11/2021 (dd/mm/aaaa) [Consultar](#) [Exportar](#)

tipo de Cambio al 11/11/2021

Países Unidos de América		Países N.A.		4 6210
PAIS	MONEDA	MONEDA	TIPO DE CAMBIO (En \$)	
Unión Europea	Euro		4.602268	
Argentina	Peso Argentino		0.040131	
Australia	Dólar Australiano		2.533110	
Banqueleshi	Taka Bangladeshí		0.040301	
Bolivia, Estado Plurinacional de	Boliviano		0.500727	
Brasil	Real		0.741181	
Bulgaria	Lev		0.357528	
Canadá	Dólar Canadiense		0.708848	
Chile	Peso Chileno		0.007606	
China	Yuan Chino Off-Shore		0.029967	
China	Yuan		0.029158	
Colombia	Peso Colombiano		0.001937	
Corea	Won Chino Américano		0.001807	
Corea, República de (Sur)	Won Surcoreano		0.003406	
Cuba, Riva	Cópol de Cuba Riva		0.008257	
Dinamarca	Corona Danesa		0.618872	
Ecuador	Dólar ECU		4.027009	
Emiratos Árabes Unidos	Dirham		1.054114	
Federación Rusa (Rusia)	Rublo		0.050127	
Filipinas	Peso de Filipinas		0.040211	
Guatemala	Quetzal		0.520563	
Hong Kong	Dólar de Hong Kong		0.618883	
India	Rupia de India		0.007606	
Indonesia	Rupia de Indonesia		0.000081	

Fuente: Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (2021)

Anexo 4: Ítem 1 - Data recolectada

“Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBSBETUTEC IC y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70”

En la investigación de Villafana & Ramírez (2019), se realizó la modificación de la mezcla asfáltica convencional con Polímero SBS. Las características se detallan a continuación:

- Agregados: Piedra chancada 3/4" (45%), Arena chancada 3/8" (33%) y Arena Zarandeada 3/8" (22%)
- Asfalto Convencional: Se utilizó como cemento asfáltico base un CAPPEN 60/70
- Asfalto Modificado con Polímero: Se empleó BETUTEC IC, que es un CAP PEN 60/70 modificado con SBS, abastecido por el proveedor TDM ASFALTOS.

Cuadro Comparativo de Diseño (Ensayo Marshall)

Tabla 16: Cuadro Comparativo de Diseño de Mezcla de PEN 60/70 vs. BETUTEC IC, indicando tolerancia.

DISEÑO DE MEZCLA			
	PEN 60/70	BETUTE C IC	TOLERAN CIA
NUMERO DE GOLPES	75	75	75
CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.4	5.3	
ESTABILIDAD (kgf)	1373	1964	831 (mínimo)
FLUJO (mm)	3.47	3.33	2 – 4
PESO ESPECIFICO BULK	2.433	2.427	
RICE	2.529	2.525	
PORCENTAJE DE VACIOS	3.8	3.9	3 – 5
V.M.A.	14.7	14.8	14
RELACION POLVO/ASFALTO	1.08	1.11	0.6 - 1.3

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

- Gráfico Comparativo de Estabilidad (MAC – AMP)

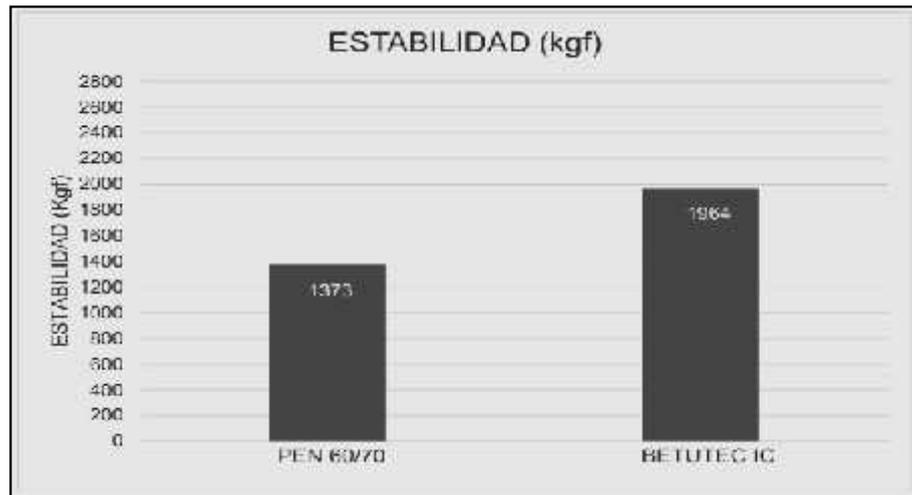


Figura N° 2: Valores de Estabilidad graficados de ambas mezclas

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

- Gráfico Comparativo de Fluencia (MAC – AMP)

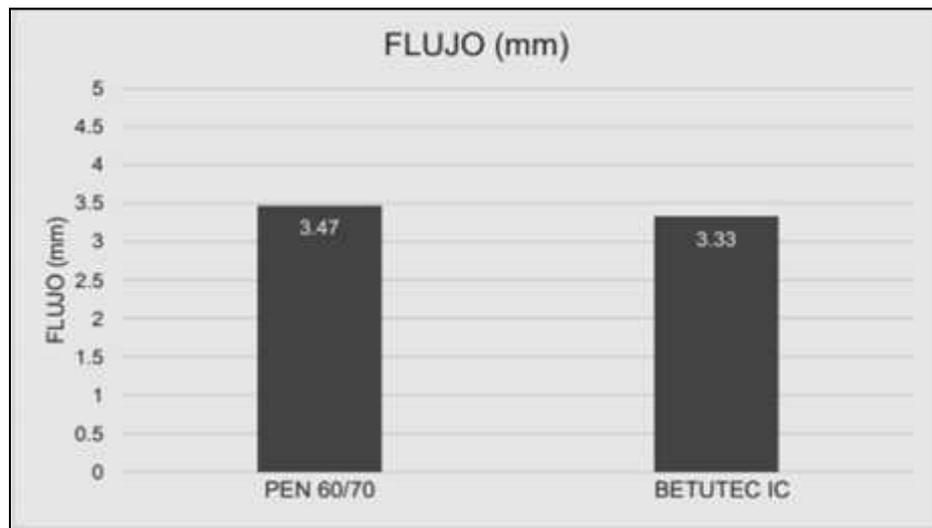


Figura N° 3: Valores de Flujo Graficados de ambas mezclas

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

Resultados del Análisis Comparativo del Ensayo Hamburg Wheel Track

Tabla 17: Resultados de los ensayos de Rueda de Hamburgo

RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE			
DATOS DE ENSAYO	PEN 60/70	BETUTEC IC	TOLERANCIA
PIEDRA CHANCADA	45.00%	45.00%	
ARENA CHANCADA	33.00%	33.00%	
ARENA ZARANDEADA	22.00%	22.00%	
OPTIMO DE ASFALTO	5.40%	5.30%	
RICE (Kg/cm ³)	2.529	2.525	
% DE VACIOS	6.80%	6.70%	6.0% - 8.0%
T° DE ENSAYO	50.0°C	50.0°C	
N° MAXIMO PASADAS	20,000	20,000	
N° PASADAS RECIBIDAS	20,000	20,000	
PROFUNDIDAD FINAL (mm)	7.77	1.8	<12.5 mm
PUNTO DE INFLEXIÓN	9500 pasadas	No existe	

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

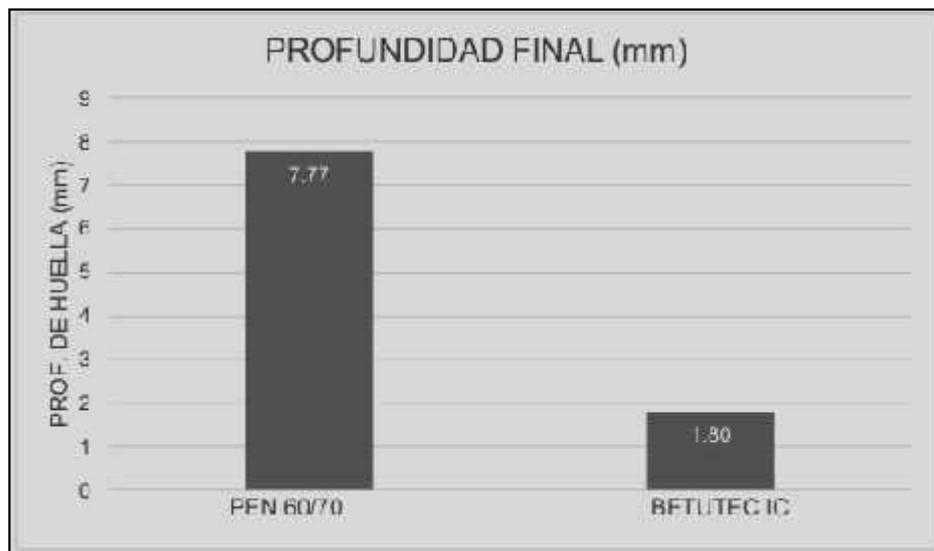


Figura 25 : Valores de profundidad de Ahuellamiento graficados

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

- Gráfico Comparativo de Diagramas de Comportamiento de ambas



Figura N° 4: Deformación vs Número de Pasadas mezclas

Fuente: Villafana & Ramírez (2019)

Anexo 5: Ítem 2 - Data recolectada

“Estudio Comparativo del Método Convencional y Uso de los Polímeros EVA y SBS en la Aplicación de Mezclas Asfálticas”

En la investigación de Infante & Vásquez (2016), se realizó el análisis comparativo de la mezcla asfáltica convencional y modificada con Polímeros EVA y SBS, en su comportamiento mecánico. Las características se detallan a continuación:

- Agregados: Grava (51.70%), Arena (48.30%) y Filler (1.76%)
- Asfalto Convencional: Se utilizó como cemento asfáltico base CAP PEN60/70 con un 5.3% de porcentaje óptimo.
- Asfalto Modificado con Polímero: Se emplearon los polímeros EVA(3%) ySBS(4%).

Mezcla Asfáltica Convencional

- Resultados de Ensayo de Estabilidad – Flujo (Método Marshall)

Tabla 18: Resultados de Ensayo Marshall (convencional)

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRQUETAS	% DE Asfalto	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCION N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
7.1	5.3%	482.62	12	3.00	340	60.0	1.909	1172.59	1293	OK
7.2	5.3%	901.54	10	2.80	336	62.6	1.624	1135.26	1163	OK
7.3	5.3%	488.96	9	2.30	350	62.0	1.640	1135.00	1164	OK
PROMEDIO				2.40					1164	OK

Fuente: Infante & Vásquez (2016)

Mezcla Asfáltica Modificada con polímero EVA

- Resultados de Ensayo de Estabilidad – Flujo (Método Marshall)

Tabla 19: Resultados de Ensayo Marshall (EVA)

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL									
BRQUETAS	% DE EVA	VOLUMEN(cm3)	FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN (mm)	CORRECCION	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg
1	2.0%	480.63	6.67	1.67	623.36	60.96	1.11	1801.12	1936
2	3.0%	483.94	6.33	2.10	387.67	60.97	1.07	1535.94	1432
3	4.0%	457.06	6.33	2.10	361.67	61.66	1.05	1186.78	1225
4	5.0%	483.56	6.00	2.30	414.00	60.66	1.07	1414.77	1516
5	6.0%	489.63	6.33	2.37	611.67	61.33	1.06	2114.10	2211
PROMEDIO					462.27	61.013	1.072	1567	1661

Fuente: Infante & Vásquez (2016)

Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS

- Resultados de Ensayo de Estabilidad – Flujo (Marshall)

Tabla 20: Resultados de Ensayo Marshall (SBS)

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL									
BRQUETAS	% DE SBS	VOLUMEN(cm3)	FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN (mm)	CORRECCION	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg
1	2,0%	506,54	0,37	1,70	492,33	63,46	1,00	1084,33	1743
2	5,0%	504,78	7,33	1,77	505,33	62,36	1,01	2462,55	2120
3	4,0%	507,73	10,67	2,70	546,33	63,74	0,98	1377,33	1869
4	6,0%	518,06	10,00	2,53	586,37	63,14	1,01	2361,13	2582
5	6,0%	518,33	9,33	2,37	701,33	63,56	1,00	2411,45	2407
					605,93	63,372	1,008	2087	2704

Fuente: Infante & Vásquez (2016)

Anexo 6: Ítem 3 - Data recolectada

"Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modificada con Betutec IC + Aditivo Warmix respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional"

- Cuadro comparativo de Mezcla Asfáltica Convencional vs Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS

Tabla 21: Cuadro comparativo de Mezcla Asfáltica Convencional vs Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS

Parámetros de Diseño	Clase de mezcla PEN 60/70	Convencional	Modificado	Diferencia
Marshall MTC E 504				
Compactación, número de golpes por lado	75	75	75	75
Cemento Asfáltico	%	5.5	5.5	5.5
Densidad	kg/cm ³	2.391	2.428	1.55%
Estabilidad	kg/cm ²	1360	1770	30.15%
Flujo	0.01"	13.3	13.7	3.01%
Vacios	%	4.1	3.1	-24.39%
Vacios Agregado Mineral	%	15.1	15.5	2.65%

Fuente: Cahuana & Limas (2018)

Análisis Comparativo Económico de las Mezclas Asfálticas

En la investigación Cahuana & Limas (2018) se realizó un análisis comparativo Costo – Beneficio de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada, realizándose la simulación de un tramo de 1km de espesor igual a 3" y un ancho de calzada de 3.60 m.

Además nos indica que la mezcla asfáltica modificada tiene una vida útil de nuevo a diez años en óptimas condiciones y la mezcla asfáltica convencional de tres a cuatro años en óptimas condiciones. A partir de un tercer año, para la mezcla asfáltica convencional, se realiza un mantenimiento para que la capa de rodadura esté en buen estado e incrementar su vida útil, ya que se realizó el análisis comparativo en el mismo tiempo (10 años). En la siguiente Tabla 46 se presenta el Análisis Comparativo Económico de las Mezclas Asfálticas. (Cahuana & Limas, 2018, pp. 79-80)

Tabla 22: Análisis Comparativo Económico

	Asfalto Convencional	Asfalto Modificado con Betutec IC + Aditivo Warmix
Unidad	m3	m3
Metrado	274.32	274.32
Precio Unitario	340	450
Precio Unitario de Mantenimiento	10720	10720
Nº Veces de Mantenimiento	3	0
Total	S/ 125,428.80	S/ 123,444.00

Fuente: Cahuana & Limas (2018)

Anexo 7: Ítem 4 - Data recolectada

“Evaluación de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente utilizando aditivo SBS”

- Resultados de Estabilidad de Ambas Mezclas Asfálticas

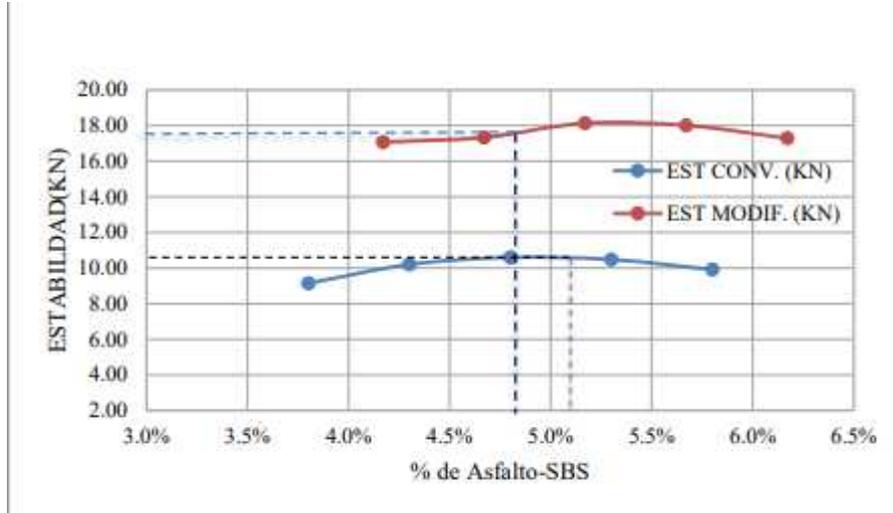


Figura 26 : Comparación de Estabilidad en la mezcla convencional y con SBS

Fuente: Flores & Monzón (2020)

- Resultados de Fluencia de Ambas Mezclas Asfálticas

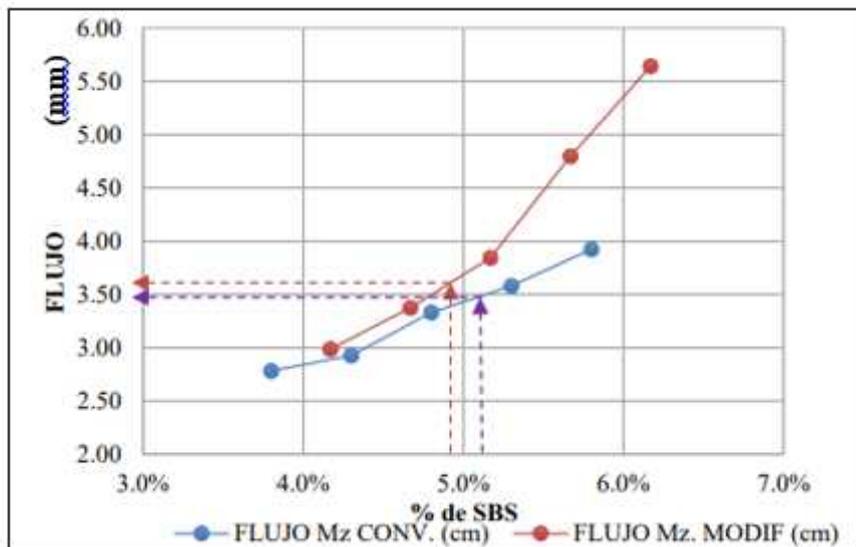


Figura 27 : Comparación de Flujo en la mezcla convencional y con SBS

Fuente: Flores & Monzón (2020)

Anexo 8: Ítem 5 – Data recolectada

“Caracterización de Mezclas Asfálticas en Caliente, elaboradas con el Uso de Cemento Asfáltico Modificado con Polímero SBR y SBS”

En la investigación de Borja & Cárdenas (2019), se realizó el análisis comparativo del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímeros SBS (2%) y SBR (1%) y una mezcla asfáltica convencional, mediante la evaluación del parámetro de deformación plástica, con la aplicación de ensayos normalizados, como estabilidad y flujo Marshall, pérdida por desgaste al cántabro y tracción indirecta. Las características se detallan a continuación:

- Agregados: Grueso (2%), Intermedio (50%) y Fino (48%)
- Asfalto Convencional: Se utilizó como cemento asfáltico convencional AC – 20 (Equivale a un CAP PEN 60/70) con un 6.10% de porcentaje óptimo.

Tabla 23: Ensayo de penetración AC-20 con SBS

<i>PENETRACIONES (mm/10)</i>	
<i>MUESTRA: Asfalto Convencional AC-20</i>	
<i>Penetración # 1</i>	63
<i>Penetración # 2</i>	67
<i>Penetración # 3</i>	66
<i>Penetración Promedio</i>	67

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

- Asfalto Modificado con Polímero: Se emplearon los polímeros SBS (2%) y SBR (1%).

Cuadro Comparativo de Estabilidad y Flujo Marshall (MAC – MAMP (SBS Y SBR))

Tabla 24: Estabilidad y flujo Marshall mezcla convencional y modificadas

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE						
MEZCLA	BRIQUETA #	ESTABILIDAD (Lb)				FLUJO (1/100")
		Lectura	Medida Corregida por anillo (Lb)	Factor de corrección por Volumen	Medida Corregida (Lb)	
		a	b $a \cdot 10.22$	c	d $b \cdot c$	
AC -20 a 6.10%	1	225	2300	0.86	1978	9
	2	231	2361	0.89	2101	9
	3	226	2310	0.89	2056	8
	Promedio				2045	9
SBS 2%	1	225	2300	0.96	2208	7
	2	274	2800	0.93	2604	12
	3	272	2780	0.93	2585	10
	Promedio				2466	10
SBR 1%	1	280	2862	0.83	2375	11
	2	274	2800	0.81	2268	14
	3	293	2994	0.81	2426	11
	Promedio				2356	12

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

- Gráfico Comparativo de Estabilidad y Flujo (MAC – AMP SBS)

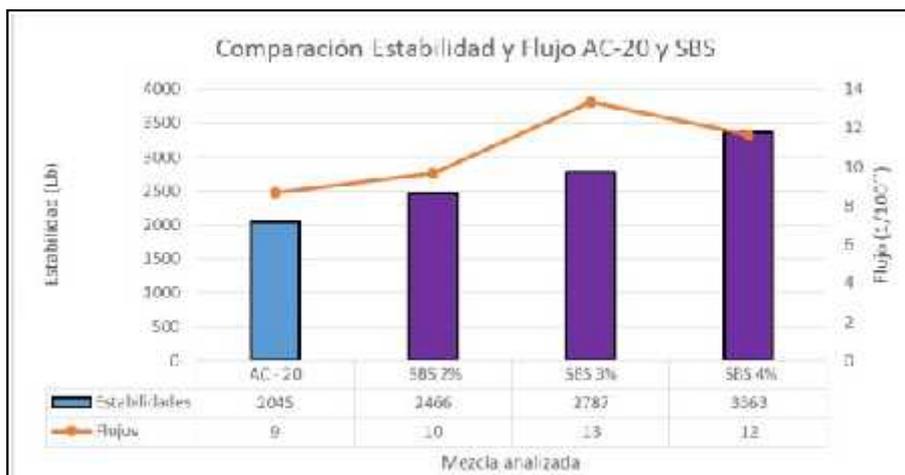


Figura 28 : Comparación de M.C. AC – 20 a 6.10% y M.M. con SBS.

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

- Gráfico Comparativo de Estabilidad y Flujo (MAC – AMP SBR)

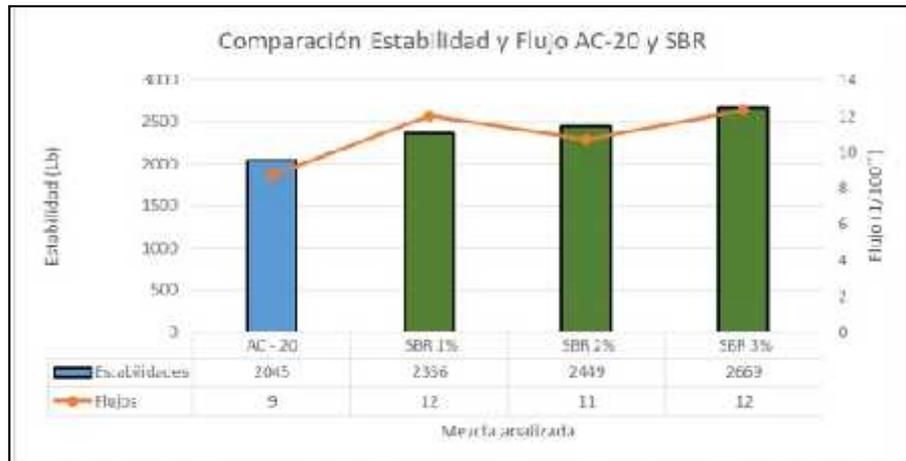


Figura 29 : Comparación de M.C. AC – 20 a 6.10% y M.M.con SBR.

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

▪ Análisis de Costos Unitarios (Convencional)

Tabla 25: Carpeta asfáltica con asfalto convencional de 7.5 cm de espesor

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
					FECHA:	21/12/2018
RUBRO:	CARPETA ASFALTICA CONVENCIONAL 7.5 CM DE ESPESOR				UNIDAD:	m ²
DETALLE:						
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Cargadora frontal	1.00	38.00	38.00	0.0034	0.13	
Rodillo compactador	1.00	10.20	10.20	0.0034	0.03	
Rodillo vibratorio doble tambor	1.00	22.00	22.00	0.0034	0.07	
Planta de asfalto	1.00	90.00	90.00	0.0034	0.31	
Distribuidor de asfalto	1.00	72.00	72.00	0.0034	0.24	
Terminadora de asfalto	1.00	55.00	55.00	0.0034	0.19	
Volquetes	1.00	25.00	25.00	0.0034	0.09	
HERRAMIENTA MENOR	1.00	0.05			0.01	
SUBTOTAL M					1.07	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Operarios de Equipos pesado(E O -C1)	7.00	3.93	27.51	0.0034	0.09	
Peón(E, D -E2)	6.00	3.51	21.06	0.0034	0.07	
Maestro de Obra(E, O, C1)	1.00	3.93	3.93	0.0034	0.01	
SUBTOTAL N					0.18	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
hno cribado	m ³	0.10	15.00	1.50		
Material granular	m ³	0.10	15.00	1.50		
Diesel	gal	2.94	1.05	3.09		
Asfalto AC-20	gal	2.89	1.45	4.19		
SUBTOTAL O					10.28	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
			A	B	C = A x B	
SUBTOTAL P					0.00	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0	11.62	
			COSTO INDIRECTO %		15.00	
			COSTO INDIRECTO \$		1.74	
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		13.25	
			VALOR OFERTADO		13.25	
			SON: TRECE DOLARES CON VEINTE Y CINCO CENTAVOS			

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

- Análisis de Costos Unitarios (MAMP SBS)

Tabla 26: Carpeta asfáltica con asfalto modificado con SBS de 7.5 cm de espesor

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
					FECHA:	21/12/2018
RUBRO: CARPETA ASFÁLTICA MODIFICADA CON SBS AL 2% DE 7.5 CM DE ESPESOR						
DETALLE: UNIDAD: m ²						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Cargadora frontal	1.00	38.00	38.00	0.0034	0.13	
Rollido compactador	1.00	10.20	10.20	0.0034	0.03	
Rollido vibratorio doble tambor	1.00	22.00	22.00	0.0034	0.07	
Planta de asfalto	1.00	90.00	90.00	0.0034	0.31	
Distribuidor de asfalto	1.00	72.00	72.00	0.0034	0.24	
Terminadora de asfalto	1.00	55.00	55.00	0.0034	0.19	
Volquete	1.00	25.00	25.00	0.0034	0.09	
HERRAMIENTA MENOR	1.00	0.05			0.01	
SUBTOTAL M					1.07	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Operarios de Equipo pesado(E.O.-C1)	7.00	3.93	27.51	0.0034	0.09	
Peón(E.O.-E2)	6.00	3.51	21.06	0.0034	0.07	
Maestro de Obra(E.O.-C1)	1.00	3.93	3.93	0.0034	0.01	
MATERIALES					0.18	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
Areo cribado	m ³	0.10	15.00	1.50		
Material granular	m ³	0.10	15.00	1.50		
Diesel	gal	2.94	1.05	3.09		
Asfalto AC-20 con SBS al 2%	gal	2.89	2.48	7.11		
SUBTOTAL O					13.19	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
			A	B	C = A x B	
SUBTOTAL P					0.00	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA:				TOTAL COSTO DIRECTO (M+O+P)	0	14.44
				COSTO INDIRECTO %		15.00
				COSTO INDIRECTO \$		2.17
				COSTO TOTAL DEL RUBRO:		16.61
				VALOR OFERTADO:		16.61
SON: DIECISEIS DOLARES CON SESENTA Y UNO CENTAVOS						

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

▪ Análisis de Costos Unitarios (MAMP SBR)

Tabla 27: Carpeta asfáltica con asfalto modificado con SBR de 7.5 cm de espesor

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO: CARPETA ASFÁLTICA MODIFICADA CON SBR AL 1% DE 7.5 CM DE ESPESOR					FECHA: 21/12/2018	
DETALLE:					UNIDAD: m ²	
EQUIPOS:						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Cargadora frontal	1.00	38.00	38.00	0.0034	0.13	
Rodillo compactador	1.00	10.20	10.20	0.0034	0.03	
Rodillo vibratorio doble tambor	1.00	22.00	22.00	0.0034	0.07	
Planta de asfalto	1.00	90.00	90.00	0.0034	0.31	
Distribuidor de asfalto	1.00	72.00	72.00	0.0034	0.24	
Terminadora de asfalto	1.00	55.00	55.00	0.0034	0.19	
Volqueta	1.00	25.00	25.00	0.0034	0.09	
HERRAMIENTA MENOR	1.00	0.05			0.01	
SUBTOTAL M					1.07	
MANDO DE OBRA:						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Operadores de Equipo pesado(E.O.-C1)	7.00	3.93	27.51	0.0034	0.09	
Peón(E.O.-E2)	6.00	3.51	21.06	0.0034	0.07	
Maestro de Obra(E.O.-C1)	1.00	3.93	3.93	0.0034	0.01	
SUBTOTAL N					0.18	
MATERIALES:						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
fino cribado	m ³	0.10	15.00	1.50		
Material granular	m ³	0.10	15.00	1.50		
Diesel	gal	2.94	1.05	3.09		
Asfalto AC-20 con SBR al 1%	gal	2.89	2.08	6.01		
SUBTOTAL O					12.10	
TRANSPORTE:						
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
			A	B	C = A x B	
SUBTOTAL P					0.00	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0	13.34
			COSTO INDIRECTO %			15.00
			COSTO INDIRECTO \$			2.00
			COSTO TOTAL DEL RUBRO			15.35
			VALOR OFERTADO			15.35
SON:			QUINCE DOLARES CON TREINTA Y CINCO CENTAVOS			

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

- Ensayo de Desgaste

Tabla 28: Resultados del ensayo para mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros SBS y SBR

Muestra: Briquetas con asfalto AC-20 con y sin Polímeros SBS y SBR				
Tipo mezcla	# briqueta	Peso (g)		%Desgaste $= ((P1 - P2)/P1) * 100$
		P1	P2	
Asfalto Convencional	1	1199	1168	2.6%
	2	1198	1166	2.7%
	3	1200	1170	2.5%
	4	1198	1165	2.8%
Promedio				2.6%
Asfalto con SBS al 2%	1	1270	1242	2.2%
	2	1217	1194	1.9%
	3	1250	1222	2.2%
	4	1245	1220	2.0%
Promedio				2.1%
Asfalto con SBR al 1%	1	1137	1119	1.6%
	2	1192	1168	2.0%
	3	1155	1135	1.7%
	4	1168	1145	2.0%
Promedio				1.8%

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)

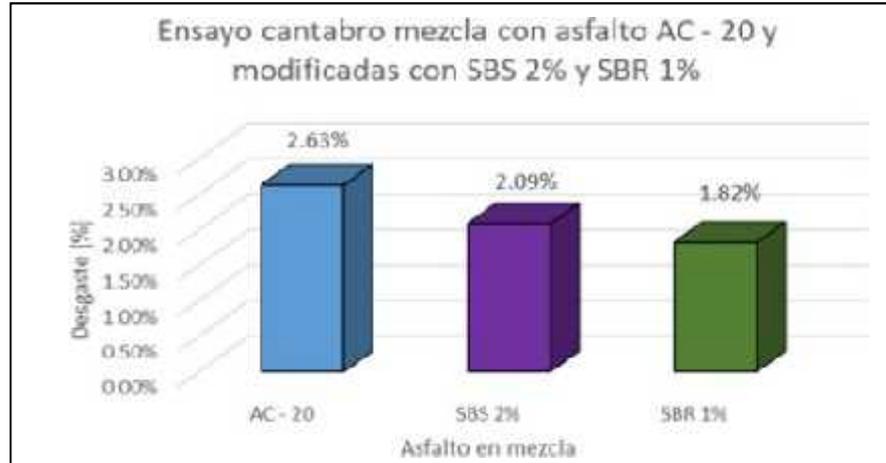


Figura 30 : Ensayo de desgaste mezcla con asfalto AC - 20 y modificadas con SBS 2% y SBR 1%

Fuente: Borja & Cárdenas (2019)