



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica
incorporando polímero (SBS) para el distrito de Villa El
Salvador-Lima 2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTORES:

Huamán Pereyra, Víctor Silvino (ORCID: 0000-0001-9260-8416)

Huauya Gaspar, José Antonio (ORCID: 0000-0002-8592-344X)

ASESOR:

Dr. Suarez Alvites, Alejandro (ORCID: 0000-0002-9397-057X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2020

Dedicatoria

Este logro se lo dedico a todas aquellas personas que estuvieron siempre ahí. Mi familia, mis hijos. Todo este esfuerzo fue por ellos.

Agradecimiento

Les agradezco a todos esos profesores que me ayudaron en los momentos de incertidumbre. A mi familia por comprenderme en los momentos que estuve ausente. A todas gracias por su comprensión

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de Tablas	v
Índice de Gráficos y Figuras	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	8
III. METODOLOGIA	24
3.1 Tipo y diseño de investigación	25
3.2 Variables y operacionalización	25
3.3 Población, muestra y muestreo	26
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.5 Procedimiento.	27
3.6 Método de análisis de datos	27
3.7 Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS.....	28
V. DISCUSIÓN.....	67
VI. CONCLUSIONES.....	73
VII. RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS	80
ANEXOS	89

Índice de tablas

Tabla 1 Ubicación de las calicatas efectuadas	31
Tabla 2 Resumen de los resultados de las propiedades físicas	32
Tabla 3 Resumen de los resultados de las propiedades mecánicas.....	33
Tabla 4 Modulo de Resiliencia -Subrasante	34
Tabla 5 <i>Nivel de confiabilidad Recomendado (R)</i>	35
Tabla 6 <i>Desviación Estándar (Zr)</i>	35
Tabla 7 Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico	37
Tabla 8 Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico.....	37
Tabla 9 Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_i	42
Tabla 10 Calidad del drenaje	43
Tabla 11 Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y Subbase granulares no tratadas en Pavimentos	43
Tabla 12 Coeficiente Estructural de las capas del pavimento nuevo	44
Tabla 13 Parámetros para el cálculo del SN requerido para diseño. Periodo de diseño 10 años.	44
Tabla 14 Datos Resultantes producto del cálculo de pavimento	45
Tabla 15 Estructura de Pavimento Flexible para un periodo de diseño de 10 años.....	45
Tabla 16 Tipos de asfalto a seleccionar	46
Tabla 17 Tipos de ensayos a realizar en el asfalto seleccionado	47
Tabla 18 Ventajas del SBS con respecto a el asfalto convencional.....	48
Tabla 19 Diseño de Mezcla	48
Tabla 20 Análisis granulométrico de los agregados por tamizado.....	50
Tabla 21 Análisis de la Granulometría de agregados por tamizado	51
Tabla 22 Combinación teórica de agregados para la mezcla asfáltica	52
Tabla 23 Método Marshall	53
Tabla 24 Ensayo de mezcla en caliente Convencional	55
Tabla 25 Análisis granulométrico Piedra Chancada.....	56
Tabla 26 Análisis granulométrico de agregados por tamizado.....	57
Tabla 27 Combinación teórica de agregados para la mezcla Asfáltica.....	58
Tabla 28 Ensayo tentativo de Mezcla en caliente Modificado	61

Índice de gráficos y figuras

Figura 1	Copa de Casagrande equipo para determinar los límites líquido	19
Figura 2	Elaboración del Límite plástico	19
Figura 3	Materiales para realizar el proctor modificado	20
Figura 4	CBR.....	20
Figura 5	Estado actual de la vía.....	29
Figura 6	Esquema de estructura del pavimento	38
Figura 7	Variación en el coeficiente estructural de la capa de base Granular	40
Figura 8	Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular.....	40
Figura 9	Variación en el coeficiente estructural de la capa de Subbase Granular	41
Figura 10	Valor Relativo de Soporte, CBR en Subbase Granular.....	41
Figura 11	Grafica de respuesta del Ensayo Rueda de Hamburgo.....	49
Gráfico 1	Curva de Granulometría.....	50
Gráfico 2	Curva granulométrica	51
Gráfico 3	Curva granulométrica gradación ASTM D3515 D-5.....	52
Gráfico 4	Grafica del Método Marshall	54
Gráfico 5	Grafico del Método Marshall	55
Gráfico 6	Curva de Granulometría.....	56
Gráfico 7	Curva Granulométrica	57
Gráfico 8	Curva granulométrica del diseño de mezcla Modificada	58
Gráfico 9	Grafico del método Marshall	60
Gráfico 10	Método Marshall.....	61

Resumen

Poder contar cada día con pavimentos de mejor calidad es una necesidad imperiosa a nivel mundial. Una de las líneas de investigación que llevan la batuta en todo el mundo es la de los asfaltos modificados con polímeros. Hay varios tipos en esa familia, se encuentra el SBR, el de residuos de caucho de neumáticos y el SBS. El presente estudio tiene como objetivo hacer los cálculos para un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero SBS. La investigación es de enfoque cuantitativo de diseño no experimental. El problema de la investigación fue ¿Cuál es el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020? El objetivo de la investigación fue hacer los cálculos para un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando en la mezcla porciones del polímero SBS. Los resultados están asociados al estudio de suelos donde va el asfalto, el cálculo como tal del pavimento y el asfalto modificado y sus propiedades comparadas con la mezcla convencional. Lo que corresponde a cálculo se hará siguiendo el método AASHTO-93. Después de todo este desarrollo de simulaciones y revisión científica se obtienen los resultados y de ahí sus conclusiones.

Palabras clave: Pavimento flexible, AASHTO, polímero SBS, No experimental

Abstract

Being able to count on better quality flooring every day is a pressing need worldwide. One of the research lines that is leading the way worldwide is that of polymer-modified asphalts. There are several types in this family, including SBR, tire rubber residue and SBS. The present study aims to make the calculations for a flexible asphalt mix pavement incorporating SBS polymer. The research is a non-experimental design quantitative approach. The research problem was: What is the calculation of a flexible pavement with asphalt mix incorporating polymer (SBS) for the District of Villa el Salvador- Lima 2020? The objective of the research was to make the calculations for a flexible pavement with asphalt mix incorporating portions of the SBS polymer into the mix. The results are associated with the study of soils where the asphalt goes, the calculation as such of the pavement and the modified asphalt and its properties compared to the conventional mixture. What corresponds to calculation will be done following the AASHTO-93 method. After all this development of simulations and scientific review the results are obtained and hence their conclusions.

Keywords: Flexible pavement, AASHTO, SBS polymer, Non-experimental

I. INTRODUCCIÓN

El actual capítulo contiene la contextualización de la problemática que consiste en el cálculo del pavimento flexible y su modificación con polímero SBS, el cual se puede contemplar dentro del ámbito internacional, nacional y local. La información citada está relacionada con el polímero SBS, el cálculo del pavimento flexible y como éstos inciden en la estructura asfáltica. Las universidades y centros de investigación buscan disminuir los problemas de la estructura asfáltica agregando a la mezcla modificadores que mejoren sus características mecánicas y físicas. Uno de estos químicos que mejoran las propiedades de la mezcla es el polímero SBS.

En cuanto a la realidad problemática a nivel internacional, en algunos países del mundo existen situaciones problemáticas debido al deterioro y disminución de la vida útil del pavimento flexible, esto ha sido ocasionado por factores externos e internos, lo cual ha conllevado a la reducción de las propiedades físicas y mecánicas del mismo. Dicha situación genera inconformidad en los usuarios, así como también afectaciones directas a los automóviles que circulan por las carreteras. Vale la pena recalcar que las carreteras permiten la circulación de personas, materiales, repartición de productos, entre otros; coadyuvando al fortalecimiento y unificación de los países, ya que estas son primordiales para el avance de distintas actividades, así como también para conseguir el cambio de bienes y servicios (Palma, Ortiz, Ávalos y Castañeda, 2016).

Latinoamérica no escapa de esto y como consecuencia se busca la innovación, con el fin de prolongar las propiedades de durabilidad del pavimento flexible. Es por esto, que en los últimos años en algunos países del mundo se ha generado la utilización de los polímeros en los asfaltos en caliente, ya que es necesario reusar materiales, entre otras razones, como consecuencia de la toma de conciencia originada por el pensamiento verde (Ramírez 2013). Para muestra de ello, Brasil ha desarrollado el uso de los residuos de caucho de neumáticos, con el fin de agregarlos a las mezclas asfálticas y lograr su modificación de manera satisfactoria. Todo ello, conlleva a la utilización de este novedoso recurso, como lo es el polímero (SBS), ya que se ha comprobado su efectividad y su contribución para mitigar las fatigas producidas en el pavimento, las cuales provocan el envejecimiento del mismo (Silvestre, 2017). Aunque está demostrado que en los

residuos de caucho de neumático poseen porcentajes importantes de SBS para ésta tesis se usará directamente el polímero producido por empresas encargadas de éstos procesos químicos (Grupo TDM, 2011, p.1).

De allí que, los profesionales responsables de la rama de infraestructura vial de diferentes países han propiciado la novedosa tendencia del uso de polímeros en la mezcla asfáltica, dando inicio a la ejecución experimental para el desarrollo de los primeros en proyectos; siendo a partir de 1980 considerado como una excelente alternativa de solución para aplicarlo en cualquier proyecto de rehabilitación de pavimentos (Silvestre, 2017)

De igual manera, a nivel nacional puede decirse que las carreteras del Perú, sirven como medio de comunicación y conexión entre las distintas ciudades, como también para el transporte de vehículos pesados y livianos, entre otras funciones primordiales. Sin embargo, hoy en día gran parte de estas vías se encuentran deterioradas por diversas causas, tales como: factores climáticos y la calidad de los elementos empleados para la elaboración de estos pavimentos flexibles. Asimismo, puede visualizarse en ellas la existencia de baches y huecos, percibiéndose disminuida su vida útil. Por tal motivo, deben implementarse nuevas alternativas que permitan el avance tanto de las propiedades físicas, como mecánicas del pavimento (Herrada y Chavéz 2013).

En este sentido, a nivel local, bien puede decirse que, en Lima, gran parte de estos pavimentos flexibles presentan las dificultades antes mencionadas y como consecuencia se originan retrasos en el tránsito vehicular provocando interferencia en el correcto y fluido transitar de los usuarios. Todo esto, debido a que se utiliza para la construcción de las carreteras pavimentos convencionales, que son afectados por la aplicación de cargas que exceden a lo estipulado en el diseño inicial, ocasionando de esta manera la aparición de fisuras e incluso deformaciones rigurosas que terminan en el deterioro anticipado de los sistemas viales. Asimismo, las grietas y fallas en las carreteras se pueden considerar como consecuencia de un mal levantamiento topográfico del terreno o de no haber tomado las consideraciones previas al momento de realizar la construcción de la vía (Villafana y Ramírez 2019)

En vista de lo anterior, se realiza la modificación de asfalto con polímeros, debido a que es un método diferente que se emplea para el beneficio de la durabilidad en los asfaltos en caliente de las calles. Este, consiste en la integración de polímeros en los asfaltos fabricados de manera tradicional, con la finalidad de lograr una mejora en sus características mecánicas y físicas, minimizando así los daños originados por elementos climáticos e incluso por el tránsito (peso vehicular) y mejorando al mismo tiempo la vida útil de la vía que se encuentra en servicio. Aunado a esto, la utilización de asfaltos modificados se ha caracterizado porque ofrecen altos estándares de actuación por periodos de tiempo, al igual que la disminución de los altos costos de mantenimientos y operatividad durante varios años (Infante y Vásquez, 2016, p 35).

Por lo tanto, actualmente se vienen ejecutando proyectos de infraestructura vial por parte de los gobiernos locales y regionales con el propósito de aportar de forma directa al país y a sus habitantes una mejor condición de vida (Yarango, 2014, p.8).

De este modo, los proyectos de infraestructura vial comienzan a ser empleados como parte de una atinada decisión tomada por diversos distritos de la ciudad de Lima y el distrito de Villa El Salvador no es una excepción; debido que su sistema vial también presenta diversos inconvenientes los cuales generan las diferentes fallas antes mencionadas que causan malestar en quienes transitan por ellas y afectan su calidad de vida. De allí que nazca la necesidad de dar prioridad a la construcción de pavimentos flexibles con mezcla asfáltica en caliente, sin embargo, existe un déficit en cuanto a la formulación, diseño y la fabricación de las carreteras por la inadecuada identificación y selección de los materiales para su construcción. Por consiguiente, de acuerdo a lo anteriormente mencionado se pretende con esta investigación aportar conocimientos, lineamientos y referencias técnicas para el logro de un adecuado proceso de diseño, construcción y control del pavimento a fin de coadyuvar en las mejoras necesarias para este distrito y facilitar el uso de las vías a su vez que lograr satisfacción por parte de los usuarios.

La realidad problemática ha dejado claro que la modificación del asfalto usando polímero SBS impacta positivamente a la estructura del pavimento flexible. Fallar en el cálculo del pavimento flexible y la modificación de la mezcla asfáltica

puede significar tener un asfalto que no va a soportar la fatiga, su durabilidad va a reducir, se va a observar velozmente el ahuellamiento y habrá cuantiosos gastos en mantenimientos excesivos. Este es un problema a nivel global por eso la propuesta planteada tiene su importancia característica.

Por otra parte, este estudio se justifica teóricamente, debido a que se generará un amplio conocimiento referente a la elaboración de asfalto modificado con agregado de polímeros (SBS). Igualmente, el mismo conllevará a comprobar que el uso de polímeros en pavimentos flexibles crea mejor consistencia en la carpeta asfáltica incrementando su durabilidad, así como también minimizará el uso de recursos no renovables, al igual que disminuirá la creación de residuos que son los causantes de la contaminación ambiental (Ramírez, 2013). De este modo, el diseñar una mezcla asfáltica con polímeros implica experimentar una tecnología que sea idónea para la infraestructura vial, logrando mejorar la capacidad de deslizamiento a la lluvia sobre la carpeta asfáltica, así como elevar el soporte de las velocidades de cargas, optimizar la visibilidad cuando el pavimento se encuentra húmedo, lograr un excelente comportamiento mecánico, entre otros (Carrizales, 2015). Esta investigación servirá como referencia para futuras investigaciones realizadas en este ámbito.

De la igual manera, la justificación metodológica de esta tesis radica en que se generará una contribución, ya que se creará una herramienta que posibilitará la recopilación de la información necesaria para llevar a cabo la investigación, el cual contará con la rigurosidad científica requerida y la validación por parte de expertos. Los investigadores centrados en las variables en estudio, dimensionarán los aspectos más relevantes para transformarlos en interrogantes, con el único fin de dar respuesta a los objetivos materia de la presente tesis, teniendo en cuenta que, la redacción debe ser clara y precisa, lo que implica que, adquiere habilidades y destrezas aumentando el conocimiento en relación al tema.

Respecto a la justificación técnica, en esta investigación se reflejarán los aspectos técnicos asociados a las mezclas asfálticas con agregado de polímeros (SBS), los cuales conllevarán a diversas ventajas, tales como: mayor durabilidad del asfalto, mayor facilidad para trabajarla en diversos tipos de clima, mayor tiempo de almacenaje, menores riesgos para los trabajadores, menor desgaste de áreas

verdes, menor esfuerzo de compactación, aumento de la aceleración de la mezcla, así como también el proporcionar un mayor confort al tránsito (Valeriano y Catacora, 2017). De igual manera, el diseño de mezclas asfálticas con polímeros, permitirá notables mejoras, como lo son: reducir reparaciones en el periodo de vida útil, menor mantenimiento, minimizar costos, poco uso de combustible, disminuyendo de esta forma la afectación del medio ambiente (Infante y Vásquez, 2016).

Sumado a lo anterior, la justificación económica consiste en revelar que la infraestructura vial será más fluida y segura, debido al novedoso material utilizado, como lo es el polímero (SBS), el cual favorecerá la optimización de las condiciones de la carpeta asfáltica y propulsará mejoras en la economía del país a través de la reducción de los costos en este ámbito (Infante y Vásquez, 2016).

Adicionalmente este estudio posee una justificación social, ya que a través de la innovación se permitirá la optimización del sistema vial, lo cual coadyuvará en múltiples beneficios que repercutirán en la satisfacción de los usuarios de las vías. Al respecto, Gargate y Huamaní (2018) realizaron un estudio, titulado “Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible en Lima” donde ellos recomiendan utilizar una mezcla asfáltica con polímeros SBS con el propósito de mejorar la condición molecular de esta, así como también optimizar el periodo de vida útil, entre otros aspectos. Siendo esto relevante para la mejora del diario transitar vehicular de quienes usan las carreteras como medios de comunicación y para el intercambio de bienes y servicios, generándose así un gran aporte a la sociedad y al país (Gargate y Huamaní 2018)

En función a realidad problemática presentada se propuso el problema general y los problemas específicos de nuestra investigación. El problema general de la investigación fue ¿Cuál es el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el Distrito de V.E.S.- Lima 2,020?

Los problemas específicos materia de la investigación fueron los siguientes:

PE1: ¿Cuáles son las características del suelo para el cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?

PE2: ¿Cómo repercute el conteo vehicular para el cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?

PE3: ¿Cuáles son las características del asfalto incorporando el polímero (SBS) para el cálculo de un pavimento flexible para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?

El objetivo general fue calcular el pavimento flexible con asfalto incorporando polímero (SBS) para el distrito de Villa El Salvador-Lima 2020. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

OE1: Determinar las propiedades del suelo para el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020.

OE2: Determinar los niveles de tránsito en función al conteo vehicular para el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020

OE3: Determinar las características del asfalto incorporando polímero (SBS) para el cálculo de un Pavimento flexible para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020.

II. MARCO TEÓRICO

En actual capítulo del marco teórico de este plan de investigación se recurrió a la indagación de información de utilidad para llevar a cabo el actual documento, con investigaciones previas conformadas por tesis nacionales e internacionales y artículos científicos, asimismo para definir la variable Cálculo de Pavimento, incorporando polímero SBS y la estructura de pavimento, nos apoyamos en distintos autores, tesis y artículos científicos para obtener mayor información. Se establecieron diversas referencias para este Plan de Investigación que tienen correlación con el tema que se está planteando, lo que valdrá en otros capítulos de la investigación para hacer las comparaciones respectivas (Discusión) con los resultados que se van a obtener en el presente estudio.

Respecto a los estudios previos a esta investigación a nivel internacional, se tiene la investigación de García (2015) el cual trabajó Diseño de Pavimento, investigación que le sirvió para obtener el título de Especialista en Colombia. El objetivo general de ésta investigación es exponer un caso de diseño de una estructura de pavimento asfáltico por medio del empleo de la metodología AASHTO-93, usando la herramienta computacional que lleva por nombre DISAASHTO-93. Esta herramienta la desarrolló el autor de este trabajo y, tiene como principal utilidad que el usuario pueda ejecutar de manera rápida y precisa los diferentes cálculos numéricos para obtener números estructurales, y también poder verificar los resultados obtenidos. Adicionalmente se pueden variar todos los parámetros que hacen parte del modelo AASHTO-93 para de ésta manera obtener diferentes estructuras de pavimento y poder concluir cual sería la que se puede recomendar más de acuerdo a las necesidades particulares de cada proyecto. Es una investigación de tipo aplicada. Enfoque cuantitativo. Como conclusión se cuenta con una herramienta software libre de bastante apoyo para el ingeniero de pavimentos.

Por otra parte, se tiene el trabajo de Ortiz (2019) tesis realizada en Ecuador, Ortiz trabajó con Diseño de mezclas asfálticas. El autor planteó como objetivo principal comparar mezclas asfálticas con y sin polímeros Tipo I aplicado en pavimento flexible para evaluar su calidad. En esta investigación se demostró que, en cuanto a la resistencia a las deformaciones plásticas, el polímero SBS contribuye significativamente. Igualmente sucede en relación a la resistencia a la acción de la temperatura. El investigador concluye que se justifica el uso de polímeros, debido

a que se minimizan las fallas en el pavimento flexible y el aditivo ayuda a que la piedra se adhiera al asfalto, además de contribuir al aumento de la vida útil de este, lo que repercute en la reducción de gastos por mantenimiento de las vías.

De igual forma, la investigación realizada en Ecuador por Borja y Cárdenas (2019) buscó obtener la Caracterización de los asfaltos flexibles y tuvo como objetivo general, el análisis y comparación del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente que se elaboran utilizando asfalto en caliente modificado con porcentajes variados de polímero SBS (Estireno-butadieno-estireno) y SBR (Estireno butadieno Rubber) y una mezcla sin modificar, a través del análisis del parámetro de deformación plástica, con el uso de los ensayos normalizados, como estabilidad y flujo Marshall, pérdida por desgaste al cántabro y tracción indirecta, con el fin de entregar información que pueda ser utilizada para la producción de carpetas asfálticas modificadas con la adición de polímeros. De acuerdo a los resultados alcanzados, se determinó que, el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS y SBR presenta mejoras significativas con respecto a las mezclas tradicionales. Por lo tanto, se evidenció un descenso de la susceptibilidad térmica a temperaturas frías, disminución del riesgo de deformación permanente optimizando así su elasticidad a altas temperaturas, adicionalmente al incremento en las capacidades de resistencia y de durabilidad en la mezcla. Asimismo, se estableció que el porcentaje óptimo de polímero SBS es del 2 % y de SBR 1 %. El coste de elaboración por metro cuadrado se elevó en un 25.36 % con SBS y en un 15.84 % con SBR, con relación a la mezcla convencional.

Así mismo Mostafa & Seyed (2019) en su artículo investigaron sobre Performance evaluation of fatigue resistance (Evaluación de Desempeño de Resistencia a la fatiga). Se plantean como objetivo utilizar una mezcla de polímeros (una combinación de dos polímeros) hecha de polímeros eficientes y económicos para modificar las propiedades del aglutinante de asfalto y las mezclas de asfalto contra la fatiga. Como resultado se establece que el uso de mezclas de asfalto duraderas para aumentar la calidad del pavimento, mejorar la seguridad y la comodidad de los conductores y reducir el daño del pavimento y el costo de mantenimiento es inevitable. En consecuencia, se puede decir que las mezclas de polímeros se pueden usar como un aditivo eficiente y económico en mezclas de asfalto.

Del mismo modo, Modera (2018), quien efectuó un estudio en Colombia sobre el Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica plantea en su investigación la determinación de las propiedades mecánicas en el laboratorio con las composiciones que conforman la parte asfáltica en un estado espesante en caliente MDC-19 con la incorporación de polipropileno. Se obtuvo como resultado que la adición de polipropileno tal como se propuso, es viable técnicamente, pese a que los parámetros mecánicos ante la acción de la carga monotónica desde el punto de estabilidad Marshall se redujo, la relación resistencia a la tensión incrementó, así como también el desgaste a la abrasión disminuyó. Además, se observó un incremento en la tenacidad del asfalto en caliente, logrando optimizar la durabilidad de la carpeta en la condición de fisuración.

Acercas de los estudios previos a esta investigación a nivel nacional, se encuentra el de Villafana y Ramírez (2019) cuya tesis se basa en el Análisis del comportamiento de una mezcla asfáltica. En este estudio se comparó el comportamiento mecánico y el desempeño de las dos mezclas, así como también se analizó cuando se añaden polímeros en un asfalto sin modificar respecto a las mejoras de las propiedades de tipo mecánicas de éste asfalto; ocasionando como resultado la prolongación de la vida útil del pavimento. Esta investigación reveló que el uso de mezcla asfáltica modificada con polímeros contribuye a un mejor comportamiento mecánico comparado con la mezcla convencional 60/70, además permite optimizar el desempeño del pavimento conllevando a la prolongación de su vida útil.

De acuerdo con la investigación llevada a cabo por Gargate y Huamaní (2018) en la cual hacen un Análisis comparativo de mezclas asfálticas. Quienes plantearon como objetivo general del estudio obtener un análisis comparado de las mezclas modificadas con polímeros y las tradicionales para hacer una optimización de las propiedades de tipo mecánicas que se desean chequear en el pavimento de tipo flexible.; se obtuvo como resultado que al implementar polímeros se reducen proporciones menores que permiten la disminución de costos y también se reducen espesores en las carpetas de rodadura, tomando en consideración que tienen una recuperación elástica en el rango de 85% - 90%, de acuerdo al tipo de polímero que se utilice. De esta forma se logra extender el periodo de servicio del pavimento flexible.

De igual manera, en el estudio realizado por Chávez (2017) que trató sobre el Análisis de una carpeta que se modificó el objetivo principal fue hacer un análisis de las propiedades que ésta posee que se ha modificado usando SBS en un clima de tipo frígido en Junín. Se consiguió como resultado experimentalmente que al utilizar el diseño Marshall, el uso de las mezclas que se modifican con polímeros SBS muestran mejoras en su estabilidad 1949.4 kgf comparándolas con las mezclas convencionales. Así mismo apoyándose en el ensayo Lottman, se concluyó que el esfuerzo a la tensión –TSR (promedio St1/Std) fue 89.79%, lo cual demostró que hay un esfuerzo a tensión mayor en comparación con las mezclas de tipo convencionales. Existe una mejora a la resistencia y disminución de la susceptibilidad a la humedad cuando se usa el cemento asfáltico con polímeros SBS.

Así mismo, Estrada, (2017), en su investigación hicieron un Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica. Concluyó que la utilización de una mezcla de asfalto de tipo convencional, será afectada por factores variados, como pueden ser: la cantidad de vehículos que transiten en la vía, cargas en exceso, el clima, entre otros; al usar una mezcla de asfalto de tipo modificada con SBS va a brindar una mejor respuesta de tipo mecánica a la que puede ofrecer una mezcla de asfalto convencional, optimizando el buen funcionamiento de la carpeta y aumentando la vida con buenas prestaciones del pavimento.

En este mismo orden de ideas, el investigador Casafranca (2016) en su tesis hizo un Estudio de mezcla de asfalto modificado y tuvo como su objetivo general hacer un estudio de cómo se desempeñaban las mezclas de asfalto y su respuesta a las deformaciones de tipo permanentes que se producen en la región de la Selva. Los resultados que se alcanzaron en la parte experimental, pusieron en evidencia que usar mezclas de tipo modificadas con SBS hace evidentes mejoras con respecto a las mezclas sin modificar, ya sea en el índice de rigidez, el cual se vio mejorado en un 34% y la susceptibilidad a lo que es la humedad de tipo inducida donde presentó mejoría del 7%, ambas tomando en cuenta la mezcla que era de control. Estos parámetros son muy influyentes en el nivel de la deformación que se obtiene por medio del ensayo conocido como rueda de Hamburgo, en el que se tuvo un resultado a una deformación de

4 mm para la mezcla sin modificar y 3 mm con una mezcla que se le agregó SBS, se concluye que existe mejora al usar el polímero SBS. En otro orden de ideas, en el aspecto económico, se debe decir que el SBS aumenta los costos de producción de la mezcla de asfalto por m³ en 14%; no obstante, todo se va a compensar cuando se vean los costos en el mantenimiento, porque para la mezcla de asfalto con SBS, lo que cuesta el mantener la vía por Km/año va a presentar una disminución del 61% en lo que respecta el valor del mantenimiento usando mezclas de tipo convencional, llegando a la conclusión que al usar mezclas que se modifican con SBS se convierte en algo viable técnica y económicamente.

Por otra parte, se presentan las bases teóricas que sustentan esta investigación, encontrando a Reyes (2013) quien considera que las mezclas asfálticas son aspectos relevantes en todo pavimento flexible, las cuales generan una resistencia óptima, no obstante, los agregados o mezclas son duros materiales inertes como la arena, la grava, la piedra triturado, la escoria o el polvo de roca. Estos agregados son los principales soportes de carga componentes de un pavimento de hormigón asfáltico, los cuales son de importancia para mejorar la durabilidad (p. 167).

Vale mencionar que, entre los tipos de mezcla asfáltica, de acuerdo con Clark (2013) existe la mezcla asfáltica fría, esta es la opción más asequible en el mercado, ya que no necesita calor durante el proceso. Por lo general, se usa para reparar grietas de más de una pulgada de ancho y baches que aparecen durante los meses de invierno. No es un sustituto de una reparación formal con mezcla caliente o asfalto de mezcla caliente durante los meses más cálidos, ya que no durará tanto tiempo. Esta mezcla asfáltica normalmente dura más que el pavimento circundante más del 90% del tiempo. (p.6)

Referente a la mezcla asfáltica caliente, Sivilevičius, Vislavičius y Bražiūnas (2017), indican que el asfalto de mezcla caliente se vierte a temperaturas que oscilan entre 300 y 350 grados Fahrenheit. Es una mezcla flexible que es altamente resistente a la intemperie y capaz de repeler el agua. El asfalto de mezcla caliente se usa en días que están por encima de los 40 grados solamente, porque se enfría muy rápidamente. Se utiliza en aproximadamente un tercio de los proyectos de pavimentación. Se fabrica entre 200 y 250 grados y utiliza menos recursos de combustibles fósiles en el proceso de fabricación. Es

menos costoso de fabricar y usar. Se puede enviar a distancias más largas y durante un período de tiempo mayor durante el año, por lo que los proyectos de construcción nocturnos o de invierno normalmente lo utilizan (p.629).

A juicio de Castro (2016) el asfalto es un elemento fundamental, que se manifiesta y se produce en todas las consistencias, desde aceites para carreteras ligeras hasta tipos industriales pesados y de alta viscosidad. El asfalto se ablanda cuando se calienta y es elástico bajo ciertas condiciones. Las propiedades mecánicas del asfalto son de poca importancia excepto cuando se usa como aglutinante o adhesivo. La principal aplicación del asfalto está en revestimiento de carreteras, que se puede hacer de varias formas. Los tratamientos de "capa de polvo" de aceite ligero pueden acumularse por repetición para formar una superficie dura, o se puede agregar un agregado granular a una capa de asfalto, así como los materiales de la tierra de la superficie de la carretera se pueden mezclar con el asfalto (p.8).

De igual forma, Sivilevičius, Vislavičius y Bražiūnas (2017) señalan que el pavimento asfáltico se refiere a cualquier camino pavimentado con asfalto. El asfalto de mezcla caliente (HMA) es una combinación de aproximadamente 95% de piedra, arena o grava unidos por cemento asfáltico, un producto de petróleo crudo. El cemento asfáltico es agregado calentado, combinado y mezclado con el agregado. (p. 630).

Así mismo, Blas (2014) considera que el Pavimento Asfáltico es una estructura que posee una o más capas que se ubican entre la subrasante y la superficie de rodamiento, que se construye con materiales apropiados y que tiene como función principal permitir que los vehículos se desplacen de forma cómoda y segura en una carretera o espacio para que circulen los usuarios. El pavimento asfáltico debe ser resistente a toda la carga de tránsito que va a pasar por ella, a la variabilidad del clima y debe ser capaz de transmitir a la subrasante todos estos esfuerzos que las cargas producen, con magnitudes que son inferiores al total que puede soportar el suelo de apoyo. El pavimento de tipo asfáltico se compone por un sistema de tres capas, donde la capa superior siempre es de concreto asfáltico, compuesto por un ligante, normalmente el asfalto, por ser un derivado de la refinación del petróleo, y agregados pétreos; materiales granulares y el suelo. Este tipo de pavimento se conoce como Flexible porque cuando se somete a distintas cargas sufre

deformaciones y la recuperación es la deseada, al terminar la carga, es completamente elástica.

A juicio de Cornejo (2014) los polímeros son moléculas de mayor tamaño que los normales, entonces existe un enlace entre moléculas que se unen entre sí, a dicha unión se conoce como monómeros. Esta unión forma diversas formas de enlaces como por ejemplo tienen forma de ramas, otras son larguiruchas; el tipo de unión que tiene el polímero SBS es en bloques. Conforme con Aguilar (2013) el STIRENO-BUTADIENO-STIRENO (SBS), es un tipo de polímero muy usado para modificar asfalto normalmente en agua, además está compuesto por moléculas de monómeros de butadieno y estireno, cuando se agrega este último elemento aumenta la ductilidad de carreteras asfálticas el SBS aumenta la elasticidad y disminuye la oxidación para disminuir su envejecimiento. (p. 45)

Según, Herrada y Chávez, (2013) las mezclas asfálticas modificadas son el resultado de la incorporación de polímeros en el asfalto, que vienen hacer componentes estables para las condiciones del clima que se van a presentar, en las que son agregadas al cemento asfáltico en líquido para poder mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. Así mismo, disminuir la oxidación y la susceptibilidad ante los cambios de temperatura y humedad. Por lo cual, los polímeros una vez mezclados con el cemento asfáltico, llegan a crear una nueva mezcla con propiedades importantes de elasticidad al asfalto que ha sido modificado (p. 14).

A juicio de Herrada y Chávez (2013) las propiedades de las mezclas asfálticas con polímeros son: La durabilidad es parte de las diversas propiedades de las mezclas asfálticas con polímeros, ya que se amplía la resistencia del asfalto, aumenta la resistencia mecánica, gran poder humectante y mejor adherencia de los agregados, elevan la resistencia a la rotura y al ahuellamiento en un rango amplio de tensiones, temperaturas y tiempo de carga. Así también, disminuyen la susceptibilidad térmica y a las cargas repetitivas del flujo vehicular que se dan. Otra característica de la mezcla asfáltica modificada es su disminución a la exudación del asfalto, por su mayor viscosidad de la disolución, su baja tendencia a fluir y su mayor elasticidad. De igual manera, se resalta la flexibilidad a menores temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento. (p. 15)

De igual manera, en cuanto al tiempo de vida útil, Ramírez (2013) señala que las mezclas asfálticas que son modificadas con polímeros generan un aumento de dos a tres veces en el periodo de vida útil del pavimento flexible según sea el caso. Esto es debido a las dos categorías de los modificadores que son: Elastómeros (caucho) presentan una mejor resistencia al envejecimiento. Así mismo, la vida útil aumenta por la rigidez de los asfaltos modificados por los componentes de hule natural, látex, SBS y SBR que proporcionan un mayor soporte a los amplios tiempos de cargas verticales sin deformaciones. Por otro lado, tenemos a los polímeros: Plastómeros (plástico) manifiestan propiedades de resistencia al impacto, mayor capacidad de aislamiento térmico, aumentan la absorción de agua y conllevan a una alta resistencia al agrietamiento dado por la fatiga en el tiempo de servicio del pavimento flexible. (p. 28)

Respecto al Costo, López y Veloz (2013) manifiestan que, en el proceso de las mezclas asfálticas con polímeros, habrá inicialmente un costo adicional de un 25% en relación a la mezcla asfáltica. Siendo así, un aumento que se tiene que tomar en consideración al seleccionar este método para el diseño y construcción de la carpeta asfáltica, examinando el costo – beneficio cuando se requiera su utilización. El costo dependerá netamente del proceso de polimerización y que estén disponibles los monómeros. Así también, tienen un valor importante en el mercado, debido a que son fáciles de conseguir. Es recomendable usar estas mezclas asfálticas con polímeros, ya que puede ayudar a minimizar los espesores de la carpeta de rodadura conservando las propiedades y la capacidad estructural. Al mismo tiempo, disminuye el costo del mantenimiento preventivo debido a su resistencia ante diversas fallas y deformaciones dadas en el periodo de vida útil del pavimento flexible, compensando de cierta manera los costos generales. (p. 152)

Aunado a esto, otra propiedad de la mezcla asfáltica según, Marin & Thenoux (2014) son los vacíos de aire, por cuanto un número menor de vacíos de aire llevan a problemas de deformación permanente. Una proporción elevada en el número de vacíos de aire lleva al asfalto a fallas frágiles, sobre-envejecimiento, una elevada permeabilidad y daños que se producen por causa de la humedad (p. 69).

En otro orden de ideas, las propiedades de tipo físicas del asfalto, que son de mayor importancia en el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: la durabilidad, la adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y

endurecimiento. La durabilidad viene a ser la medida que indica que tanto puede llegar a retener un asfalto sus características tal cual como las tenía al comienzo cuando se expone a aquellas situaciones normales que hacen que el asfalto se degrade y envejezca. Es una propiedad que llega a juzgarse de manera notoria y preponderante por medio del comportamiento del pavimento y por ende es complicado definirlo únicamente en términos de las propiedades que posee el asfalto. Esto es debido a que el pavimento se va a comportar dependiendo del diseño de la mezcla, las características que posea el agregado, el tipo de mano de obra en la construcción y unas cuantas variables más, y estas incluyen la durabilidad del asfalto. No obstante, hay ensayos de laboratorio que se hace de manera rutinaria para evaluar el comportamiento que posee el asfalto para hacer frente al envejecimiento en horno. Estas pruebas se conocen como la Prueba de Película delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). (Asphalt Institute, 1992)

En cuanto a la Adhesión y cohesión es la capacidad de 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. El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica” y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos (Asphalt Institute, 1992).

Referente a la susceptibilidad a la temperatura. 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 conoce como susceptibilidad a la temperatura o tasa de la variación de la viscosidad en función de la temperatura y es conocida como una de las propiedades de más valor en el asfalto. El dato de que los asfaltos sean susceptibles a la temperatura es variable entre los tipos de asfaltos de petróleos y que tiene orígenes diferentes, es tanto así, que no importa que los asfaltos tengan el mismo grado en la consistencia. Conocer el grado de susceptibilidad es muy importante, ya que el asfalto que se va a usar necesita una temperatura que sea la adecuada para la cual se va a mezclar el asfalto con el agregado y la temperatura

vuelve a ser tomada en cuenta cuando se va a compactar la mezcla sobre la base de la carretera (Asphalt Institute, 1992).

Teorías Relacionadas al tema

Se brinda la exposición teórica relacionada al tema principal, materia de la investigación, por consiguiente, además los enfoques relacionados a la variables 01 y 02

Suelos

Contenido de humedad

Se le denomina a la proporción de H₂O que tiene un agregado en su estado natural.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{(\text{Peso humedo} - \text{peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100 \quad (1)$$

Análisis granulométrico

Agregado fino

Para el agregado fino la granulometría tiene que ser continua, puesto que en los tamices el agregado no debe ser retenido en más de un 45% en dos mallas consecutivas.

Agregado Grueso

La granulometría debe ser retenida en el tamiz N°04, Se aprecia grava triturada o natural, dado que está conformada por partículas semiangulares o angulares es preferible que sean rugosas.

Límite líquido

El ensayo de límite líquido es hallado en los terrenos naturales por lo cual la humedad encontrada es trabajada para encontrar el resultado óptimo, así mismo se emplea para distintas capas del pavimento, por consiguiente, dichos

parámetros señalan que la muestra no tiene que pasar de estado plástico al estado líquido.



Figura 1 Copa de Casagrande equipo para determinar los límites líquido

Límite plástico

Para encontrar los límites de consistencia es delimitando el comportamiento que contiene cada suelo, considerando la mínima cantidad de humedad, dado que es considerable agregar a una muestra para así hallar los resultados en la condición plástica, así mismo se observa que el suelo es partidario a deformarse sin poder recuperarse elásticamente, de manera que se obtendrá cambios bruscos de volumen, agrietamientos y/o desmoronamiento.

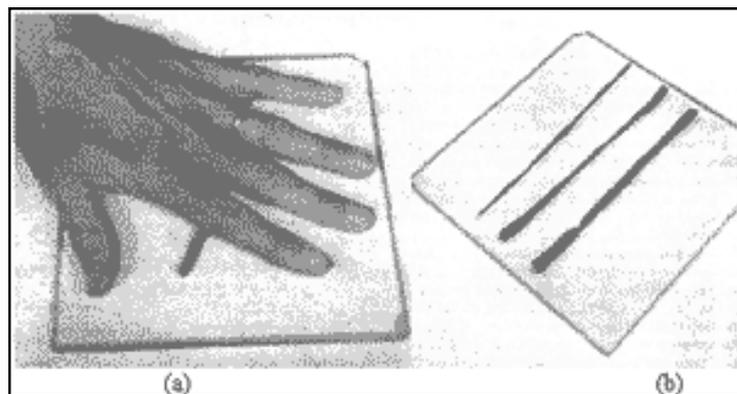


Figura 2 Elaboración del Límite plástico

Es Proctor Modificado

Proctor es la teoría contenida de agua y peso unitario seco del suelo compactado en los moldes



Figura 3 Materiales para realizar el proctor modificado

CBR

El ensayo de CBR (California Bearing Ratio), determina la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y así poder evaluar la calidad del terreno para la subrasante, sub base y base de la estructura del pavimento, así mismo el ensayo se realiza sobre el suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad.



Figura 4 CBR

Conteo Vehicular

IMDS- Índice medio diario semanal

IMDA –Índice medio diario anual

Es también conocida por AADRV (Averga Annual Daily Traffic). Es el promedio aritmético de los volúmenes diarios de todos los días del año, permite calcular la factibilidad económica, de las cuales es de la vía en la sección con la que se cuenta. Los datos del IMDA para los tramos proporciona la información requerida para determinar los puntos del diseño de la vía, la cuales son las clasificaciones y desarrollo de mejorar o dar mantenimiento a la vía.

Ejes equivalentes

Se denomina ESAL “equivalent simple axial load, es la cantidad predesible de los ejes de carga equivalente de 18 kips (80 kN), para un determinado

$$ESALs' = \left(\sum_{i=1}^m p_i \cdot F_i \cdot P \right) \cdot (TPD) \cdot (FC) \cdot F_d \cdot F_c \cdot 365 \quad (2)$$

Mezcla Asfáltica modificado

La mezcla asfáltica proporcionada capa de rodadura económica y además facilita el flujo de los autos, camiones, motos, entre otros, así mismo transmite las cargas debido al tráfico para que soporte las cualidades como la adherencia de los neumáticos.

Para considerar la factibilidad de un aditivo modificador este tiene que ser un elemento práctico al incorporar y económico.

ASTM D6927, ASTM D 2726, ASTM D 3202, ASTM D 4469

Vacíos

Los vacíos de aire o vacíos están formados por el aire atrapado en la mezcla, de manera que a menor porcentaje de aire la mezcla es menos permeable, así mismo el diseño de mezcla convencional, los vacíos de aire están entre 3 a 5%, por ende en campo el porcentaje de vacíos de aire debe ser no mayor a 8%.

Densidad

Es la relación entre el peso de la mezcla por el volumen. Esta característica no es utilizada en el diseño de la mezcla, ya que se emplea para los controles de compactación.

VMA

Los vacíos en el agregado mineral son los volúmenes ocupados por los vacíos de aire atrapado y el asfalto efectivo, por lo cual el diseño estima un porcentaje menor de VMA acatando el tamaño del agregado. De manera que si los porcentajes son bajos el asfalto será delgada y la mezcla irascible a oxidación. Así mismo si son altos el VMA del asfalto será grande y la mezcla más durable.

Vacío lleno de asfalto

El óptimo contenido de asfalto refiere al (%) de asfalto que se incluye a la mezcla, de manera que el asfalto será absorbido por los agregados y el asfalto restante rodearan las partículas.

Relación de estabilidad / flujo

Es la capacidad del asfalto para soportar deformaciones bajo cargas de tránsito y resistir el desplazamiento horizontal, por lo cual depende de la fricción por lo que se relaciona con la geometría y textura y cohesión interna es el ligante.

Polímero SBS

Son sustancias de alto peso molecular constituido por el vínculo de cientos de miles de moléculas pequeñas conocidas como monómeros (compuesto químicos con moléculas simples). En algunos casos se modifica los polímeros que han dado buenos resultados, como los copo limeros que tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).

Estructura del Pavimento

Subrasante

La subrasante soporta la carga de díselo, de las cuales debe de cumplir con unos los requisitos como la resistencia, incomprensibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, esta capa está conformado por el terreno de fundación nivelado, perfilado y compactado.

Base

La base tiene como función transmitir y distribuir y las distintas cargas hacía las capas resistentes, está comprendida por material de préstamo de las cuales tiene ciertas propiedades que van a depender para que tenga una buena estabilidad.

Carpeta asfáltica

Es asfalto soporta cargas directamente ocasionada por los neumáticos que transmiten de manera directa los esfuerzo a la capa de rodadura.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El enfoque es cuantitativo porque se efectuarán cálculos para diseñar el pavimento.

Según Hernández, et al., (2014), El enfoque de tipo cuantitativo usa la recolección de datos para efectuar pruebas a las hipótesis y toma en consideración el análisis de tipo estadístico, para realizar pruebas a las teorías en su comportamiento. (p.4).

La presente investigación es del **tipo aplicada** porque se va a realizar una implementación por medio del diseño y de acuerdo con Hernández, Fernández y Batista (2014), este tipo de investigación se caracteriza por tener objetivos prácticos inmediatos bien definidos, lo cual implica que se realiza el estudio para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad.

La investigación es **descriptiva**, pues intenta describir el resultado que causa el uso de mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS con el propósito de evaluar las propiedades del pavimento flexible. En cuanto a Hernández, Fernández y Batista (2014), la investigación descriptiva se resalta más que todo en definir el hecho y especificar como ocurre.

Es **no experimental**, aquí no se manipula ninguna de las variables en el estudio. A continuación Hernández, et al., (2014), define el diseño no experimental como el que se centra en hacer observaciones de los fenómenos conforme se den en su contexto para después ser analizados sin hacer manipulación de las variables. (p.149). De acuerdo a como se desarrolló este estudio, aquí se usó un diseño de tipo no experimental. Por cuanto no se manipularon las variables

3.2 Variables y operacionalización

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Cálculo de Pavimento
- Mezcla asfáltica modificada incorporando Polímero SBS (Estireno butadieno Estireno)

Variable Dependiente:

- Estructura del Pavimento

3.3 Población, muestra y muestreo

De acuerdo con Hernández, Fernández y Batista (2014) la población representa a los elementos que se van a estudiar de acuerdo al universo en estudio, donde se consideran los factores que muestran los valores y resultados de acuerdo al estudio realizado. La población en esta investigación será representada por la cantidad de asfalto que se usará para la avenida.

Según lo planteado por Hernández, Fernández y Batista (2014) define que la muestra está representada por una porción del universo de estudio que sea representativa lo más que se pueda de lo que se desea. La muestra va a estar representada por las calles que se van a asfaltar. El método de muestreo que se utiliza es el método no probabilístico, debido a que se cuenta con una población de estudio controlable y reducida. El muestreo no probabilístico, de acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014) representa un proceso de elección donde el investigador escoge a la muestra por criterios propios y no la escoge al azar (p. 189).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se empleará en este estudio es la técnica de observación y de acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), la observación se basa en hacer el registro de manera sistemática y con la mayor confiabilidad posible de algunos comportamientos o conductas que se manifiestan en un momento determinado. Asimismo, según Valderrama (2013) la observación participante es una técnica aplicada por el investigador la cual consiste en coleccionar los valores donde se incorpora de manera directa la aplicación en función del fin del estudio (p. 02). En esta investigación aplicará la observación participante, teniendo que realizar investigaciones en artículos científicos donde, de cada uno de ellos se sacaran los ensayos ahí realizados y se comparara con los cálculos hechos. En cuanto al instrumento Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que son aquellos que permiten la recolección de los datos necesarios para llevar a cabo el estudio. El instrumento que se utilizará en esta investigación es la ficha o guía de observación

de indicadores, los cuales contendrán de manera detallada los datos que arrojen los experimentos efectuados.

3.5 Procedimiento.

A continuación, se detalla cómo será el procedimiento y los métodos que se aplicarán en esta investigación. Una vez recolectados los datos a través de los ensayos estudiados de los artículos científicos encontrados, los mismos serán tabulados y analizados.

3.6 Método de análisis de datos

El método radica principalmente es analizar toda la información recolectada en los distintos estudios, se llevará a cabo un análisis del tipo estadístico descriptivo con el fin de efectuar cálculos y tabulaciones a través de los distintos gráficos y tablas que se presentaran y además de ello se efectuaran los cálculos correspondientes como el de una estructura de pavimento asfáltico flexible y un diseño de mezcla asfáltica de pavimento flexible convencional y modificada.

Todo esto se desarrollará con los datos obtenidos de distintos estudios que se encontraron a través de toda la investigación.

3.7 Aspectos éticos

Esta tesis tomará como referencia tesis de registro nacional de investigaciones de la SUNEDU que tengan relación con los constructos de este estudio y de repositorios de tesis, revistas científicas a nivel internacional (Hernández, Fernández y Batista, 2014). Asimismo, los datos recopilados serán incluidos tal como se muestre en el trabajo de campo, respetando así la veracidad de la información obtenida.

IV. RESULTADOS

4.- ESTUDIO DE SUELOS

Primeramente, se trata de conocer las condiciones del terreno de acuerdo al proyecto de pavimentación en las calles de villa el salvador, ya que en la actualidad existen algunas que no presentan algún tipo de pavimento flexible se utiliza el estudio de suelo, para lo cual se analizó en base a un estudio de suelo realizado a fin de conocer las condiciones necesarias cuando se realizan este tipo de proyecto, en lo que se comienza con el conocimiento de algunos aspectos importantes.

Se presenta así un estudio de suelos ejecutado por el MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) del Perú en el año 2019. Se toma este estudio como referente para introducir los conceptos y términos relacionados con los suelos, todos necesarios para entender el paso siguiente como es el cálculo del pavimento.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación va dirigida a Villa El Salvador, pero como se dijo arriba en el párrafo anterior, este material del MTC (2019, p.8) sirve para tener la guía a seguir. En ese orden de ideas, a continuación, se muestra en primer lugar un registro fotográfico de la vía a pavimentar, esto ayuda a los ingenieros a tener una bastante precisa de cual es el estado actual de la vía.

Km 00+500

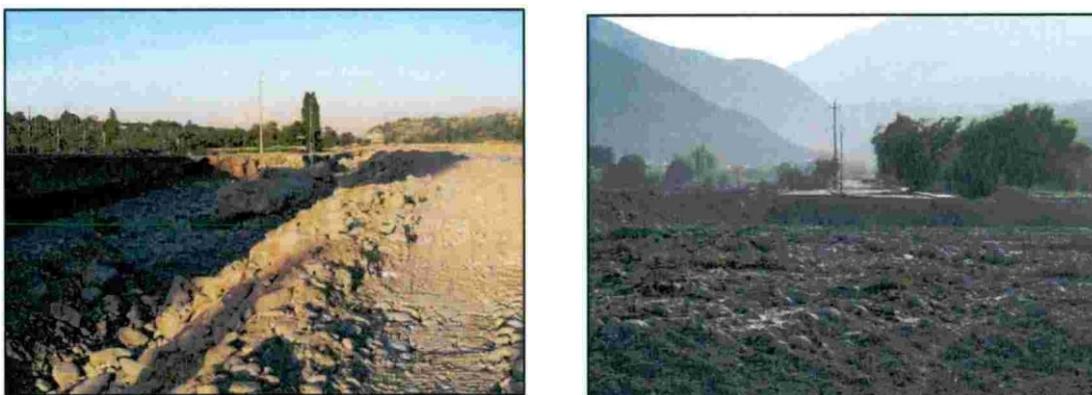


Figura 5 Estado actual de la vía

Las imágenes de la figura 1 permiten evidenciar el estado actual de la superficie de rodadura en éste sector, la cual está totalmente colapsada a causa de la erosión fluvial de la plataforma

4.1.- Trabajo de Campo

Estos consisten en la excavación de calicatas, toma de muestras y datos de las mismas, teniendo como referencia el eje actual de la vía, con la finalidad de evaluar y establecer las características físico-mecánicas de la subrasante (terreno natural) sobre el cual se apoyará la estructura de pavimento.

4.1.1.- Ubicación y Ejecución de las calicatas

La ubicación de las calicatas se establece previamente en gabinete, teniendo en consideración el eje actual de la vía, y se define posteriormente en campo teniendo en cuenta los tipos de suelos existentes. Para el presente estudio se ha considerado ejecutar calicatas con un espaciamiento promedio de 500 m, cuyos sondajes se denominaron correlativamente como C-1, C-2, C-3,.....C-18, ver tabla N° 3.

La ejecución se realizó de manera manual y hasta una profundidad de 1,5 m ó hasta alcanzar el nivel freático o roca, identificando los estratos, sus espesores y algunas propiedades físicas, con lo cual se definió el perfil estratigráfico de la vía.

Tabla 1 Ubicación de las calicatas efectuadas

CAL.	PROG	NORTE	ESTE	ESTRATO	PROF.	MUESTRA
C -1	0 +300	8,100,278	298,415	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -2	0 +500	8,100,207	298,187	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -3	1 +000	8,100,061	297,706	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -4	1 +500	8,099,885	297,240	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -5	2+000	8,099,683	296,780	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -6	2+500	8,099,513	296,314	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -7	3+000	8,099,328	295,846	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -8	3+500	8,099,183	295,372	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -9	4+000	8,099,047	294,894	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -10	4+500	8,098,882	294,422	E-1	0.00m - 0.20m	--
				E-2	0.20m - 1.60m	M-1
C -11	5+000	8,098,761	293,939	E-1	0.00m - 0.20m	--
				E-2	0.20m - 1.50m	M-1
C -12	5+500	8,098,755	293,444	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -13	6+000	8,098,741	292,948	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -14	6+500	8,098,696	292,451	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -15	7+000	8,098,546	291,995	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -16	7+500	8,098,259	291,594	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -17	8+000	8,097,874	291,290	E-1	0.00m - 0.10m	--
				E-2	0.10m - 1.50m	M-1
C -18	8+500	8,097,415	291,094	E-1	0.00m - 0.20m	--
				E-2	0.20m - 1.50m	M-1

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

4.2.- Propiedades físicas

Entre estas propiedades se encuentran el análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107), el límite líquido (MTC E 110), el límite plástico (MTC E 111) y también se mide el contenido de humedad (MTC E 108). Todas ellas necesarias para garantizar la durabilidad del pavimento.

Clasificación de suelos por el método SUCS y por el método AASHTO (ASTM D-2487 / 0-3282)

Los diferentes tipos de suelos encontrados y estudiados son definidos por el tamaño de las partículas, así como por su condición de plasticidad en función del contenido de humedad natural del suelo. Frecuentemente son encontrados en combinación de dos o más tipos de suelos diferentes, como, por ejemplo: arenas, gravas, limo, arcillas y limo arcilloso.

A continuación, se muestra la tabla N° 4 donde es presentado un resumen de los resultados de ensayos de clasificación, contenido de humedad, límites y análisis granulométrico correspondiente a las muestras de las 18 calicatas que se realizaron.

Tabla 2 Resumen de los resultados de las propiedades físicas

CAL	MUE.	% QUE PASA		L. ATTE.		W (%)	CLAS.	
		N.º 4	#200	L.L.	I.P		AASHTO	SUCS
C-1	M-1	46.72	5.1	17.06	NP	0.12	A-1-a(0)	GP-GM
C-2	M-1	78.19	36.54	25.7	4.3	2.21	A-4(0)	SC-SM
C-3	M-1	52.45	11.56	21.5	NP	2.47	A-1-a(0)	GP-GM
C-4	M-1	56.53	22.79	22.6	0.2	3.38	A-1-b(0)	GM
C-5	M-1	57.37	16.14	24.04	NP	3.06	A-1-b(0)	GM
C-6	M-1	58.99	15.09	33.4	10.5	2.74	A-2-6(0)	SC
C-7	M-1	48.34	14.42	20.8	0.5	1.57	A-1-a(0)	GM
C-8	M-1	53.39	12.7	14	NP	2.5	A-1-a(0)	GM
C-9	M-1	59.94	17.94	25.5	4.3	2.95	A-1-b(0)	SC-SM
C-10	M-1	90.81	31.47	22.62	1.38	4.62	A-2-4(0)	SM
C-11	M-1	86.29	26.35	NP	NP	2.95	A-2-4(0)	SM

CAL	MUE.	% QUE PASA		L. ATTE.		W (%)	CLAS.	
		N.º 4	#200	L.L.	I.P		AASHTO	SUCS
C-12	M-1	64.01	23.48	26.1	1.6	3.83	A-1-b(0)	SM
C-13	M-1	63.27	21.68	22.31	NP	6.51	A-1-b(0)	SM
C-14	M-1	69.5	22.3	30.59	NP	2.81	A-1-b(0)	SM
C-15	M-1	56.37	12.25	23.35	2.05	2.22	A-1-a(0)	SM
C-16	M-1	72.44	33.49	24.98	NP	2.48	A-2-4(0)	SM
C-17	M-1	61.04	16.09	22.6	NP	2.77	A-1-b(0)	SM

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

4.3.- Propiedades Mecánicas

Los ensayos que permiten definir las propiedades mecánicas del suelo frente a sollicitaciones mecánicas, determinando su condición de resistencia, en esta investigación para el diseño de espesores de pavimentos son: El CBR (California Bearing Ratio), las densidades naturales y el ensayo de Humedad (Proctor) de Suelos los cuales se hacen en todos los estudios de Suelo. Pero para efectos de esta tesis interesa el CBR.

A continuación, se muestra la Tabla N° 5 donde se resumen los resultados de laboratorio de las propiedades mecánicas

Tabla 3 Resumen de los resultados de las propiedades mecánicas

CAL	MUE.	PROCTOR MOD.		CBR (%)	
		M.D.S (g/cm3)	O.C.H. (%)	(95% M.D.S.)	(100 % M.D.S)
C-1	M-1	2.098	7.5	54.11	41.4
C-2	M-1	1.998	10.1	31.42	20.59
C-3	M-1	2.168	7.5	54.68	40.61
C-4	M-1	2.078	9.9	44.57	34.1
C-5	M-1	2.11	9.9	44.37	31.23
C-6	M-1	2.071	9.7	33.48	22.7
C-7	M-1	2.11	8.8	53.76	38.67
C-8	M-1	2.155	8.7	53.8	33.22
C-9	M-1	2.01	9.8	42.42	27.18
C-10	M-1	1.849	12.2	22.72	15.21
C-11	M-1	1.915	12.3	25.75	18.21
C-12	M-1	1.995	11.3	39.89	29.29
C-13	M-1	2.1	10.9	39.64	27.81
C-14	M-1	2.05	10.1	42.74	30.57
C-15	M-1	2.035	10.3	45.37	33.29
C-16	M-1	2.048	9.1	38.73	25.71
C-17	M-1	2.17	8.7	44.35	30.99
C-18	M-1	2.15	8.6	44.97	33.71

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Criterio de capacidad de soporte de los Suelos (CBR)

Solución

Parámetro de mucha importancia y clave para garantizar una buena pavimentación duradera en el tiempo con buenas características mecánicas y de desempeño. El manual de carreteras del MTC de Perú hace referencia a este dato y expresa que se considera apto como material subrasante un suelo que posea un CBR ≥ 6 , si es menor se debe proceder a la estabilización del suelo.

Luego se procede a realizar el cálculo para el diseño de pavimento flexible según el Método AASHTO 1993

1: los resultados de ensayos de laboratorio permitieron definir las características propias del suelo de la sub rasante y su clasificación según AASHTO.

$$LOG_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 LOG_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{LOG_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 LOG_{10}(M_R) - 8.07 \quad (3)$$

Dónde:

- SN** : Numero estructural, indicativo del espesor total del pavimento
- Zr** : Desviación Estándar Normal
- So** : Desviación Estándar Total
- ΔPSI** : Índice de Serviciabilidad Presente (Pi-Pt) ó pérdida de serviciabilidad
- Pi** : Serviciabilidad Inicial
- Pt** : Serviciabilidad Final
- Mr** : Modulo de Resiliente de la Sub Rasante
- W18** : Numero proyectado de cargas equivalentes de 18 kip (80kN)

2: Módulo resiliente de la sub rasante (psi)

Es una medida de rigidez del suelo de sub rasante, por consiguiente, se procede a estructurar el pavimento conformadas por capas, entre ellas sub base granular, base granular y carpeta asfáltica.

$$Mr = 2555 \times CBR^{0.64}(\text{PSI}) \quad (4)$$

Tabla 4 Modulo de Resiliencia -Subrasante

MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRSANTE (Mr, K psi)
--

CBR	=	21.10
-----	---	-------

El metodo AASHTO 2002 - El CBR el cual rige para todos los casos

$Mr = 2555 \times CBR^{0.64}(\text{PSI})$

Mr =	17.986	KPSI
------	--------	------

CBR MAYOR A 20%

$Mr = 4326 \times \ln(\text{CBR}) + 241(\text{PSI})$
--

Mr =	13.432	KPSI
------	--------	------

CBR DE 10% A 20%

$Mr = 3000 \times CBR^{0.65}(\text{PSI})$

Mr =	21.772	KPSI
------	--------	------

CBR MENOR A 10%

$Mr = 1500 \times CBR (\text{PSI})$

Mr =	31.650	KPSI
------	--------	------

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un CBR de diseño de 21.1%, obteniendo un **Mr de 17.986 KPSI o 17986 PSI.**

3: Confiabilidad (%R)

Representa la probabilidad de un comportamiento determinado de la estructura, durante su periodo de diseño. En consecuencia, a mayor confiabilidad tendremos un incremento del espesor de la estructura del pavimento a diseñar.

La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación de diseño, por ende, se utiliza la desviación normal estándar (Z_r).

Tabla 5 Nivel de confiabilidad Recomendado (R)

Clasificación General de la Vía	R	
	Urbano	Rural
Autopistas y Carreteras	85% - 99%	80% - 99.9%
Vías Arteriales	80% - 99%	75% - 95%
Vías Colectoras	80% - 95%	75% - 95%
Vías Locales	50% - 80%	50% - 80%

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

Para un periodo de 10 años, la confiabilidad es de 85%.

Para el porcentaje de confiabilidad adoptada, la Desviación Standard Normal (Z_r) obtenemos de la Tabla 7, de la Guía de Diseño AASHTO.

Tabla 6 Desviación Estándar (Z_r)

Confiabilidad (R)	(Z_r)
60%	-0.253
70%	-0.524
75%	-0.674
80%	-0.842
85%	-1.036
90%	-1.282
91%	-1.340
92%	-1.405
93%	-1.476
94%	-1.555
95%	-1.645

96%	-1.751
97%	-1.881
98%	-2.054
99%	-2.327
99.9%	-3.090
99.99%	-3.750

Fuente: Tabla 4.1, de la Guía de Diseño AASHTO

Para 85% de Nivel de Confiabilidad resulta: **Zr = -1.036.**

4: Desviación Estándar Combinada (So)

Es el valor que se toma en la variabilidad de la predicción del tráfico y de los factores que afectan el comportamiento del pavimento. La guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el manual del MTC se adopta para los diseños recomendados el valor de **0.45**.

5.- Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

La serviciabilidad de un pavimento está definida como su habilidad para servir al tipo de tráfico (automóviles y camiones) que usa la vía. Su valor varía de 0 a 5, un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor 0 refleja el peor.

5.1.- Serviciabilidad Inicial (Pi)

La serviciabilidad inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida. A continuación, se indican los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico.

Tabla 7 Índice de Serviabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Camino de bajo volumen de transito		150,001	300,000	3.80
		300,001	500,000	3.80
		500,001	750,000	3.80
		750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos		1,000,001	1,500,000	4.00
		1,500,001	3,000,000	4.00
		3,000,001	5,000,000	4.00
		5,000,001	7,500,000	4.00
		7,500,001	10,000,000	4.00
		10,000,001	12,500,000	4.00
		12,500,001	15,000,000	4.00
		15,000,001	20,000,000	4.20
		20,000,001	25,000,000	4.20
		25,000,001	30,000,000	4.20
			>30'000,000	4.20

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos MTC

5.2.- Serviabilidad Final o Terminal (Pt)

La serviabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

Tabla 8 Diferencial de Serviabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Camino de bajo volumen de transito		150,001	300,000	1.80
		300,001	500,000	1.80
		500,001	750,000	1.80
		750,001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos		1,000,001	1,500,000	1.50
		1,500,001	3,000,000	1.50
		3,000,001	5,000,000	1.50
		5,000,001	7,500,000	1.50
		7,500,001	10,000,000	1.50
		10,000,001	12,500,000	1.50
		12,500,001	15,000,000	1.50
		15,000,001	20,000,000	1.20
		20,000,001	25,000,000	1.20
		25,000,001	30,000,000	1.20
			>30'000,000	1.20

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos – MTC

Para un periodo de 10 años, Se propone, en base al desarrollo de otros proyectos similares que el índice de serviciabilidad inicial sea de $P_o = 4.00$ y el índice de serviciabilidad final $P_t = 1.5$, por lo que la disminución del índice de serviciabilidad será 2.50.

Se Obtiene: $\Delta \text{PSI} = 2.50$

6: Número Estructural Propuesto (SNR)

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i \quad (5)$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (6)$$

Dónde:

a_i = Coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales (1/pulg).

D_i = Espesores (pulg).

m_i = Coeficiente de drenaje (adimensional).

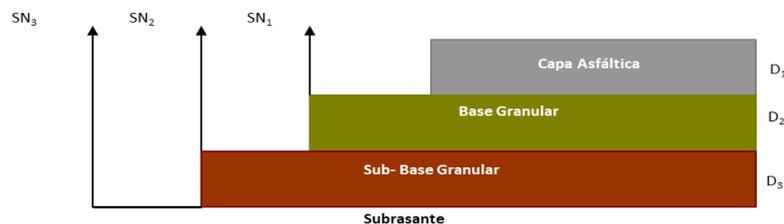


Figura 6 Esquema de estructura del pavimento

Los datos obtenidos y procesados se aplican en la ecuación de AASHTO y se logra el número estructural, que logra el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo formara.

$$SN = a_1 x d_1 + a_2 x d_2 x m_2 + a_3 x d_3 x m \quad (7)$$

Dónde:

a_T, a_T, a_T = Coeficiente estructurales de las capas: Superficial, base y subbase, respectivamente.

d_T, d_T, d_T = Espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

m_T, m_T =Coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

Los coeficientes estructurales de capa fueron estimados a partir de las correlaciones de la guía de diseño, las ecuaciones se presentan a continuación.

$$a_2 = 0.249 (\log_{10} E_{BS}) - 0.977 \quad (8)$$

$$a_3 = 0.227 (\log_{10} E_{SB}) - 0.839 \quad (9)$$

Dónde:

E_{BST} = Modulo resiliente de base granular

E_{SBT} = Modulo resiliente de sub base granular

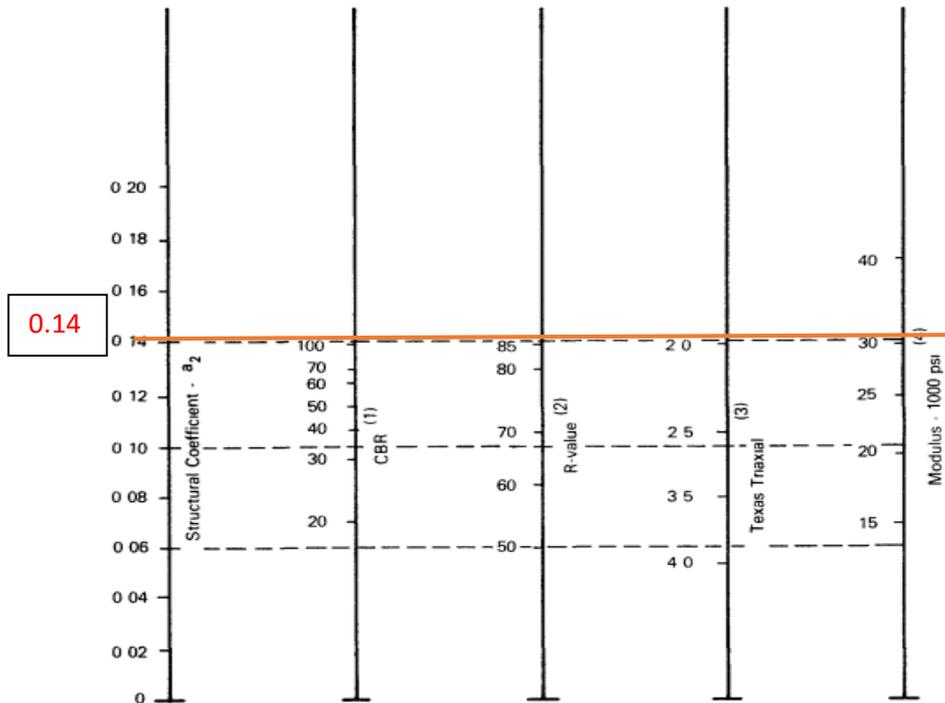


Figura 7 Variación en el coeficiente estructural de la capa de base Granular

Fuente: Guía para diseño AASHTO 1993

Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular (*)
(MTC E132, NTP 339.145 1999)

Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^6$	Minimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopistas; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $> 10 \times 10^6$)	Minimo 100%

Fuente: Elaboración Propia en base a la Sección 403 de las EG-Vigente del MTC y al Tipo de Carretera especificada en la RD 037-2008-MTC/14
 (*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1" (2.5 mm)

Figura 8 Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos – MTC

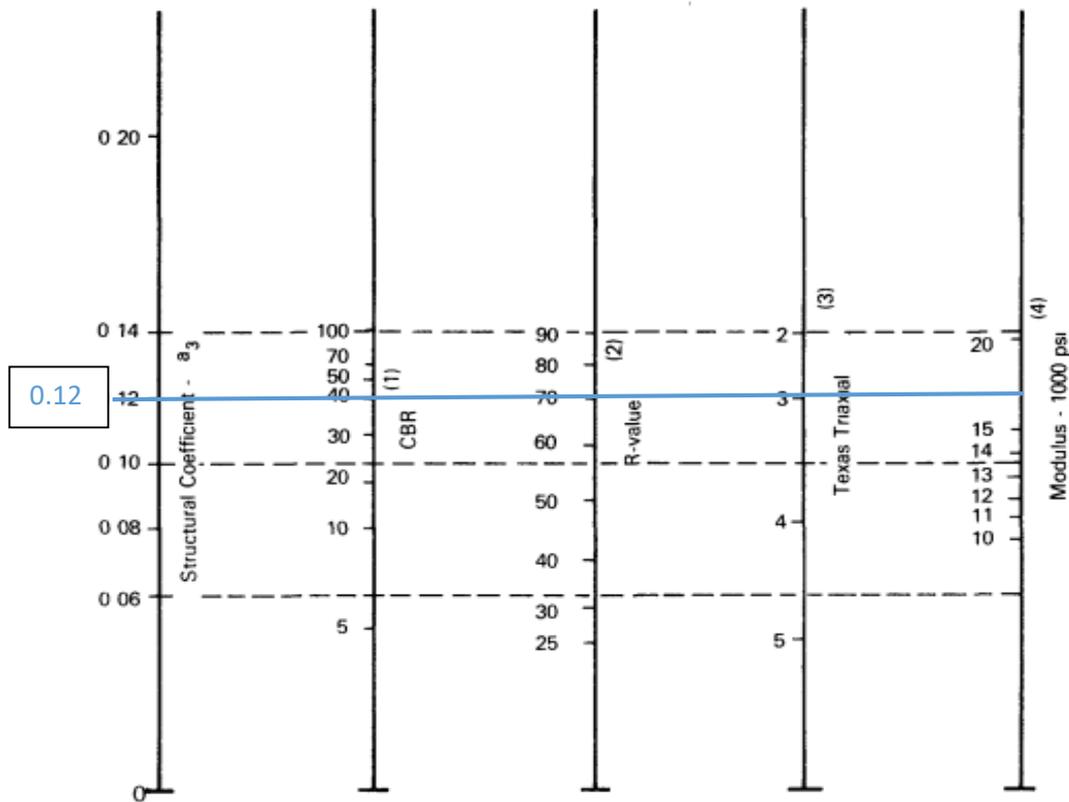


Figura 9 Variación en el coeficiente estructural de la capa de Subbase Granular

Fuente: Guía para diseño AASHTO 1993



Figura 10 Valor Relativo de Soporte, CBR en Subbase Granular

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos – MTC

Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria.

Los valores de los coeficientes estructurales considerados en el presente manual son:

Tabla 9 Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_i

COMPONENTES DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACION
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, modulo 2,965 Mpa (430,000 PSI) a 20°C (68°F)	a	0.170 / cm	Capa superficial recomendada para todos los tipos de trafico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión	a	0.125 / cm	Capa superficial recomendada para trafico $\leq 1'000,000$ EE
Micropavimento 25 mm	a	0.130 / cm	Capa superficial recomendada para trafico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa	a	(*)	Capa superficial recomendada para trafico $\leq 500,000$ EE No aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos.
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm	a	(*)	Capa superficial recomendada para trafico $\leq 500,000$ EE No aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en tramos que obliguen al frenado de vehiculos
(*) no se considera por no tener aporte estructural			
Base			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Trafico $\leq 10'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Trafico $> 10'000,000$ EE
Base Granular Tratado con Asfalto (Estabilidad Marshall=1500 lb)	a	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Trafico
Base Granular Tratado con Cemento (Resistencia a la compresion 7 dias=35 kg/cm ²)	a	0.070 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Trafico
Base Granular Tratado con Cal (Resistencia a la compresion 7 dias=12 kg/cm ²)	a	0.080 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Trafico
SUB BASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos –MTC

7: Coeficiente de drenaje

Este coeficiente tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura del pavimento.

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

a.- La calidad del drenaje

b.- exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad.

Tabla 10 Calidad del drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos – MTC

La saturación de la estructura está en función de las características granulométría de los componentes del pavimento y de la porosidad, así como de caudal de agua que pueda ingresar por precipitaciones fluviales, capilaridad o nivel freático.

Tabla 11 Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y Subbase granulares no tratadas en Pavimentos

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACION			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología. Geotecnia y pavimentos – MTC

Sobre la base del análisis de los resultados obtenidos se adoptó como coeficiente de Drenaje $m_2 = 1.00$ y $m_3 = 1.00$ para la base y sub base respectivamente.

8: Periodo de Diseño

El periodo de diseño empleado para cálculo de la estructura del pavimento es de 10 años.

Estudio de Tráfico

Se realizó el conteo vehicular. El **ESAL** a 10 años de horizonte de **ESAL** **=2.76E+06**.

9: Coeficiente estructurales de capa

Tabla 12 Coeficiente Estructural de las capas del pavimento nuevo

Componente del Pavimento	Valor coeficiente estructural a_i (pulg)	Valor coeficiente estructural a_i (cm)
MAC	0.44	0.17
Base Granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS	0.14	0.054
Subbase Granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS	0.12	0.047

Fuente elaboración Propia

10: Diseño propuesto.

Tabla 13 Parámetros para el cálculo del SN requerido para diseño. Periodo de diseño 10 años.

PARAMETRO DE DISEÑO	0 - 10 AÑOS
Números de ejes equivalentes (W18)	2.76E+06
Serviciabilidad inicial (Pi)	4
Serviciabilidad final (Pf)	1.50
Δ PSI	2.50
Confiabilidad %R	85%
Desviación estándar normal Zr	-1.036
desviación estándar combinada So	0.45
CBR de diseño %	21.1
Módulo Resiliente Mr	17986
Numero Estructural Requerido SN	2.69

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14 Datos Resultantes producto del cálculo de pavimento

DATOS			
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUB RASANTE			
Numeros de ejes equivalentes	2.76E+06		
2.1. Factor de Confiabilidad (R)			85%
Standard normal deviate (Zr)			-1.036
Overall standard deviation (So)			0.450
2.2. Modulo de resiliencia de la sub rasante (Mr, K - PSI)			17.986
2.3. Serviciabilidad inicial (Pi)			4.00
2.4. Serviciabilidad final (Pt)			1.50
Δ PSI			2.50
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
3.1. Coeficientes estructurales de capa			
Concreto Asfaltico (a 1)			0.44
Base granular (a 2)			0.14
Sub base (a 3)			0.12
3.2. Coeficiente de drenaje de capa			
Base granular (m 2)			1.00
Sub base (m 3)			1.00
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASUMIDO			
CARPETA ASFALTICA		D1	9.00
BASE		D2	15.00
SUB BASE		D3	15.00
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL			
N18 NOMINAL	N18 CALCULO	SN REQUERIDO	SN (RESULTANTE)
6.44	6.44	2.69	3.094

Fuente: Elaboración Propia

$$LOG_{10}(w_{18}) = 6.44$$

Para que la igualdad se cumpla SN (requerido) = 2.69.

Asumiendo:

Tabla 15 Estructura de Pavimento Flexible para un periodo de diseño de 10 años

PARAMETROS DE DISEÑO	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (cm)	ESPESOR SELECCIONADO (cm)
MAC	0.17/cm	9
Base Granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS	0.054/cm	15
Subbase Granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS	0.047/cm	15
Espesor total pavimento (cm)	39	
Numero estructural Propuesto (SN)	3.094	

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de uso herramientas computacionales, se usó el software DISAASHTO-93 y también se hizo una hoja de cálculo de excel con los cálculos para pavimento flexible, ver anexo 3 y 4.

Y, por último, una vez obtenidos todos los cálculos de diseño del pavimento flexible se procede a estudiar el tipo de asfalto a aplicar tal como se muestra en la tabla. Debido a las condiciones del tráfico a emplear se utilizará para el estudio en este particular el asfalto 60/70.

Tabla 16 Tipos de asfalto a seleccionar

Tipo	Grado	Ensayo	Grado Penetración									
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
			Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso												
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm		MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °C		MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm		MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %		MTC E 302	99		99		99		99		99	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾		MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oleasies) ⁽²⁾												
Solvente Nafta - Estándar			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno		AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2 mm, 5h												
Pérdida de masa, %		ASTM D 1754	0.8		0.8		1.0		1.3		1.5	
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %		MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾		MTC E 306	50		50		75		100		100	

Fuente: Ramírez y Villafana, (2019, p.55).

La tabla continuación muestra los ensayos Marshall típicos que deben aplicársele a toda mezcla para luego proceder a su uso

Tabla 17 Tipos de ensayos a realizar en el asfalto seleccionado

Parámetros de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 13		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la Compresión Mpa min.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia Retenida % (min)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3
Relación Estabilidad / flujo (kg/cm) (3)	1700 - 4000		
Resistencia Conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		
<p>(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.</p> <p>(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0.075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.</p> <p>(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. / Flujo sea de la menor magnitud posible.</p> <p>(4) El índice de Compactabilidad mínimo será 5.</p> <p>El índice de Compactabilidad se define como: $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$</p> <p>Siendo GEB 50 y GEB 5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.</p>			

Fuente: Ramírez y Villafana, (2019, p.57).

Todo lo anterior está de acuerdo a los parámetros de diseño del Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

Después de elegir el asfalto según las normas, se analizará la mejora del pavimento flexible utilizando el polímero SBC, entre las cuales se encuentran las propiedades mecánicas como durabilidad, deformación que se presentan por sobrecargas de tránsito o aspectos ambientales, por lo que se desea analizar el empleo de esta técnica de modificación de asfalto tal como se muestra en la tabla 20.

Tabla 18 Ventajas del SBS con respecto a el asfalto convencional

Parámetros de diseño	MTC			RESULTADOS DE AMBOS DISEÑOS	
	MEZCLAS CONVENCIONALES			CONVENCIONAL	MODIFICADO
	Clase de Mezcla			60/70	BETUTEC IC
	A	B	C	A	A
Marshall MTC E 504					
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35	75	75
Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN	13.46 kN	19.26 kN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20	13.65	13.12
Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3.78	3.89
Vacíos en el agregado Mineral VMA	De acuerdo a el tamaño del agregado			14.66	14.79
Inmersión - Compresión (MTC E 518)					
• Resistencia a la Compresión Mpa min.	2.1	2.1	1.4		
• Resistencia Retenida % (min)	75	75	75		
Relación Polvo – Asfalto	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	1.08	1.11
Relación Estabilidad / flujo (kg/cm)	1700 - 4000			3962	-----
Resistencia Conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min.				
Adherencia (Agregado grueso) MTC E 517	95			95	95
Adherencia (Agregado fino) MTC E 220	4 min.			7	8
Adherencia (mezcla) MTC E 521	95				

Fuente: Ramírez y Villafana, (2019, p.58).

De acuerdo a los resultados se puede evidenciar que uno de los aspectos importantes y más evidente su diferencia es la estabilidad ya que en un asfalto convencional es de 13,436 KN, en cambio con un asfalto modificado se encuentra a un valor de 19,26 KN, lo que quiere decir que es más estable este asfalto transformado. Por estos aspectos estudiados se resalta la importancia de la aplicación y de la elaboración de esta técnica mejoradora de asfalto debido a que muestra resultados sorprendentes ya que evidencia una mejora sustancial en las propiedades con respecto al asfalto convencional.

Tabla 19 Diseño de Mezcla

	PEN 60/70	BETUTEC IC	TOLERANCIA
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: Ramírez y Villafana, (2019, p.59.).

Una vez realizado los diferentes tipos de mezclas tanto de asfalto convencional y con SBS, se puede visualizar que los valores de la estabilidad se mejoran cuando se le incorpora este polímero e incluso un poco la variación con respecto al flujo y el óptimo contenido de asfalto.

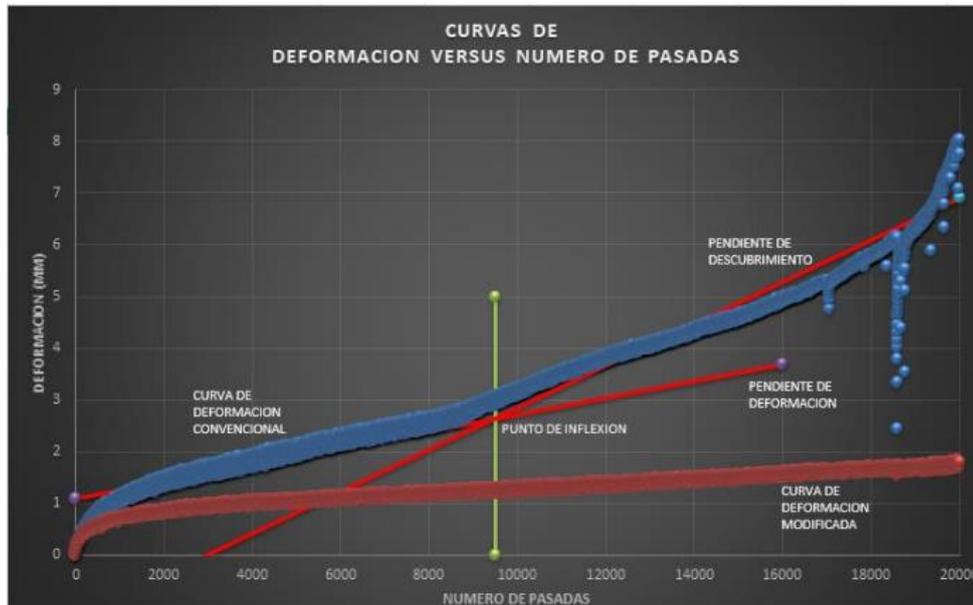


Figura 11 Grafica de respuesta del Ensayo Rueda de Hamburgo

De acuerdo a la gráfica se logró evidenciar que el asfalto modificado puede llegar a soportar 20.000 pisadas, además de que la deformación se mantiene constante, en cuanto al tradicional este parámetro va aumentando, es decir que este asfalto modificado poseerá mejor comportamiento en cuanto al ahuellamiento que es ocasionado por la deformación constante, lo aporta mayor vida útil, durabilidad y menor mantenimiento.

Mezclas Asfáltica en caliente – Diseño MAC (Convencional)

1: Mezcla de agregados (Porcentaje en peso).

Cantera Santa Anita 2 Sagrado.

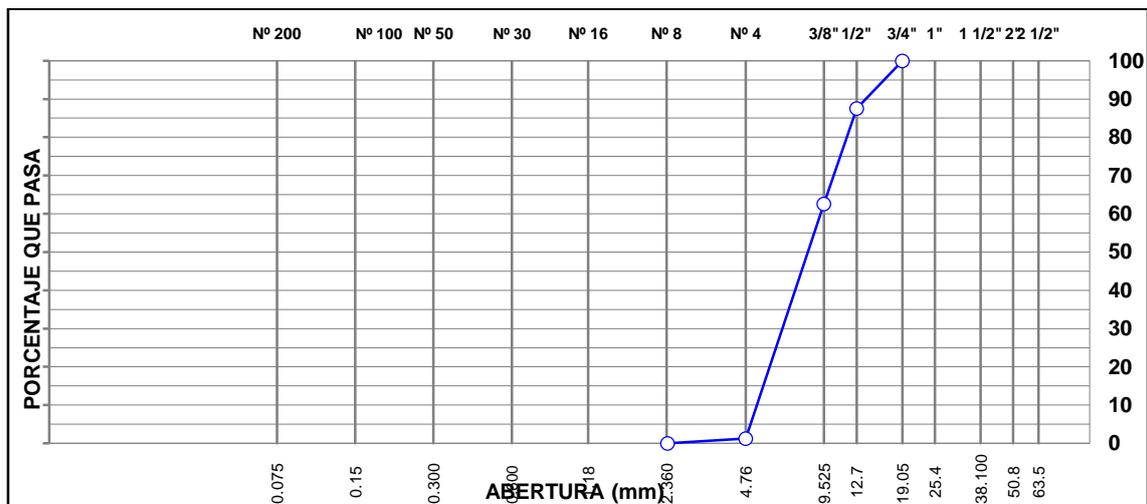
Análisis granulométrico Piedra Chancada.

Tabla 20 Análisis granulométrico de los agregados por tamizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS		RET.	RET. PAR.	RET. AC.	PASA	ESPECIFICACIÓN
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	g	%	%	%	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050				100.0	
1/2"	12.700	2478.8	12.5	12.5	87.5	
3/8"	9.525	4957.5	24.9	37.4	62.6	
1/4"	6.350					
# 4	4.760	12187.3	61.3	98.7	1.3	
# 6	3.360					
# 8	2.380	254.0	1.3	100.0	0.0	
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 80	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	(ASTM C-117)					

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Gráfico 1 Curva de Granulometría



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Porcentaje en peso es de 48%.

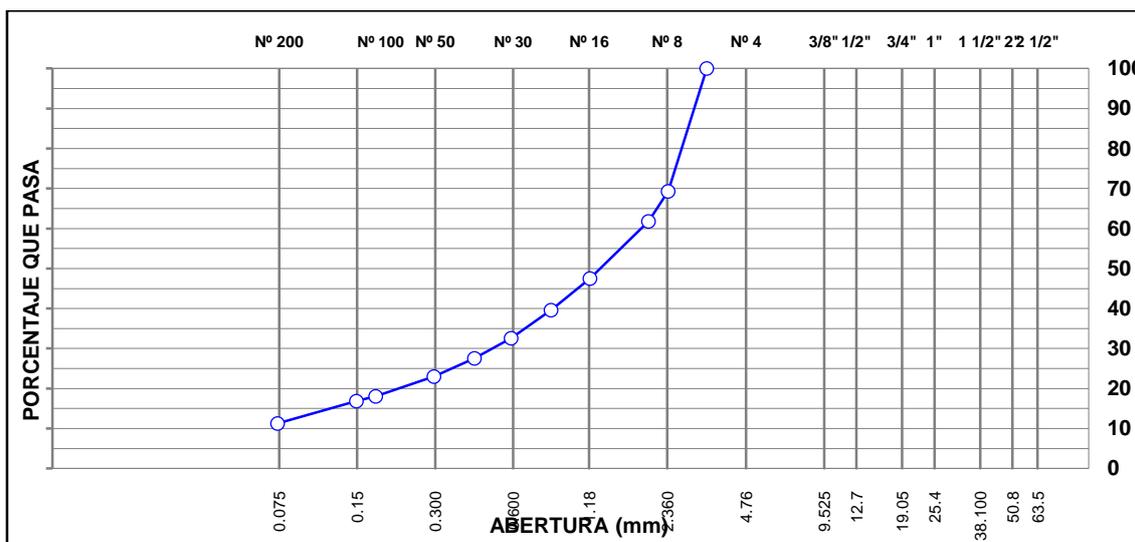
Análisis de la granulometría de la Arena Chancada

Tabla 21 Análisis de la Granulometría de agregados por tamizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
# 4	4.760					
# 6	3.360				100.0	
# 8	2.380	197.2	30.7	30.7	69.3	
# 10	2.000	48.2	7.5	38.2	61.8	
# 16	1.190	91.8	14.3	52.5	47.5	
# 20	0.840	50.7	7.9	60.4	39.6	
# 30	0.590	45.0	7.0	67.4	32.6	
# 40	0.426	32.1	5.0	72.4	27.6	
# 50	0.297	29.5	4.6	77.0	23.0	
# 80	0.177	31.5	4.9	81.9	18.1	
# 100	0.149	7.7	1.2	83.1	16.9	
# 200	0.074	36.0	5.6	88.7	11.3	
< # 200	(ASTM C-117)	72.6	11.3	100.0	0.0	

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Gráfico 2 Curva granulométrica



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Porcentaje en peso es de 52%.

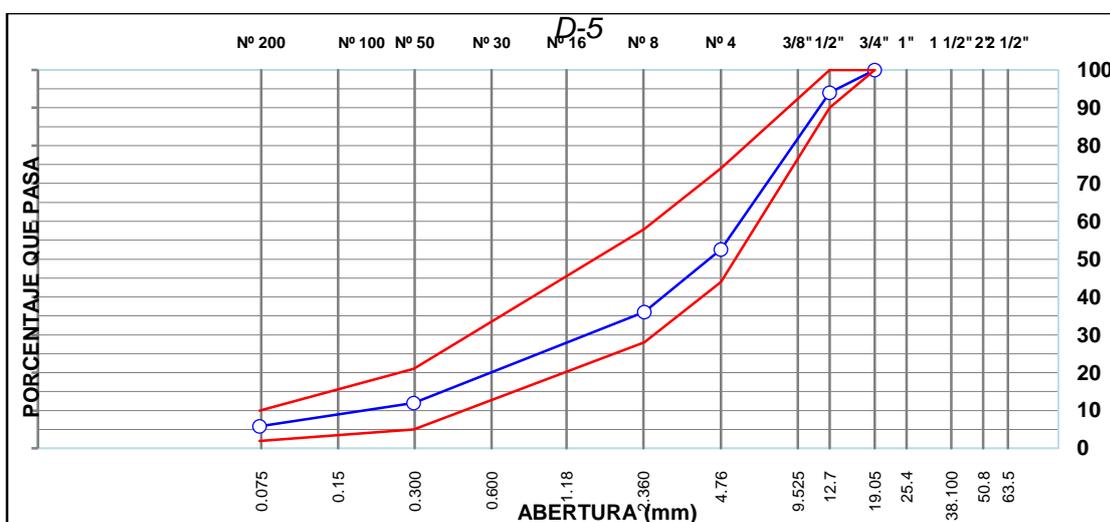
Combinación teórica de agregados Mezcla asfáltica convencional en caliente especificación ASTM D 3515 D-5

Tabla 22 Combinación teórica de agregados para la mezcla asfáltica

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN ASTM D3515 D-5	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	6.0	6.0	94.0	90	100
3/8"	9.525	12.0	18.0	82.0		
1/4"	6.350					
# 4	4.760	29.4	47.4	52.6	44	74
# 6	3.360					
# 8	2.380	16.6	64.0	36.0	28	58
# 10	2.000	3.9	67.9	32.1		
# 16	1.190	7.4	75.3	24.7		
# 20	0.840	4.1	79.4	20.6		
# 30	0.590	3.6	83.0	17.0		
# 40	0.426	2.6	85.6	14.4		
# 50	0.297	2.4	88.0	12.0	5	21
# 80	0.177	2.6	90.6	9.4		
# 100	0.149	0.6	91.2	8.8		
# 200	0.074	2.9	94.1	5.9	2	10
< # 200	(ASTM C-117)	5.9	100.0	0.0		

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Gráfico 3 Curva granulométrica gradación ASTM D3515



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Método Marshall – ASTM D-6927

Tabla 23 Método Marshall

DETALLE DE DISEÑO
DISEÑO PROPUESTA DE M.A. CONVENCIONAL
MÉT. MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

DATOS : Victor Silvino Huaman Pereyra - Jose Antonio Huauya Gaspar
UBICACIÓN : Villa El Salvador - Lima
PROYECTO : Tesis
F. ELABOR. : 26/06/2020

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B	1C	2	2-A	2-B	2C	3	3-A	3-B	3C	4	4-A	4-B	4C	5	5-A	5-B	5C
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5
2 % A. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	45.84	45.84	45.84	45.84	45.60	45.60	45.60	45.60	45.36	45.36	45.36	45.36	45.12	45.12	45.12	45.12	44.88	44.88	44.88	44.88
3 % A. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	49.66	49.66	49.66	49.66	49.40	49.40	49.40	49.40	49.14	49.14	49.14	49.14	48.88	48.88	48.88	48.88	48.62	48.62	48.62	48.62
4 P. ESPEC. DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
5 P. ESPEC. BULK DEL A. GRUESO	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724
6 P. ESPEC. BULK DEL A. FINO	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709
7 P. BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1150.6	1154.5	1151.2	1150.2	1156.2	1146.4	1152.2	1151.2	1157.7	1155.2	1152.2	1151.2	1161.0	1159.7	1160.2	1160.0	1159.6	1160.5	1162.2	1161.5
8 P. DE BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1155.2	1160.2	1155.5	1154.6	1157.6	1147.9	1154.2	1153.6	1159.1	1155.8	1154.2	1153.6	1161.7	1160.6	1162.1	1162.3	1160.2	1161.5	1163.2	1162.2
9 P. DE BRIQUETA EN EL AGUA (g)	675.5	679.9	674.5	675.1	680.5	674.6	676.1	676.9	683.4	680.6	679.6	678.5	688.0	686.2	685.9	686.0	685.5	686.6	686.7	687.3
10 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	479.7	480.3	481.0	479.5	477.1	473.3	478.1	476.7	475.7	475.2	474.6	475.1	473.7	474.4	476.2	476.3	474.7	474.9	476.5	474.9
11 P. ESPEC. BULK DE BRIQUETA	2.399	2.404	2.393	2.399	2.423	2.422	2.410	2.415	2.434	2.431	2.428	2.423	2.451	2.445	2.436	2.435	2.443	2.444	2.439	2.445
12 P. UNIT. DE BRIQUETA A 25°C (g/cm ³)- ASTM D 2726	2.392	2.397	2.386	2.392	2.416	2.415	2.403	2.408	2.427	2.424	2.421	2.416	2.444	2.438	2.429	2.428	2.436	2.437	2.432	2.439
13 PESO ESPEC. MÁX. -ASTM D 2041	2.562	2.562	2.562	2.562	2.540	2.540	2.540	2.540	2.521	2.521	2.521	2.521	2.503	2.503	2.503	2.503	2.484	2.484	2.484	2.484
14 % VACIOS - ASTM D 3203	6.4	6.2	6.6	6.4	4.6	4.6	5.1	4.9	3.5	3.6	3.7	3.9	2.1	2.3	2.7	2.7	1.7	1.6	1.8	1.5
15 P. ESPEC. BULK DEL AGREG. TOTAL	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716
16 V.M.A. (%)	15.7	15.5	15.9	15.7	15.3	15.3	15.7	15.5	15.3	15.4	15.5	15.7	15.2	15.4	15.7	15.7	15.9	15.9	16.0	15.8
17 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	59.2	60.0	58.5	59.2	69.9	69.9	67.5	68.4	77.1	76.6	76.1	75.2	86.2	85.1	82.8	82.8	89.3	89.9	88.8	90.5
18 P. ESPEC. EFECTIVO DEL AGREG. TOTAL	2.760	2.760	2.760	2.760	2.757	2.757	2.757	2.757	2.759	2.759	2.759	2.759	2.761	2.761	2.761	2.761	2.762	2.762	2.762	2.762
19 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
20 % ASFALTO EFECTIVO	3.94	3.94	3.94	3.94	4.47	4.47	4.47	4.47	4.95	4.95	4.95	4.95	5.43	5.43	5.43	5.43	5.92	5.92	5.92	5.92
21 FLUJO (0,01 pulgada)	12.0	11.0	12.0	13.0	13.0	12.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	14.0	15.0	15.0	16.0	16.0	17.0
22 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	967	1009	1031	1009	1031	1052	1073	1047	1115	1094	1073	1052	1115	1094	1031	1009	1009	946	984	946
23 FACTOR DE ESTAB. (TABLA)	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
24 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1102	1151	1175	1151	1175	1199	1223	1194	1271	1247	1223	1199	1271	1247	1175	1151	1151	1078	1122	1078

OBSERVACIONE

ASFALTO 60/70 PLUS

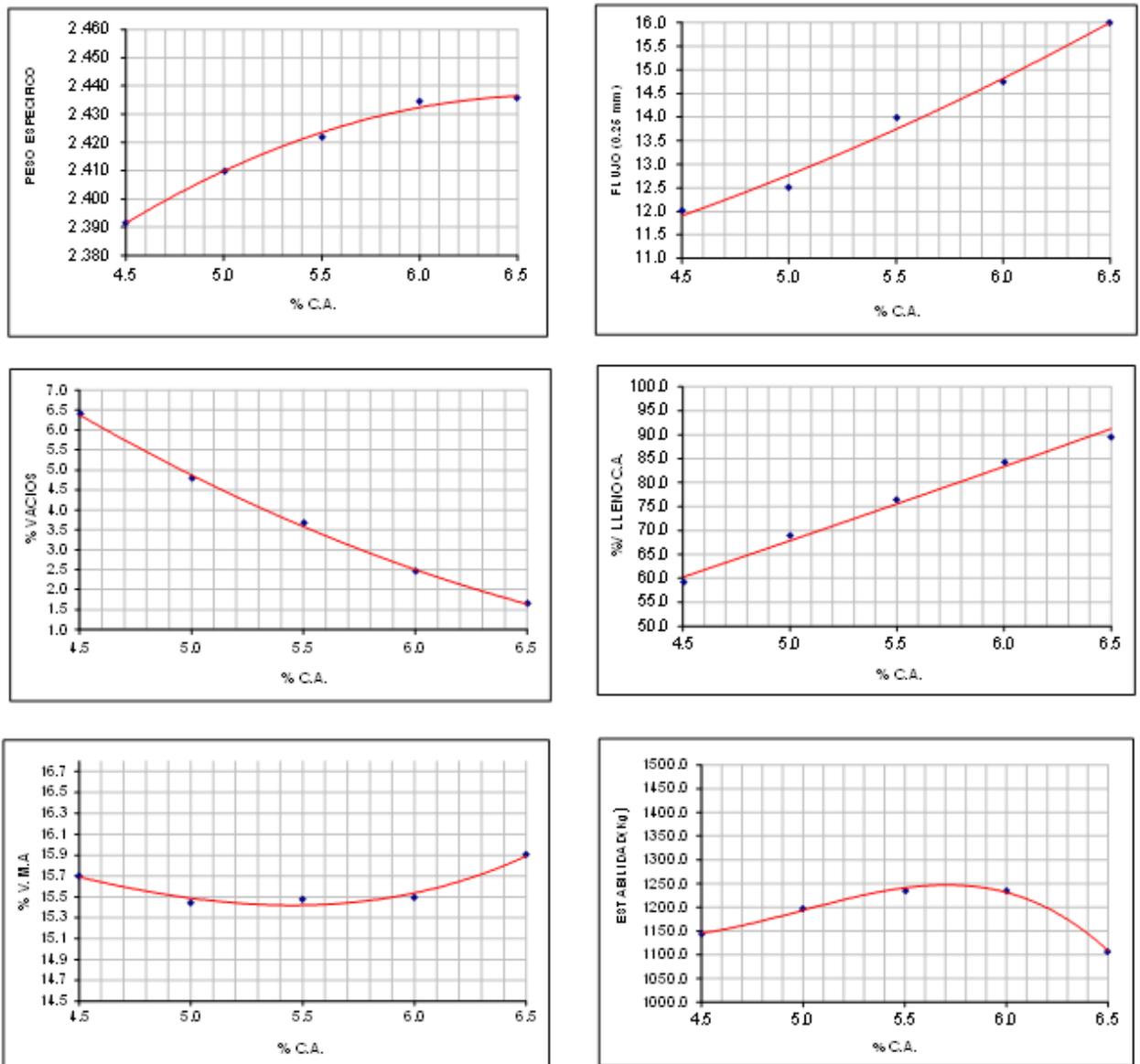
Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Ensayo de propuesta de mezcla asfáltica en caliente – Método Marshall

Gráfico 4 Gráfica del Método Marshall

DETALLE DE DISEÑO DISEÑO PROPUESTA M.A. CONVENCIONAL MÉT. MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

DATOS : Vitor Silvino Huaman Pereyra - Jose Antonio Huauya Gaspar
 UBICACIÓN : Villa El Salvador - Lima
 PROYECTO : Tesis
 F. ELABORACIÓN : 28/08/2020

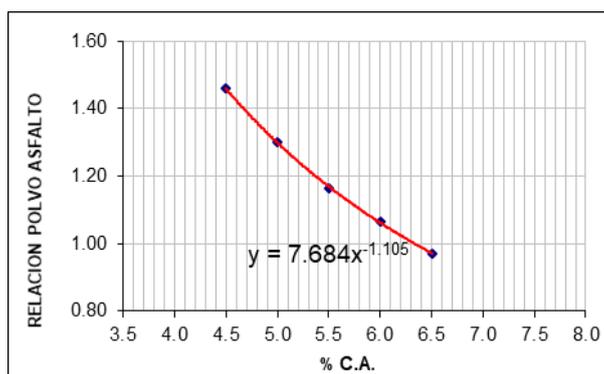


OBSERVACIONES:

ASFALTO 60/70 PLUS

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Gráfico 5 Gráfico del Método Marshall



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Tabla 24 Ensayo de mezcla en caliente Convencional

**DETALLE DE DISEÑO
DISEÑO PROPUESTA DE M.A. CONVENCIONALES
MET. MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)
(RESUMEN)**

DATOS : Victor Silvino Huaman Pereyra - Jose Antonio Huauya Gaspar
 LOCALIZACIÓN : Villa El Salvador Lima
 CONCEPTO : Tesis
 F. DE RECEPCIÓN : 28/06/2020

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (% EN PESO)

CANTERA SANTA ANITA 2 SAGRADO

PEDRA CHANCADA : 48%
 ARENA CHANCADA : 52%
 : ESPECIFICACIÓN TECNICA
 : ASTM D3515 D-5

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipología de asfalto : ASFALTO 60/70 PLUS
 Pocerntaje optimo de C.A. : 5.30

3.- ADITIVO

Tipología de aditivo : ADHESOL 10000
 Porcentaje del aditivo en peso del C.A. : 0.5

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

NUMERO DE GOLPES		75	
C.A. (PORCENTAJE EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.10	5.30	5.50
DENSIDAD SECA BULK (gramos/cm3)	2.413	2.419	2.423
POCENTAJE DE VACIOS	4.6	4.1	3.6
V.M.A. (PORCENTAJE)	15.46	15.43	15.42
R.B.V. (PORCENTAJE)	69.4	72.5	75.6
FLUJO (0,25 mm)	13.0	13.3	13.7
ESTABILIDAD (kilogramos)	1204.0	1224.0	1240.0
Concordancia particula - asfalto	1.29	1.24	1.19
Relación Estabilidad /Flujo	3646	3623	3563

5.- T. DE EMPLEO (°C)

De acuerdo a la carta de viscosidad
 T. Mezcla: 150.0 °C - 154.0 °C
 T. de Compactación: 141.0 °C - 144.0 °C

6.- OBSERVACIONES

1.- Se utilizó Asfalto 60/70 de la Refinería Repsol y se aditivo 0.5% con mejorador de adherencia Adhesol 10000.

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Mezclas Asfáltica en caliente Modificado – Diseño MAC

1: Mezcla de agregados (Porcentaje en peso).

Cantera Santa Anita 2 Sagrado.

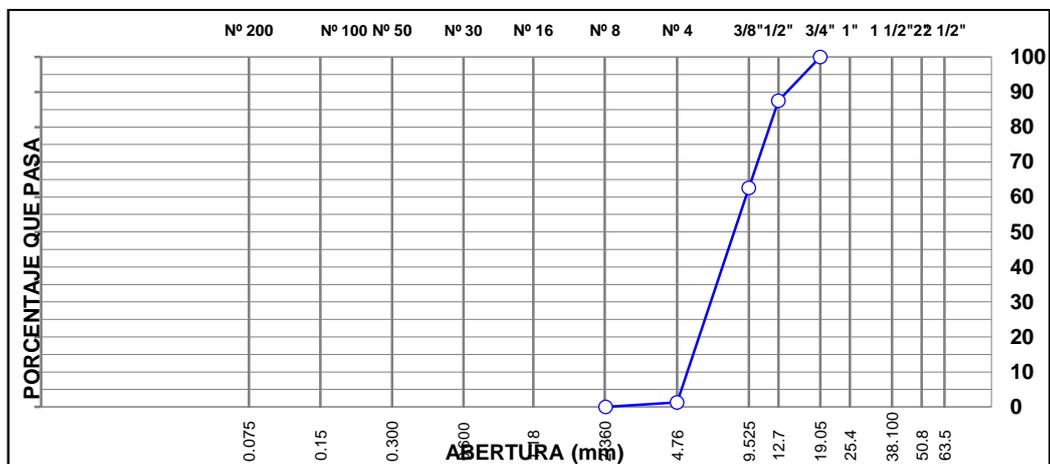
Análisis granulométrico Piedra Chancada.

Tabla 25 Análisis granulométrico Piedra Chancada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS		PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050				100.0	
1/2"	12.700	2478.8	12.5	12.5	87.5	
3/8"	9.525	4957.5	24.9	37.4	62.6	
1/4"	6.350					
# 4	4.760	12187.3	61.3	98.7	1.3	
# 6	3.360					
# 8	2.380	254.0	1.3	100.0	0.0	
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 80	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	(ASTM C-117)					

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Grafico 6 Curva de Granulometría



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

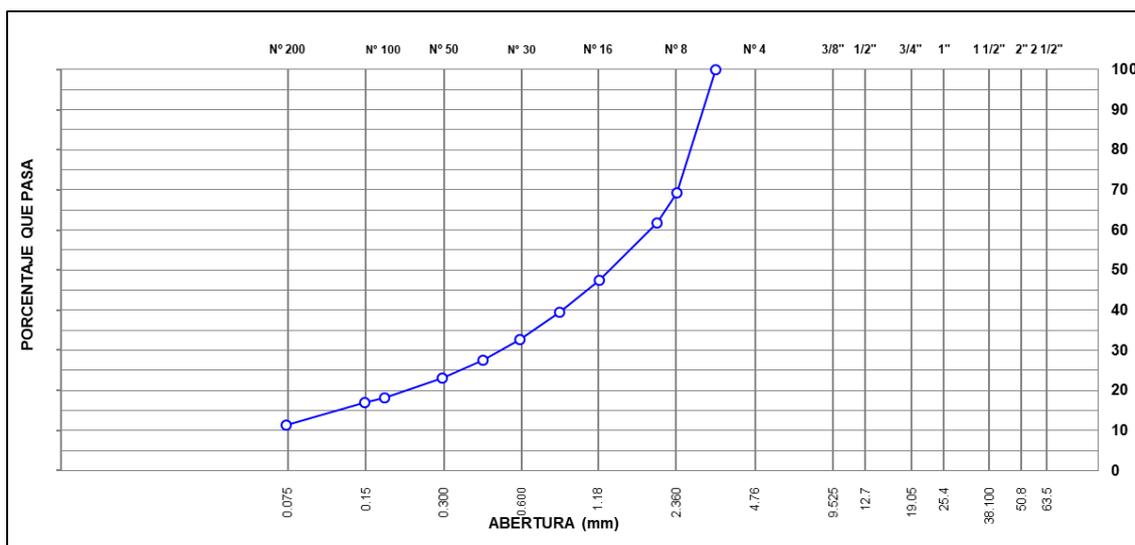
Análisis granulométrico Arena Chancada

Tabla 26 Análisis granulométrico de agregados por tamizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
# 4	4.760					
# 6	3.360				100.0	
# 8	2.380	197.2	30.7	30.7	69.3	
# 10	2.000	48.2	7.5	38.2	61.8	
# 16	1.190	91.8	14.3	52.5	47.5	
# 20	0.840	50.7	7.9	60.4	39.6	
# 30	0.590	45.0	7.0	67.4	32.6	
# 40	0.426	32.1	5.0	72.4	27.6	
# 50	0.297	29.5	4.6	77.0	23.0	
# 80	0.177	31.5	4.9	81.9	18.1	
# 100	0.149	7.7	1.2	83.1	16.9	
# 200	0.074	36.0	5.6	88.7	11.3	
< # 200	(ASTM C-117)	72.6	11.3	100.0	0.0	

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Gráfico 7 Curva Granulométrica



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

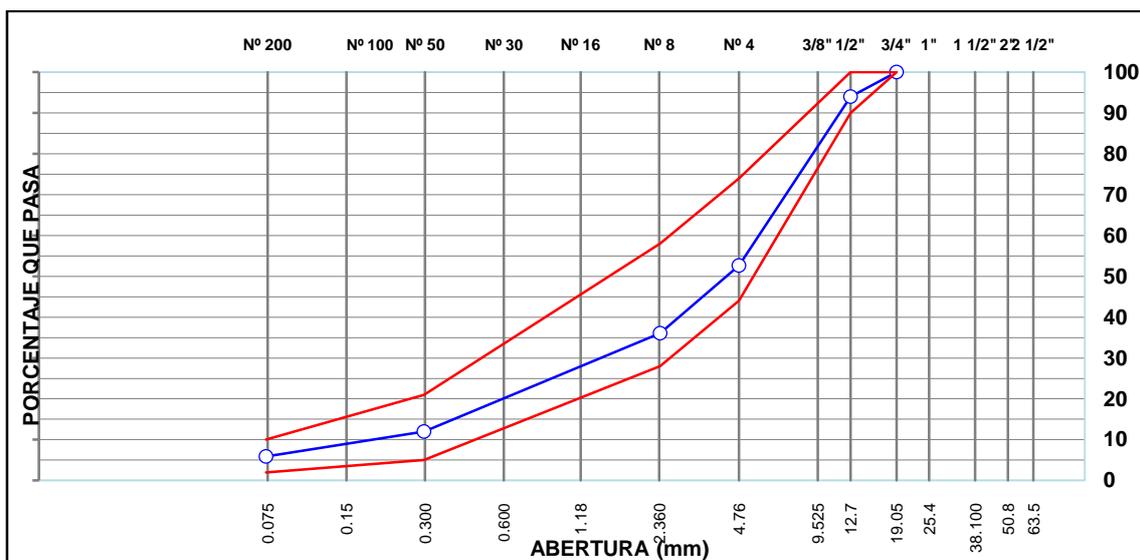
Combinación teórica de agregados Mezcla asfáltica modificado en caliente especificación ASTM D 3515 D-5

Tabla 27 Combinación teórica de agregados para la mezcla Asfáltica

COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN ASTM D3515 D-5	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	6.0	6.0	94.0	90	100
3/8"	9.525	12.0	18.0	82.0		
1/4"	6.350					
# 4	4.760	29.4	47.4	52.6	44	74
# 6	3.360					
# 8	2.380	16.6	64.0	36.0	28	58
# 10	2.000	3.9	67.9	32.1		
# 16	1.190	7.4	75.3	24.7		
# 20	0.840	4.1	79.4	20.6		
# 30	0.590	3.6	83.0	17.0		
# 40	0.426	2.6	85.6	14.4		
# 50	0.297	2.4	88.0	12.0	5	21
# 80	0.177	2.6	90.6	9.4		
# 100	0.149	0.6	91.2	8.8		
# 200	0.074	2.9	94.1	5.9	2	10
< # 200	(ASTM C-117)	5.9	100.0	0.0		

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Gráfico 8 Curva granulométrica del diseño de mezcla Modificada



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Método Marshall – AS Marshall

**DETALLE DE DISEÑO
DISEÑO PROPUESTA DE M.A. MODIFICADA
MÉT. MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)**

DATOS : Victor Silvano Huaman Pereyra - Jose Antonio Huauya Gaspar
 UBICACIÓN : Villa El Salvador - Lima
 PROYECTO : Tesis
 F. ELABOR. : 26/06/2020

N° BRIQUETAS		1	1-A	1-B	1C	2	2-A	2-B	2C	3	3-A	3-B	3C	4	4-A	4-B	4C	5	5-A	5-B	5C
1	% C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5
2	% A. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	45.84	45.84	45.84	45.84	45.60	45.60	45.60	45.60	45.36	45.36	45.36	45.36	45.12	45.12	45.12	45.12	44.88	44.88	44.88	44.88
3	% A. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	49.66	49.66	49.66	49.66	49.40	49.40	49.40	49.40	49.14	49.14	49.14	49.14	48.88	48.88	48.88	48.88	48.62	48.62	48.62	48.62
4	PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
5	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724	2.724
6	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709	2.709
7	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1145.6	1147.5	1146.9	1147.2	1148.3	1152.0	1153.6	1153.2	1153.2	1151.0	1152.2	1152.0	1154.6	1150.8	1155.6	1155.9	1156.9	1158.6	1156.2	1157.2
8	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1147.5	1149.6	1148.5	1149.5	1149.0	1153.1	1154.2	1154.3	1154.1	1151.7	1152.9	1152.3	1155.2	1151.5	1156.2	1156.5	1157.1	1158.9	1156.9	1157.9
9	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	668.6	669.4	669.6	670.5	672.6	676.8	675.2	676.3	679.1	677.8	677.1	677.5	680.6	680.7	682.9	683.2	684.3	686.9	683.5	684.5
10	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	478.9	480.2	478.9	479.0	476.4	476.3	479.0	478.0	475.0	473.9	475.8	474.8	474.6	470.8	473.3	473.3	472.8	472.0	473.4	473.4
11	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.392	2.390	2.395	2.395	2.41	2.419	2.408	2.413	2.428	2.429	2.422	2.426	2.433	2.444	2.442	2.442	2.447	2.455	2.442	2.444
12	PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm ³)- ASTM D 2726	2.385	2.383	2.388	2.388	2.403	2.412	2.401	2.406	2.421	2.422	2.415	2.419	2.426	2.437	2.435	2.435	2.440	2.448	2.435	2.437
13	PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.555	2.555	2.555	2.555	2.536	2.536	2.536	2.536	2.515	2.515	2.515	2.515	2.498	2.498	2.498	2.498	2.476	2.476	2.476	2.476
14	% VACIOS -ASTM D 3203	6.4	6.5	6.3	6.3	5.0	4.6	5.1	4.9	3.5	3.4	3.7	3.5	2.6	2.2	2.2	2.2	1.2	0.8	1.4	1.3
15	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716	2.716
16	V.M.A. (%)	15.9	16.0	15.8	15.8	15.7	15.4	15.8	15.6	15.5	15.5	15.7	15.6	15.8	15.4	15.5	15.5	15.8	15.5	15.9	15.9
17	% VACIOS LLENADOS CON C.A.	59.7	59.4	60.1	60.1	68.2	70.1	67.7	68.6	77.4	78.1	76.4	77.6	83.5	85.7	85.8	85.8	92.4	94.8	91.2	91.8
18	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.752	2.752	2.752	2.752	2.754	2.754	2.754	2.754	2.752	2.752	2.752	2.752	2.755	2.755	2.755	2.755	2.751	2.751	2.751	2.751
19	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
20	% ASFALTO EFECTIVO	4.03	4.03	4.03	4.03	4.52	4.52	4.52	4.52	5.05	5.05	5.05	5.05	5.51	5.51	5.51	5.51	6.06	6.06	6.06	6.06
21	FLUJO (0.01 pul/gada)	10.0	11.0	11.0	10.0	12.0	11.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	11.0	14.0	14.0	13.0	13.0	15.0	14.0	14.0	15.0
22	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1454	1496	1411	1475	1581	1560	1581	1602	1682	1623	1644	1496	1602	1627	1479	1623	1496	1547	1517	1454
23	FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
24	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1657	1706	1609	1681	1802	1778	1802	1825	1918	1850	1874	1706	1826	1855	1686	1850	1706	1763	1730	1657

OBSERVACIONE

BETU TEC IC

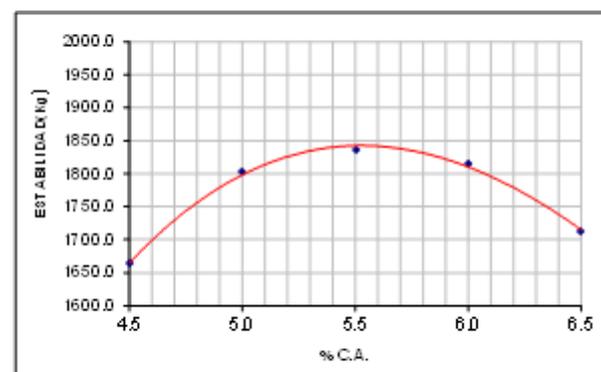
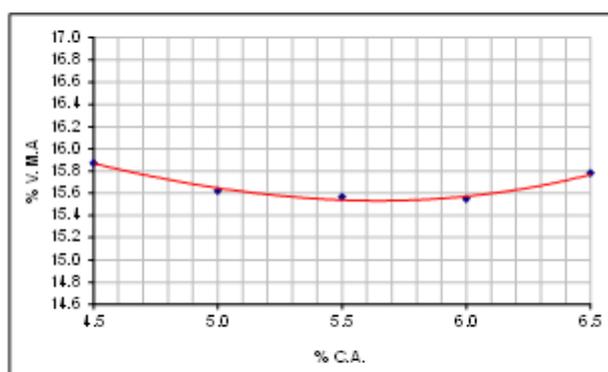
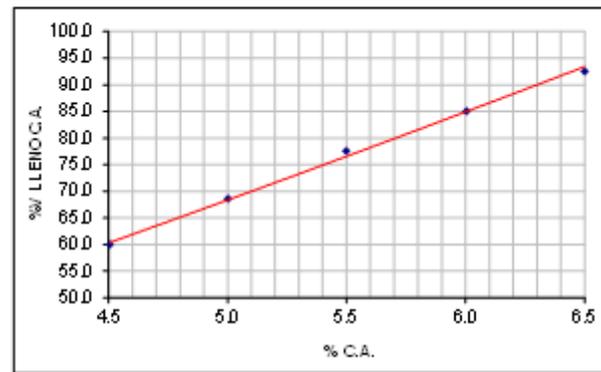
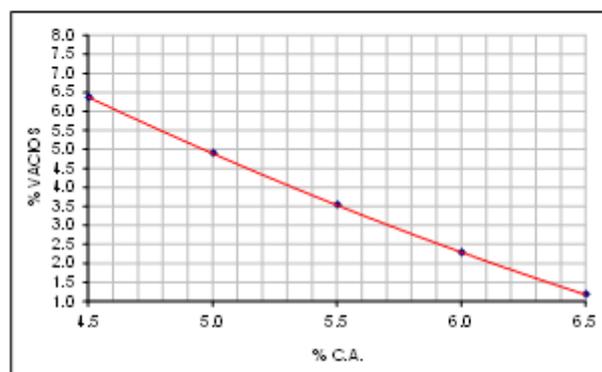
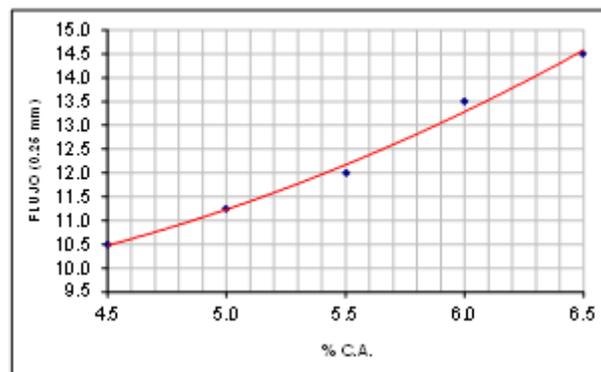
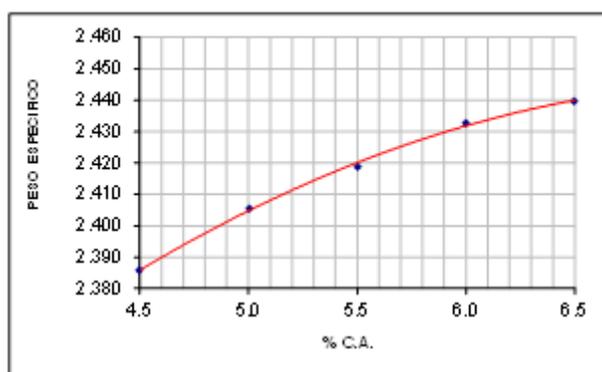
Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Ensayo tentativo de mezcla asfáltica en caliente modificado – Método Marshall

Gráfico 9 Gráfico del método Marshall

DETALLE DE DISEÑO
DISEÑO PROPUESTA M.A. MODIFICADA
MÉT. MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

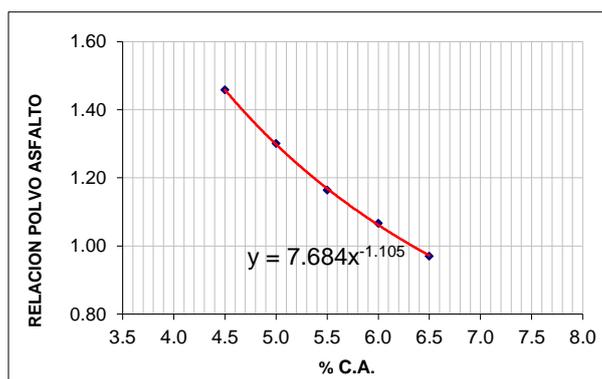
DATOS : Vidor Silvino Huaman Pereyra - Jose Antonio Huauya Gaspar
 UBICACIÓN : Villa El Salvador - Lima
 PROYECTO : Tesis
 F. ELABORACIÓN : 28/08/2020



OBSERVACIONES:

BETUTEC IC

Gráfico 10 Método Marshall



Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

Tabla 28 Ensayo tentativo de Mezcla en caliente Modificado

**INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)
(RESUMEN)**

DATOS : Victor Silvino Huaman Pereyra - Jose Antonio Huauya Gaspar
LOCALIZACIÓN : Villa El Salvador Lima
CONCEPTO : Tesis
F. DE RECEPCIÓN : 26/06/2020

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (% EN PESO)

CANTERA SANTA ANITA 2 SAGRADO

PEDRA CHANCADA : 48%
ARENA CHANCADA : 52%
: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
: ASTM D3515 D-5

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipología de asfalto : BETUTEC IC
Porcentaje optimo de C.A. : 5.30

3.- ADITIVO

Tipología de aditivo : ADHESOL 10000
Porcentaje del aditivo en peso del C.A. : 0.5

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

NUMERO DE GOLPES		75	
C.A. (PORCENTAJE EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.10	5.30	5.50
DENSIDAD SECA BULK (gramos/cm3)	2.408	2.415	2.420
POCENTAJE DE VACIOS	4.6	4.1	3.5
V.M.A. (PORCENTAJE)	15.61	15.56	15.54
R.B.V. (PORCENTAJE)	70.0	73.3	76.6
FLUJO (0.25 mm)	11.4	11.8	12.2
ESTABILIDAD (kilogramos)	1814.0	1835.0	1842.0
Concordancia particula - asfalto	1.27	1.22	1.17
Relación Estabilidad /Flujo	6265	6122	5944

5.- T. DE EMPLEO (°C)

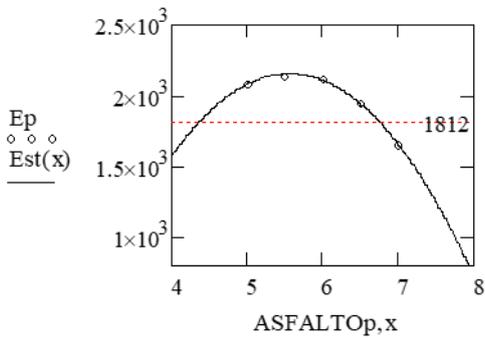
De acuerdo a la carta de viscosidad
T. Mezcla: 166,5 °C - 173,7 °C
T. de Compactación: 156,2 °C - 163,5 °C

6.- OBSERVACIONES

1.- Se utilizó Asfalto Modificado Modificado con Polímero - Betutec IC y se aditivo 0.5% con mejorador de adherencia Adhesol 10000.

Fuente expediente provias 066-2019/ HOL

ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA



Ha mayor contenido asfáltico la estabilidad aumenta, pero llega aun punto que desciende.

	Fuente de Error	Magnitud	G. Libertad	Media de Errores
SST	SSreg	1.631×10^5	$m - 1 = 2$	$\frac{SSreg}{m - 1} = 8.156 \times 10^4$
	SSe	230	$4 - 2 = 2$	$\frac{SSe}{2} = 115$
	SST	1.637×10^5	$n - 1 = 4$	

Valor critico de F	F	F0	qF < F
	$qF(0.95, 2, 2) = 19$	709.217	

Ho es rechazada

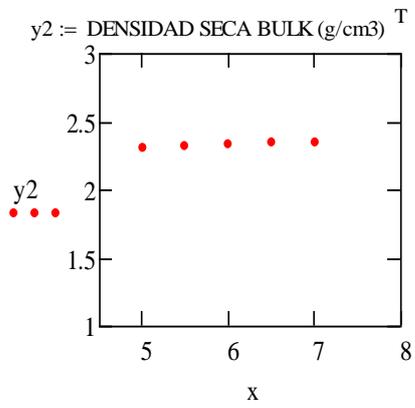
H1 es aceptada, la estabilidad depende del asfalto

$F < qF$ Acepta nula

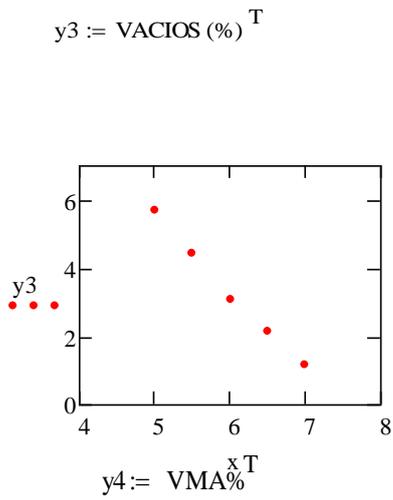
Los coeficientes de la regresión son diferentes de cero

$F > qF$ Acepta alterna

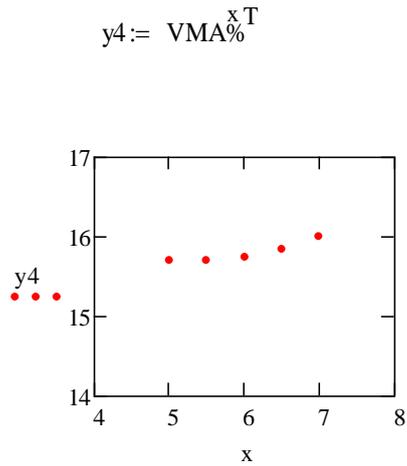
$$R := \frac{(1.631 \times 10^5)}{(1.637 \times 10^5)} \quad R = 0.996$$



Ha mayor porcentaje de asfalto la densidad seca será mayor.

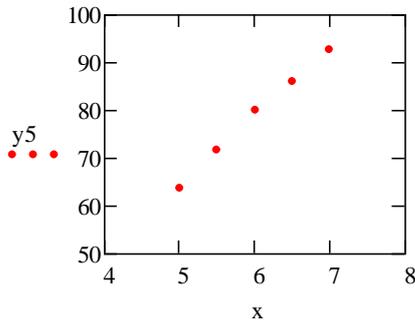


Ha menor contenido de asfalto los vacíos son altos.
Ha aumentar el contenido de asfalto los vacíos reducen



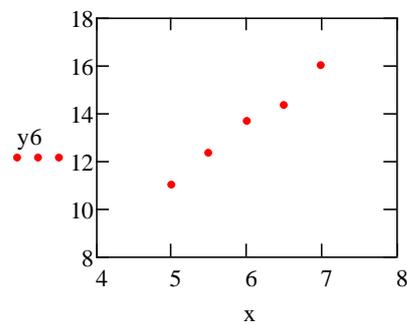
Ha mayor contenido de asfalto el agregado mineral mejora.

$$y5 := \text{RBV}(\%)^T$$



Ha mayor contenido de asfalto el vacío lleno de asfalto es mejor.

$$y6 := \text{FLUJO}(0,25 \text{ mm})^T$$



Ha mayor contenido de asfalto el flujo es mayor

De acuerdo a los resultados del modelo matemático y de MATHCAD

Los ensayos de estabilidad de Marshall, flujo de Marshall, relación de vacío, vida de fatiga y resistencia a la deformación, así como el porcentaje de SBS e incluso su interacción son significativas.

$F_0 > f$ lo que quiere decir que se acepta la hipótesis y se rechaza la hipótesis nula, en todos los ensayos efectuados

Los ensayos de estabilidad de Marshall, flujo de Marshall, relación de vacío, vida de fatiga y resistencia a la deformación dependen del porcentaje de SBS

Lo que quiere decir que si hay variación de una variable afecta a la otra son directamente proporcional.

ENSAYOS DE DESEMPEÑO

ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO

Tabla 32

	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO CONVENCIONAL	VALOR MEDIO
Dens. Máx. teoría	2.412	2.412	
Porcentaje de Vacíos	7.000%	7.200%	
Cantidad de asfalto	6.300%	6.300%	
Numero ciclos -programadas	20,000	20,000	20,000
Numero ciclos -logradas	17,472	13,789	15,631
Altura de huella	12.500mm	12.500mm	12.500mm

Fuente: Estrada, (2017, p.135)

Tabla 33

	ASFALTO MODIFICADO	ASFALTO MODIFICADO	VALOR MEDIO
Dens. Máx. teoría	2.412	2.412	
Porcentaje de Vacíos	7.00 %	7.200%	
Cantidad de asfalto	6.300%	6.300%	
Numero ciclos -programadas	20,000	20,000	20,000
Numero ciclos -logradas	17,472	13,789	15,631
Altura de huella	12.50mm	12.50mm	12.50mm

Fuente: Estrada, (2017, p.136.)

ENSAYO DE LA VIDA A LA FATIGA, CON CARGA REPETITIVA

Tabla 34 Resistencia a la Fatiga

(1)	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO CONVENCIONAL	VALOR MEDIO
RESISTENCIA A LA FATIGA EN 4 PUNTOS			
(%) Vacíos de mezcla	7.000	7.000	
C. de Possion	0.350	0.350	
Rigidez Flexural I. (Mpa)	2,632	2,520	
NUMERO DE DE CICLOS ALCANZADOS	183,840	188,605	186,223

Fuente: Estrada, (2017, p.141)

Tabla 35 Resistencia a la Fatiga

(1)	ASFALTO MODIFICADO	ASFALTO MODIFICADO	PROMEDIO
RESISTENCIA A LA FATIGA EN 4 PUNTOS			
(%) Vacíos de mezcla	7.100	7.100	
C. de Possion	0.350	0.350	
Rigidez Flexural I. (Mpa)	1,947	2,038	
NUMERO DE DE CICLOS ALCANZADOS	3 202, 988	3 285, 992	3 244,490

Fuente: Estrada, (2017, p.142)

V. DISCUSIÓN

Discusión de Resultados

Discusión

Para efectuar un diseño vial se considera diversos elementos importantes como el estudio de suelo, los cálculos de pavimento y uso de herramientas de simulación como es el caso del simulador DISAAHSTO 1993 y además de estudio la posibilidad de optimizar las condiciones del asfalto incorporando el polímero SBS, se analizaron estos factores para establecer la propuesta de mejora y se alcanzaron en lo sucesivo los siguientes resultados:

- Para resaltar hallazgos encontrados se admite la hipótesis que determina los ensayos de estabilidad de Marshall, flujo de Marshall, relación de vacío, vida de fatiga y la resistencia a las deformaciones dependen del porcentaje de mezcla asfáltica modificada con estireno-butadieno-estireno, este componente ayuda a mejorar significativamente las propiedades del pavimento flexible. Según lo planteado por Ortiz (2019) en su artículo menciona el uso de polímeros en el pavimento flexible, debido a que se minimizan las fallas en el pavimento flexible y el aditivo ayuda a que la piedra se adhiera al asfalto, además de contribuir al aumento de la vida útil de este, lo que repercute en la reducción de gastos por mantenimiento de las vías.
- Con respecto al estudio de suelo es necesario conocer un factor determinante en el diseño de pavimentos tal como es el CBR (NORMA ASTM-D-1883) ejecutados con el fin de obtener la capacidad de soporte del terreno de fundación los cuales nos arrojan valores que varían desde 15,21 % - 41,4 % (al 95 % de la MDS). Para Gargate y Huamani (2018) los materiales idóneos para la capa de la sub rasante con CBR ≥ 6 para que el pavimento flexible no presente problemas a futuro.
- Para poder realizar la propuesta de pavimentación fue necesario conocer el tipo de pavimento a emplear de acuerdo a las condiciones de tráfico dando como resultado el más idóneo el PEN 60/70 se puede evidenciar que uno de los aspectos importantes y más evidentes son la gran diferencia es la estabilidad Marshall ya que en un asfalto convencional es

de 13,436 KN, en cambio con una mezcla de asfalto que se ha modificado usando polímero SBS están en un valor de 19,26 KN, lo que quiere decir que es más estable este asfalto transformado. Según Ramírez y Villafana, (2019). Por lo cual la mezcla asfáltica convencional se alcanzaron resultados de deformación permanente más altos en confrontación con la mezcla modificada, además la mezcla de asfalto que se ha modificado usando polímero contribuye a su mejor comportamiento mecánico comparado con la mezcla tradicional con PEN 60/70, además permite optimizar el desempeño del pavimento conllevando al alargamiento su vida útil.

Para diseñar la propuesta es planteada se proyectó que se realice este asfalto modificado con polímero SBS, debido a sus múltiples mejoras al pavimento flexible entre las más resaltante es que contribuye a mejorar la vida útil de estos.

- Según Estrada (2017), el resultado en función a las características granulométricas de los agregados gruesos y finos, no cambia para ningún caso de mezcla de asfalto de tipo tradicional y la mezcla de asfalto de tipo modificado, ya que en sus diseños se utilizaron agregados de similares características y en las mismas cantidades para los dos diseños de mezcla. Ramírez y Villafana (2019), utilizan el mismo criterio en el caso de su diseño las características granulométricas no varían, son las mismas para sus diseños que compara.

Con lo que respecta al desempeño del comportamiento de las mezclas asfálticas Estrada (2017), demuestra en sus ensayos la briqueta del asfalto modificado en la Rueda de Hamburgo obtuvo resultados por encima de la mezcla asfáltica convencional como: mezcla asfáltica convencional PEN 85-100 Plus, alcanzo una profundidad de deformación de 12.50 mm en promedio de ciclos de 15 631, el cual no alcanzo el requerimiento de 20 000 pasadas solicitadas por el ensayo, de igual forma se sometió una muestra del diseño de mezcla modificado y se alcanzó como resultado una profundidad de deformación de 3.79 mm en 20 000 ciclos, lo que demuestra que la deformación permanente se mantiene con

valores inferiores al límite máximo solicitado, y esto evidencia y asegura el excelente valor de resistencia a la deformación permanente. Para Ramírez y Villafana (2019), quienes efectúan la misma prueba en similares condiciones y obtienen resultados distintos, pero de similares características, en el caso de la mezcla asfáltica convencional el ahuellamiento es de 7.77 mm y para la mezcla asfáltica modificada el ahuellamiento es de 1.80 mm; estando en 12.5 mm el valor más alto establecido como tope o la otra condición es de llegar a 20 0000 ciclos. Esto demuestra que ambos autores obtienen datos distintos, pero concuerdan en los resultados que favorecen de manera significativa y sustancial a la mezcla asfáltica modificada.

- Para llegar al proponer el % de contenido óptimo de asfalto modificado SBS en la mezcla asfáltica, según Estrella (2016), nos dice que los puntos más importantes para determinar dicho porcentaje son la estabilidad y flujo, siempre y cuando se encuentren dentro de los rangos de la normativa Marshall, de la misma manera precisa que “Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento altamente rígido y por lo tanto de poca duración al deseado” hecho que López y Puma (2017), según su criterio y análisis de lo mencionado determina que existe un incremento de la estabilidad y de flujo en el diseño de mezcla de asfalto de tipo modificado respecto a los valores alcanzados en comparación con la mezcla de asfalto de tipo convencional, de lo cual es posible precisar a criterio propio que al momento de diseñar mezclas asfáltica modificadas con polímeros, debemos medir los valores de tal manera que estos no excedan el contenido de asfalto modificado ya que el exceso de cemento asfáltico modificado ocasiona un descenso en las propiedades analizadas.
- Para poder tener una noción del incremento de los costos que existe en la producción de la asfáltico modificado con el polímero investigado en comparación con el asfalto convencional, analizando lo que describe Estrada (2017), él precisa mediante un Análisis de Precios Unitarios que existe una diferencia de precios entre ambos asfaltos, que convirtiéndolo

a términos porcentuales podemos determinar que existe un incremento de 26.45% en la elaboración de concreto asfáltico modificado por metro cúbico (m^3), de igual forma, los autores de esta tesis hemos determinado con costos actuales de mercado que el incremento del costo en la preparación de mezcla asfáltica modificada con este polímero en comparación con el asfalto convencional se incrementa en un 22.00 % por m^3 , demostrando que el indicador promedio es del incremento es de 24.23%.

- Para comprobar que el concreto asfáltico modificado cuenta con mejoras significativas, Chávez (2017), efectúa un estudio mezcla asfáltica mejorada en una zona de bajas temperaturas, en la zona de Yauli - Junin a 4100 msnm, donde demuestra que el comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas y altas precipitaciones mejora considerablemente, esto lo demuestra después de haber efectuado sus pruebas de desempeño al concreto asfáltico modificado, en lo que refiere Casafranca (2016), él efectúa un análisis de la vía de Tingo María – Pucallpa, entre el Kilómetro 5 y el Km 15, donde llega a determinar en otro contexto que en climas de altas temperaturas y altas precipitaciones la mezcla asfáltica modificada se comporta de tal manera que contrarresta todas las debilidades de la mezcla asfáltica convencional, siendo en el análisis que en el costo beneficio se debería tener en cuenta estos factores que determinarían su uso más común en nuestro medio.

En relación al costo – beneficio Casafranca (2016) menciona que en su estudio efectuado existe un incremento en el costo de elaboración de concreto asfáltico modificado con SBS un 14%, no obstante, manifiesta este aumento se equilibra con la reducción en el costo en mantenimiento, puesto que al usar el concreto asfáltico modificado con SBS, el costo para mantener la vía dado en Km/año arroja una disminución de 61% en correlación al costo cuando se hace el mantenimiento de la mezcla asfáltica tradicional. De otro lado se podría tomar en cuenta en relación a la vida útil, ya que Ramírez (2013) en su investigación señala que las

mezclas asfálticas modificadas con polímero generan un aumento de dos a tres veces el periodo de vida útil del pavimento flexible, este análisis lo determina debido las características del polímero SBS las cuales proporcionan un mayor soporte a los amplios tiempos de cargas verticales sin deformaciones, propiedades de resistencia al impacto, mayor capacidad de aislamiento térmico, aumentan la absorción de agua y conllevan a una alta resistencia al agrietamiento dado por la fatiga en el tiempo de servicio del pavimento flexible. Sin embargo, López y Veloz (2013), respecto al costo manifiesta un incremento del 25% en la producción del concreto asfáltico modificado con SBS, pero no analiza lo referido por los otros autores, él considera que al momento de diseñar se debe considerar todas las propiedades de la mezcla asfáltica modificada, ya que esto permitiría reducir la altura (h) de la carpeta asfáltica, disminuyendo así en ello ese porcentaje (%) de costo adicional que se presente en cualquier proyecto.

VI. CONCLUSIONES

Conclusiones

Con el fin de realizar el cálculo del diseño de pavimento y el diseño de la mezcla de asfalto incorporando polímero SBS y así mejorar el pavimento de tipo flexible, ya que hay muchas fallas tanto en la estructura interna del pavimento como son la fatiga que debido al aumento de la cantidad de vehículos la capa asfáltica se envejece más rápido, otro de ellos es el ahuellamiento que se manifiesta debido a un diseño inadecuado de la mezcla asfáltica, en otras situaciones también se presenta las condiciones climáticas como la humedad del ambiente el cual disminuye su vida útil que afectan el mismo por lo cual se concluye que:

1. Conclusión en base al Objetivo Específico N°1:

Se logró conocer la importancia del estudio de suelo, ya que es un factor esencial y de gran incidencia en el diseño de carreteras viales. La idea es realizar este tipo de estudio con la finalidad de encontrar si el suelo presenta las condiciones estructurales y de drenajes aptas para verificar las condiciones que puedan ser preparadas para poder soportar y mantener las condiciones del pavimento flexible a realizar en el terreno para que no afecte la vida útil de éste, además se logró conocer que las condiciones del terreno son aptas para realizar este tipo de proyecto de obras viales y no necesita de mejoramiento.

2. Conclusión en base al Objetivo Específico N° 2:

Se obtuvieron resultados que nos permitió conocer como determinar el nivel de tránsito en función al conteo vehicular, ya que al momento de tener nuestro resultado proveniente del conteo vehicular al cual se le denomina ESAL, podemos precisar con este cálculo el nivel de tránsito de la vía, obteniendo un $ESAL = 2.76E+06$, el cual nos indica que la vía a proyectarse es de tránsito medio, según lo indicado en la guía AASTHO 93.

A partir de este resultado podemos diseñar de manera adecuada nuestra estructura de pavimento (sub base, base y capa de rodadura) y optar por mejorar la última capa con asfalto modificado incorporándole polímero SBS. Se concluye que este mejoramiento se dará a la última capa de la estructura del pavimento ya que es quien protege la estructura interna (terreno de

fundación correspondiente a la sub base y base), y de acuerdo a los resultados analizados se obtienen mejoras en el comportamiento físico y mecánico de la mezcla asfáltica.

3. Conclusión en base al Objetivo Específico N° 3:

Se llegó a conocer de qué manera la mezcla asfáltica modificada en comparación con la mezcla asfáltica convencional mejora de manera significativa en su comportamiento; esto se debe a que el polímero SBS incorporado en la mezcla asfáltica ofrece un excelente coeficiente de fricción superficial, poca deformación permanente, una gran resistencia a la tracción y un excelente.

De igual manera se determinó las características de la mezcla asfáltica con polímero SBS, las cuales al momento de analizar los resultados de las tesis se evidencio lo siguiente: utilizando el método Marshall se mejora la estabilidad y flujo (en nuestro método de comprobación así lo demuestra nuestro calculo en el Software Mathcad), además de ello se ha analizado los datos obtenidos en pruebas de desempeño como la Rueda de Hamburgo y el ensayo de Vida a la fatiga, donde se determina que el comportamiento y características del asfalto modificado mejoran de manera significativa a diferencia del asfalto convencional.

4. Conclusión en base al Objetivo general:

Se logró efectuar los cálculos completos de toda la estructura correspondiente al pavimento, tomado en cuenta datos del Estudio de la Mecánica inherente a los Suelos (EMS), conteo vehicular, y otros más; se efectuaron cálculos de acuerdo a la Guía AASTHO 93, los cuales nos ayudaron a obtener el resultado adecuado para nuestra propuesta.

De igual forma se obtuvo un diseño tentativo de mezcla de asfalto de tipo convencional y otra mezcla que se modificó usando polímero SBS, se tomaron en cuenta muchos criterios en relación a la granulometría y calidad que posee el agregado grueso y fino, estos estaban detallados en aquellos ensayos que se encontraron en las tesis, artículos y expedientes PROVIAS materias de investigación.

5. Conclusiones generales:

Se logró establecer luego de un estudio investigar precios que el costo de la mezcla asfáltica convencional por metro cubico (m^3) producidos tiene un valor de S/. 406.83 soles y la mezcla de asfalto que se modifica usando polímero SBS puede tener un valor de S/. 496.82 soles, lo que nos demuestra que el incremento por metro cubico (m^3) de la mezcla asfáltica modificada en referencia a la convencional es del 22.00 %. (Ver Anexo N°5 y Anexo N°6)

Se ha podido determinar un ratio en función a costos de mercado que en los proyectos con mezcla de asfalto en caliente de tipo convencional, el ratio del costo por Km de mezcla asfáltica es de 0.23 millones de soles y en los proyectos con mezcla de asfalto en caliente que se ha modificado usando SBS, el ratio del costo por Km de carretera es de 0.28 millones de soles.

El ratio se incrementa, debido a que el costo de la mezcla asfáltica tiende a subir cuando se le agrega el polímero SBS.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendaciones

1. Se recomienda que los siguientes investigadores tomen en cuenta que lo principal a tener en cuenta es el EMS, ya que se necesitan estos ensayos de suelos y así determinar la estructura del pavimento. Así mismo hay que tener cuidado con los ensayos y los procedimientos establecidos en la norma para así llegar al resultado óptimo.
2. Se recomienda que los valores obtenidos en los estudios básicos de ingeniería para el fin estudiado, sean considerados en su totalidad, al momento de plantear las propuestas de diseño, ya que esto ayudara a obtener un mejor resultado final.
3. Se recomienda realizar el conteo vehicular para así tener a la mano la estadística adaptada a la realidad correspondiente al volumen de tránsito vehicular, ya que así se tiene obtiene su capacidad de carga y se clasifica con vehículos ligeros y vehículos pesados.
4. Se recomienda que los ensayos de desempeño se modelen y validen para los diseños que se realicen de mezclas de asfalto de tipo convencionales y modificadas de transito bajo y medio ya que solo están consideradas en otro tipo de escala.
5. Se recomienda que para los ensayos a la mezcla de asfalto no se debería dejar a consideración las pruebas de desempeño, puesto que estas se dan en función a los niveles del tránsito (alto y muy alto), según criterio de los autores de esta tesis, se deben usar en todo tipo de diseño de mezcla (para transito bajo y medio), ya que estas pruebas de desempeño grafican a modo real el comportamiento de las mezcla asfáltica, de esta forma se podrá determinar con mayor precisión la vida de utilidad que puede tener todo diseño que se haga de mezcla de asfalto de tipo convencional y/o modificado.

6. Se recomienda que, para los procesos constructivos tanto de la estructura de pavimentos y diseño de mezcla asfáltica, se debe verificar la calidad del material, sometiéndolos a las pruebas respectivas que solicita las normas vigentes del país, esto ayudara a que la investigación tenga un impacto y efecto positivo ante las alternativas que se plantean en las diversas inversiones que efectúa el estado, ya que el uso de polímeros en mezclas asfálticas se da generalmente por parte de la inversión privada.

7. S recomienda usar las mezclas asfálticas modificadas usando polímero SBS (Stireno – Butadieno –Stireno), ya que actualmente es de uso comercial a bajas escalas, pero debería utilizarse con más frecuencia ya que los métodos de diseño pueden equilibrarse con el costo del asfalto convencional utilizando dos aspectos muy fundamentales; como el valor del costo que tiene el mantenimiento de la vía y la reducción del espesor de la carpeta asfáltica en los distintos diseños propuestos.

REFERENCIAS

ALFONSO MONTEIO FONSECA. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Ediciones y Publicaciones de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, DC. Colombia. 1998. Disponible en [https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria de pavimentos - Alfonso Montejo Fonseca](https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_-_Alfonso_Montejo_Fonseca)

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

CASAFRANCA, Anderson. Estudio de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS y su influencia en la resistencia a las deformaciones permanentes en la carretera Pucallpa –Tingo María, entre Km 5 y 15. Tesis (Ing Civil). Lima. Universidad César Vallejo, Perú. 2016. Disponible en http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/18403/Casafranca_BAG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CASTRO, William, RONDÓN, Hugo y BARRERO, Juan. Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEBD. Rev. Ingeniería, [en línea]. vol. 21, núm. 1, pp. 7-18. Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Bogotá, Colombia. 2016. [fecha de consulta 12 de febrero 2020]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4988/498853952002.pdf>

CLARK, Randy. Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management. USA: National Cooperative Highway Research Program. [En Línea]. 2013. [fecha de consulta 12 de febrero 2020]. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?id=8PTBcbcZNX0C&pg=PA1&dq=hot+asphalt+mix&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi0qbSVhuXaAhXDs1kKHYyuA1E4ChDoAQgtMAE#v=onepage&q=hot%20asphalt%20mix&f=false>

CORNEJO, Paz. Aplicaciones de los polímeros –Boletín Científico: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo [en línea]. México. 2014. [fecha de consulta 12 de febrero 2020]. Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m8.html#refe1>

- CHÁVEZ, Janina. Análisis de la carpeta asfáltica modificada con polímero SBS en el clima frígido de la región Junín –Yauli. Tesis (Ing Civil). Lima. Universidad César Vallejo, Perú. 2017. Disponible en http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1391/Chavez_AJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CHAO, Cheng, CHUNYU, Liang and YU, Chen. Mechanical Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions. Journal Materials. 12, 857. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/331785006_Mechanical_Performance_of_Warm-Mixed_Porous_Aspphalt_Mixture_with_Steel_Slag_and_Crumb-Rubber-SBS_Modified_Bitumen_for_Seasonal_Frozen_Regions/link/5c8bb8f692851c1df9435d49/download
- CHEN, Zhang, HAINIAN, Wang, ZHANPING, You, JUNFENG Gao and IRFAN, Muhammad. Performance Test on Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) Modified Asphalt Based on the Different Evaluation Methods. Journal Applied Science. 9, 467. 2019. Disponible en <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/3/467>
- ESTRADA, Victor. Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y mezcla asfáltica modificada con Polímero Tipo SBS 70-28. Tesis (Ing Civil). Cusco. Universidad Andina del Cusco, Perú. 2017. Disponible en <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1057>
- GARCIA, Andrés. Diseño de pavimento asfáltico por el método aashto-93 empleando el software DISAASHTO-93. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. Artículo científico. Bogotá. Colombia. 2015. Disponible en www.andresgarcia35.wix.com/angar18
- GARGATE, Felipe y HUAMANÍ, Jheyson Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible - Lima, 2018. Tesis (Ing Civil). Lima.

Universidad César Vallejo, Perú. 2018. Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/34891?show=full>

HERRADA, Yontan y CHÁVEZ, James. Uso de polímeros en el asfalto y su influencia en la variación de un pavimento. Tesis (Ing Civil). Trujillo. Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Perú. 2013. Disponible en: <https://es.slideshare.net/raysugar5/metodologia-de-la-invest-uso-de-polimeros-en-el-asfalto>

HERRERA, María. *Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios ASSHTO 1993 y 2002*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. 2014. Disponible en https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2018/MAS_ICIV-L_025.pdf?sequence=1&isAllowed=y

HUSSEIN, Karim, HASAN, Joni and HANEEN, Yawar. EFFECT OF MODIFIED ASPHALT WITH SBS POLYMER ON MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED PAVEMENT MIXTURE. Journal RESEARCH ID. Vol (2), Num 1, pp 22-40. ISSN 2349-4506. .2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/327776333_EFFECT_OF_MODIFIED ASPHALT WITH SBS POLYMER ON MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED PAVEMENT MIXTURE/link/5ba3b02f92851ca9ed18ad58/download

INFANTE, Carlos y VÁSQUEZ, Deynis. Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas. Tesis (Ing Civil). Lambayeque. Universidad Señor de Sipán, 2016. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_e0d3b7f0a6b828a3177191bb680d1290

Ingeneros SAC. Plantilla EXCEL de estudio de tráfico vial. Canal de youtube de la Empresa. 2018. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=CQsQSLu5EXg>

KISHCHYNSKYI, Sergii, NAGAYCHUK, Vasyi and BEZUGLYI, Artem. Improving Quality and Durability of Bitumen and Asphalt Concrete by Modification Using Recycled Polyethylene Based Polymer Composition. Journal Procedia Engineering. 143, 119-127. 2016. Disponible en: <https://cyberleninka.org/article/n/1417824/viewer>

LÓPEZ, Stalin y VELOZ, Yadira. Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba. Tesis (Ing Civil). Quito. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui, Quito, Ecuador. 2013. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6533>

LLANOS, Andrés y REYES, Shirley. Estudio comparativo de los ensayos california bearing ratio (CBR) DE LABORATORIO Y PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (PDC) EN LA LOCALIDAD DE PICSI. Tesis de Ing Civil. Universidad Señor de Sipan. Pimentel. Perú. 2017. Disponible en <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4125/Llanos%20-%20Reyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y> BLAS, Javier. Patologías en Pavimentos Flexibles. Tesis (Ing Civil). Chimbote. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. 2014. Disponible en <https://es.slideshare.net/Neridadeysi/patologias-en-pavimentos-flexibles>

MARÍN, Carlos y THENOUX, Guillermo. Validation of the Polygon-Of-Voids Tool for Asphalt Mixtures with RAP. Revista de la Construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile [en línea]. 13, 56-63. 2014. [fecha de consulta 15 de febrero 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v13n1/art07.pdf>

Ministerio De Transportes Y Comunicaciones Provias Nacional. Estudio De Demanda De Carga Y Pasajeros 2010. MTC Perú. 2011. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/estudios/02_Informe_Final_EO_D.pdf

MTC Perú. Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos. 2013. Disponible en http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf

Ministerio de transporte y comunicaciones Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para construcción. Resolución Directoral. Nº 22 – 2013 – MTC/14. Lima. Perú. 2013. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

MTC Perú. Estudio de Suelos, Canteras, Fuentes de Agua y pavimento. 2019. Disponible en <https://prodapp2.seace.gob.pe/seacebus-uiwd-pub/fichaSeleccion/fichaSeleccion.xhtml>

MODERA, Edwin. Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica densa en caliente con adición de polietileno. Tesis (Ing Civil). Bogotá. Universidad Católica de Colombia. 2018, Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16379/1/Trabajo%20de%20Grado.pdf>

MOSTAFA, Vamegh [et al]. "Performance evaluation of fatigue resistance of asphalt mixtures modified by SBR / PP polymer blends and SBS" *Revista ELSEVIER* [en línea]. Vol. 209 pp. 202-214. [fecha de consulta 15 de febrero 2020]. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819305938>

NASER, Ali. Experimental Studying The Effect of Adding Styrene Butadiene Styrene Polymer (Sbs) on The Mechanical Properties of Hot Mixture Asphalt. *Journal of Engineering and Sustainable Development* Vol. 22, No. 05. 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329338383_EXPERIMENTAL_STUDYING_THE_EFFECT_OF_ADDING_STYRENE_BUTADIENE_STYRENE_POLYMER_SBS_ON_THE_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_HOT_MIXTURE ASPHALT

ORTIZ, Nathaly. Diseño de mezclas asfálticas con agregados pétreos y polímeros Tipo I aplicado al pavimento flexible. Tesis (Ing Civil).

Guayaquil. Universidad de Especialidades Espíritu Santo UEES, Ecuador. 2019. Disponible en <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/3182>

OSORES TORRES VICTOR OSCAR. Evaluación Del Nivel De Servicio Por Análisis De Trafico En La Intersección Semaforizada Mariscal Castilla – Julio Sumar El Tambo, 2015. Tesis de ing civil. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Perú. 2016. Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1182/Osores%20Torres%20Victor%20Oscar%20-%202016%20-%20Pregrado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PALMA, Carolina [et al]. Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. Revista AFINIDAD LXXIII, [en línea]. 574. México. 2016. [fecha de consulta 10 de Marzo 2020]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5774159>

RAMÍREZ, Lina. Pavimentos con polímeros reciclados. Tesis (Ing Civil). Antioquia. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Ingeniería Civil. Envigado, Colombia. 2013. Disponible en <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/264?mode=full>

REYES, Fredy [et al]. Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, [en línea]. vol. 12, núm. 22, enero-junio 2013, pp. 75-84-Universidad de Medellín-Medellín, Colombia. [fecha de consulta 2 de febrero 2020]. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/750/75029150007.pdf>

SILVESTRE, Deyvis. Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017. Tesis (Ing Civil). Lima. Universidad Cesar Vallejo. 2017. Disponible en http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1506/Silvestre_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SIVILEVIČIUS, Henrikas, VISLAVIČIUS, kestutis y BRAŽIŪNAS, Justas. Technological and economic design of asphalt mixture composition based

on optimization methods. Rev. Technological And Economic Development Of Economy, [en línea]. Volume 23(4): 627–648. 2017. [fecha de consulta 26 de Enero 2020]. Disponible en doi:10.3846/20294913.2017.1312631

VALERIANO, Wilbert y CATAFORA, Adhemir. Comportamiento del diseño de mezcla asfáltica tibia, con adición de zeolita para la pavimentación de la ciudad de Juliaca. Tesis (Ing Civil). Juliaca. Universidad Nacional del Altiplano. 2014. Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4985>

VILLAFANA, Gerardo y RAMÍREZ, Raúl. Análisis del comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímeros Sbs Betutec Ic y una mezcla asfáltica convencional 60/70. Tesis (Ing Civil). Lima. Universidad Privada del Norte, Perú. 2019. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21259/Villafana%20Huam%c3%a1n%2c%20Gerardo%20Luis%20-%20%20Ram%c3%adrez%20Villanueva%2c%20Ra%c3%bal%20Mauricio%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VILLEGAS, Rafael, AGUIAR, José y LORIA, Luis. “Diseño de Mezcla Asfáltica con Materiales de Desecho”. Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles [en línea]. Febrero 2018. [fecha de consulta 20 de febrero 2020]. Disponible en <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1022>

WANG, Wensheng, CHENG, Yongchun and TAN, Guojin. Design Optimization of SBS-Modified Asphalt Mixture Reinforced with Eco-Friendly Basalt Fiber Based on Response Surface Methodology. Journal of Materials, vol 1, pp 20-32. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/326709267_Design_Optimization_of_SBS-Modified_Aspphalt_Mixture_Reinforced_with_Eco-Friendly_Basalt_Fiber_Based_on_Response_Surface_Methodology

WENGANG, Zhang, LONGTING, Ding and ZHIRONG, Jia . Design of SBS-Modified Bitumen Stabilizer Powder Based on the Vulcanization

Mechanism. Journal Applied Sciences. 8, 457. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/323874861_Design_of_SBS-Modified Bitumen Stabilizer Powder Based on the Vulcanization Mechanism](https://www.researchgate.net/publication/323874861_Design_of_SBS-Modified_Bitumen_Stabilizer_Powder_Based_on_the_Vulcanization_Mechanism)

YARANGO, Eduardo. Rehabilitación de la carretera de acceso a la Sociedad Minera Cerro Verde (S.M.C.V) desde la Prog. Km 0+000 hasta el km 1+900, en el Distrito de Uchumayo, Arequipa. Empleando el Sistema Bitufor para reducir la reflexión de grietas y prolongar la vida útil del pavimento. Tesis (Ing Civil). Arequipa. Universidad Ricardo Palma. 2014. Disponible en <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/421> YONGCHUN,

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia de las Variables

Título: “Cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el distrito de Villa El Salvador- Lima 2020”

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Problema principal	Objetivo General	Variable Independiente		
¿Cuál es el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?	Calcular el pavimento flexible con asfalto modificado con polímero tipo SBS para el distrito de Villa El Salvador-Lima 2020	Cálculo de un pavimento	Suelos	Contenido de Humedad Análisis Granulométrico por tamizado Limite liquido Limite plástico Proctor Modificado (MSD – OCH) CBR
			Conteo vehicular	Índice medio diario semanal Índice medio diario anual Número de ejes equivalente
		Mezcla asfáltica modificada con Polímero Tipo SBS (Estireno)	Mezcla Asfáltica modificada	Vacio Densidad VMA Vacio lleno de asfalto Relación Estabilidad/flujo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Variable dependiente		
¿Cuáles son las características del suelo para el cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?	- Determinar las propiedades del suelo para el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla modificada con polímero tipo SBS para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020	Estructura del Pavimento	Estructura de pavimento	Envejecimiento de la estructura asfáltica Espesor de la sub base Espesor de la base Espesor de la carpeta
			Características de pavimento	Capacidad de soportar cargas Confort
			Durabilidad	Condiciones climáticas Condiciones de trafico
¿Cómo repercute el conteo vehicular para el cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?	- Determinar los niveles de tránsito en función al conteo vehicular para el cálculo de un Pavimento flexible con mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020			
¿Cuáles son las características del asfalto modificado con polímero tipo SBS para el cálculo de un pavimento flexible para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020?	- Determinar las características del asfalto modificado con polímero tipo SBS para el cálculo de un Pavimento flexible para el Distrito de Villa el Salvador- Lima 2020		Costos	Materia prima e insumos Recursos necesarios para hacer a estructura asfáltica Mantenimiento de la estructura asfaltica

Fuente: Elaboración propia, 2020

Anexo 2 Matriz de operacionalización de las variables

Título: “Cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el distrito de Villa El Salvador- Lima 2020”

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medida
Variable Independiente: Cálculo de Pavimento	Consiste en hacer todos los cálculos necesarios comenzando por el número estructural (SN del Inglés <i>Structural Number</i>), cuyo valor es un indicativo del espesor total requerido del pavimento, y esta en función del tránsito y la confiabilidad. Para obtener el valor de SN tradicionalmente se usan ábacos o softwares especializados del área de cálculo de pavimentos. Toda esta serie de cálculos aportaran para que al final se obtenga los espesores de las diferentes partes del manto asfáltico y su SN para cada etapa de la carpeta asfáltica, Base granular y Sub Base granular (García, 2015, p. 5).	La idea es tener los cálculos de las diferentes partes de la estructura asfáltica guiados por normas internacionales como la AASHTO-93	Suelos	Contenido de Humedad	%
				Análisis Granulométrico por tamizado	%
				Limite Líquido	%
				Limite Plástico	%
				Proctor Modificado (MDS – OCH)	g/cm ³ - %
			Conteo Vehicular	CBR	%
				Indice Medio Diario Semanal (IMDS)	%
				Indice Medio Diario Anual (IMDA)	%
				Numero de Ejes Equivalentes	-
				ESAL	-
Mezcla asfáltica modificada con Polímero Tipo SBS (Estireno butadieno Estireno)	Grupo TDM (2020) Las mezclas asfálticas modificadas son el resultado de la incorporación de polímeros en el asfalto, que vienen hacer componentes estables para las condiciones del clima que se van a presentar, en las que son agregadas al cemento asfáltico en líquido para poder mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. Así mismo, disminuir la oxidación y la susceptibilidad ante los cambios de temperatura y humedad. Por lo cual, los polímeros una vez mezclados con el cemento asfáltico, llegan a crear una nueva mezcla con propiedades importantes de elasticidad al asfalto que ha sido modificado (p.1).	Asfaltos modificados con polímeros elastoméricos, como el SBS u otros, de acuerdo a los requerimientos de los proyectos. Los asfaltos modificados con polímeros tienen mejor comportamiento que los asfaltos convencionales, tanto en altas como en bajas temperaturas, proporcionando mayor vida útil al pavimento.	Mezcla Asfáltica modificada	Vacio	%
				Densidad	
				VMA	
				Estabilidad	
				Vacio lleno de asfalto	
				Relación Estabilidad / Flujo	
Variable Dependiente: Estructura del Pavimento	Consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan (Pasandín, 2016, p. 859).	Las mezclas se pueden hacer con pavimento de asfalto 100% reciclado. Estas mezclas son económica y ambientalmente amigables. Las mezclas asfálticas recicladas se pueden triturar, clasificar, mezclar y colocar en el sitio utilizando emulsiones rejuvenecedoras diseñadas a medida (Guio y Sánchez, 2015, p. 382).	Estructura de pavimento	Envejecimiento de la estructura asfáltica	Observación participante. Ficha y guía de observación
				Espesor de Sub base	
				Espesor de la base	
			Característica del pavimento	Espesor de carpeta	
				Capacidad de soportar cargas	
			Durabilidad	Confort	
				Condiciones Climáticas	
			Costos	Condiciones de tráfico	
				Materia prima e Insumos	
				Recursos necesarios para hacer la estructura asfáltica	
	Mantenimiento de la estructura asfáltica				

Fuente: Elaboración propia, 2020

Anexo 3 Software para cálculo de pavimento DISAASHTO - 93

Una vez que se definen los parámetros y los valores que poseen, se procede al diseño de la estructura de pavimento flexible utilizando la herramienta computacional DISAASHTO-93.



Interfaz del programa DISAASHTO – 93

Fuente: García (2015)

Anexo 4 Análisis de Varianza Anova

ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA		
E. Total	$SST := \sum_{i=0}^4 (y_{1i} - \text{mean}(y_1))^2$	$SST = 1.637 \times 10^5$
E. Regresion	$SS_{reg} := \sum_{i=0}^4 (y_{model_{i\xi}} - \text{mean}(y_1))^2$	$SS_{reg} = 1.631 \times 10^5$
E. no medible	$SS_{\epsilon} := SST - SS_{reg}$	$SS_{\epsilon} := 230$
Analisis de Varianza ANOVA	$m := 3$	$n := 5$

	Fuente de Error	Magnitud	G. Libertad	Media de Errores	Factor F0
SST	SS _{reg}	1.631×10^5	$m - 1 = 2$	$\frac{SS_{reg}}{m - 1} = 8.156 \times 10^4$	$\frac{8.156 \times 10^4}{115} = 709.217$
	SS _ε	230	$4 - 2 = 2$	$\frac{SS_{\epsilon}}{2} = 115$	
	SST	1.637×10^5	$n - 1 = 4$		

Valor critico de F	F	F0	qF < F
	$qF(0.95, 2, 2) = 19$	709.217	

Ho es rechazada

H1 es aceptada, la estabilidad depende del asfalto

Los coeficientes de la regresión son diferentes de cero

$F < qF$

Acepta nula

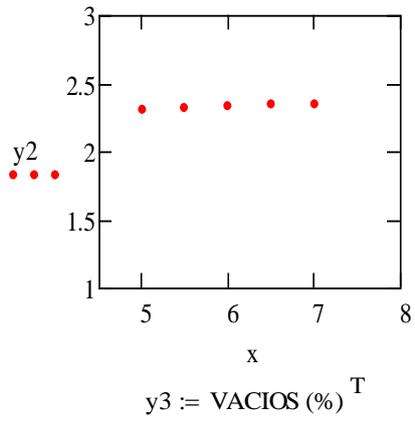
$F > qF$

Acepta alterna

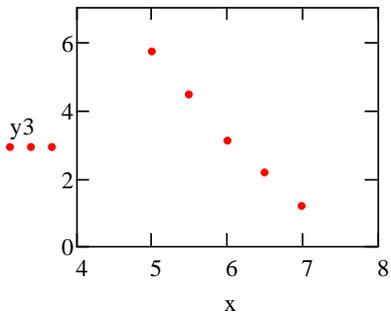
$qF < F$

$$R := \frac{(1.631 \times 10^5)}{(1.637 \times 10^5)} \quad R = 0.996$$

$$y_2 := \text{DENSIDAD SECA BULK (g/cm}^3\text{)}^T$$



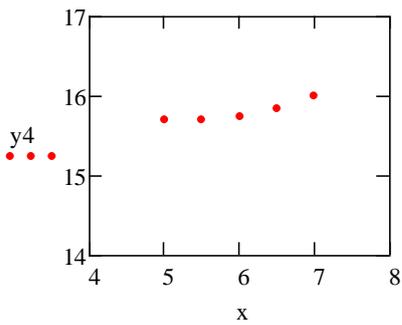
Ha mayor porcentaje de asfalto la densidad seca será mayor



Ha menor contenido de asfalto los vacíos son altos.

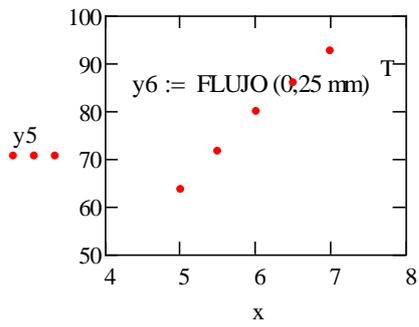
Ha aumentar el contenido de asfalto los vacíos son bajos

$y4 := \text{VMA}\%^T$

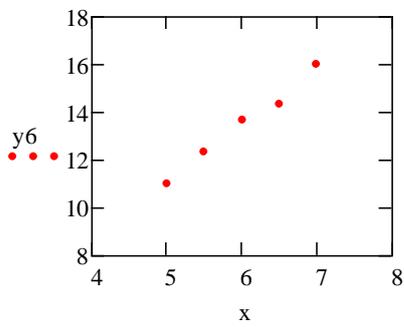


Ha mayor contenido de asfalto el agregado mineral mejora

$y5 := \text{RBV}(\%)^T$



Ha mayor contenido de asfalto el vacío lleno de asfalto es mejor



Ha mayor contenido de asfalto el flujo es mayor

Anexo 5 Análisis de precios unitarios Mezcla Asfáltica Convencional

Análisis de Precios Unitarios - Mezcla asfáltica convencional							
Partida	Mezcla asfáltica Huso D5/ASTM D-3515 (Asfalto Convencional)						
Rendimiento	400.00	m3 / día			Costo unitario directo por:	m3	406.83
Clasificación	PR001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Materiales							328.90
202004	Asfalto Convencional PEN 60/70	gln		36.0000	7.28	262.08	
203010	Piedra chancada 3/4"	m3		0.6240	80.00	49.92	
203007	Arena chancada	m3		0.6760	25.00	16.90	
Subpartida							77.93
	Preparación de MAC con Asfalto Convencional (planta 160 TN/hr)	m3		1.0000	77.93	77.93	
Partida	Preparación de MAC con Asfalto Convencional (planta 160 TN/hr)						
Rendimiento	400.00	m3 / día			Costo unitario directo por:	m3	77.93
Clasificación	PR001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Mano de Obra							2.67
101009	Operador - Planta	hh	1.00	0.0200	28.00	0.56	
101001	Peón	hh	6.00	0.1200	17.59	2.11	
Materiales							46.16
205001	Petróleo (Puesto en obra)	gln		4.0000	10.77	43.08	
209999	Otros materiales	glb		1.0000	3.08	3.08	
Equipos							29.10
300999	Herramientas manuales	%mo		3.8000	2.67	0.10	
302010	Cargador Frontal 125 HP	hm	1.00	0.0200	170.00	3.40	
302011	Planta de Asfalto en Caliente 160 ton/hr	hm	1.00	0.0200	980.00	19.60	
302012	Grupo electrógeno 20/30 kw	hm	1.00	0.0200	20.00	0.40	
302013	Grupo electrógeno 350 kw	hm	1.00	0.0200	70.00	1.40	
302014	Tanque de Asfalto 8000 galones	hm	3.00	0.0600	20.00	1.20	
302015	Caldero 8.5 HP	hm	1.00	0.0200	150.00	3.00	

Fuente: Elaboración propia, 2020

Anexo 6 Análisis de precios unitarios mezcla asfáltica modificada con polímero SBS

Análisis de Precios Unitarios - Mezcla asfáltica con polímero SBS							
Partida	Mezcla asfáltica Huso D5/ASTM D-3515 (Asfalto Modificado con Polímeros)						
Rendimiento	400.00	m3 / día			Costo unitario directo por:	m3	496.82
Clasificación	PR001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
Materiales							418.89
202004	Asfalto Modificado con Polímero SBS	gln		36.0000	9.84	354.28	
203010	Piedra chancada 3/4"	m3		0.6240	80.00	49.92	
203007	Arena chancada	m3		0.5876	25.00	14.69	
Subpartida							77.93
	Preparación de MAC con AMP (planta 160 TN/hr)	m3		1.0000	77.93	77.93	
Partida	Preparación de MAC con AMP (planta 160 TN/hr)						
Rendimiento	400.00	m3 / día			Costo unitario directo por:	m3	77.93
Clasificación	PR001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
Mano de Obra							2.67
101009	Operador - Planta	hh	1.00	0.0200	28.00	0.56	
101001	Peón	hh	6.00	0.1200	17.59	2.11	
Materiales							46.16
205001	Petróleo (Puesto en obra)	gln		4.0000	10.77	43.08	
209999	Otros materiales	glb		1.0000	3.08	3.08	
Equipos							29.10
300999	Herramientas manuales	%mo		3.8000	2.67	0.10	
302010	Cargador Frontal 125 HP	hm	1.00	0.0200	170.00	3.40	
302011	Planta de Asfalto en Caliente 160 ton/hr	hm	1.00	0.0200	980.00	19.60	
302012	Grupo electrógeno 20/30 kw	hm	1.00	0.0200	20.00	0.40	
302013	Grupo electrógeno 350 kw	hm	1.00	0.0200	70.00	1.40	
302014	Tanque de Asfalto 8000 galones	hm	3.00	0.0600	20.00	1.20	
302015	Caldero 8.5 HP	hm	1.00	0.0200	150.00	3.00	

Fuente: Elaboración propia, 2020

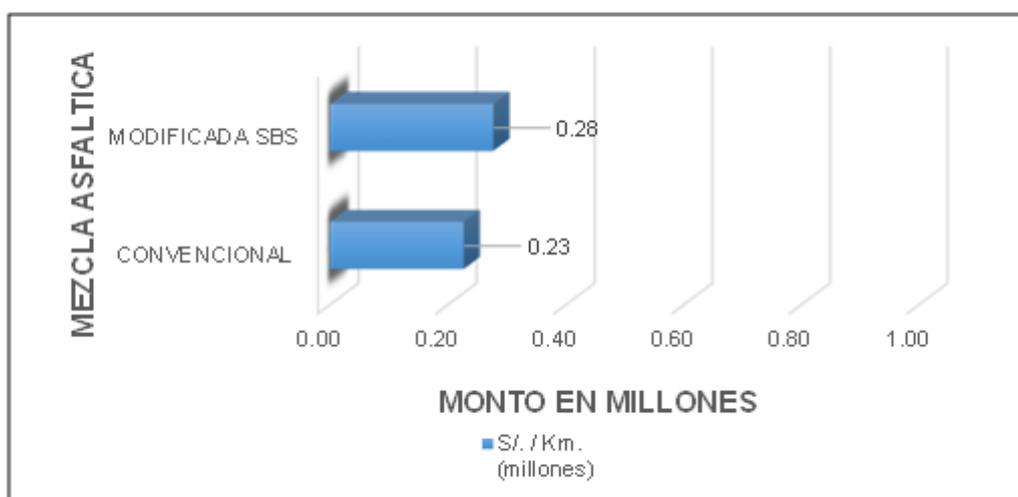
Anexo 7 Ratio por Kilómetro de mezcla asfáltica en caliente

Costo por Kilometro de mezcla asfáltica en caliente

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
1.00	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PEN 60/70	m ³	556.20	406.83	S/226,278.85
2.00	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON SBS	m ³	556.20	496.82	S/276,331.28
PROMEDIO					S/251,305.07

ELABORACION PROPIA

Costo por Kilometro de mezcla asfáltica en caliente



ELABORACION PROPIA

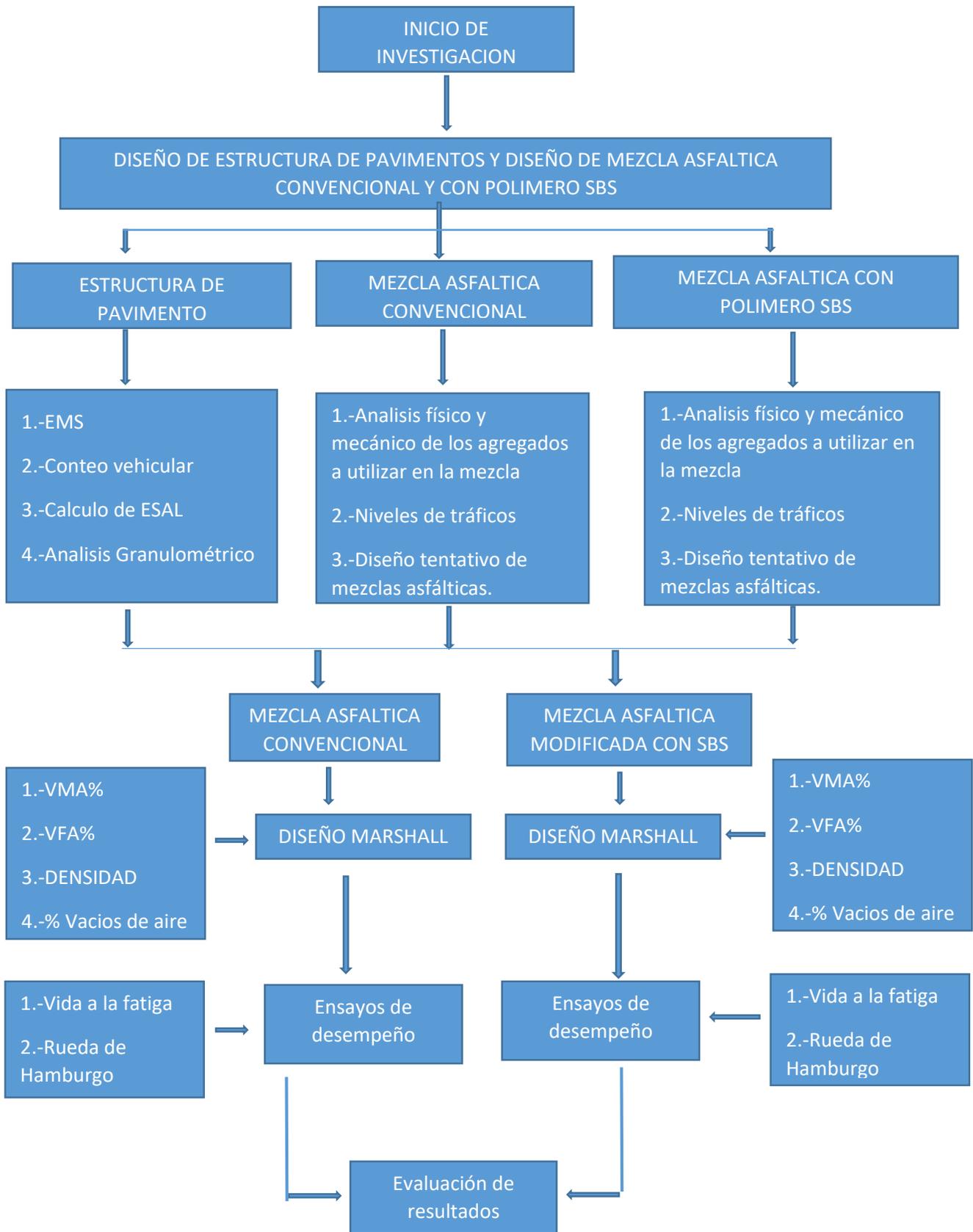
En la tabla y gráfico, se muestra lo siguiente:

En los proyectos con mezcla asfáltica en caliente convencional, el ratio del costo por Km de mezcla asfáltica es de 0.23 millones de soles.

En los proyectos con mezcla asfáltica en caliente modificada con SBS, el ratio del costo por Km de carretera es de 0.28 millones de soles.

El ratio se eleva, debido al costo del asfalto modificado tiende a subir cuando se le agrega el polímero SBS a la mezcla asfáltica, ya que cuenta con propiedades que mejoran el comportamiento de la mezcla.

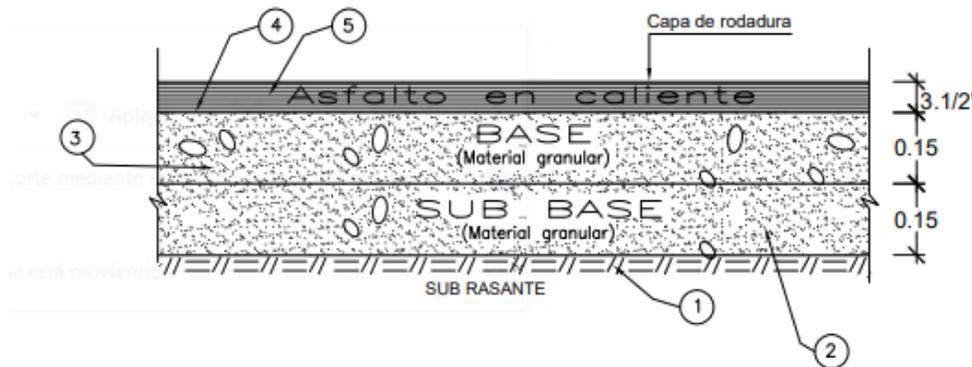
Anexo 8 Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia, 2020

DISEÑO DE PAVIMENTO CONVENCIONAL / MODIFICADO

ESC : S/E



ESPECIFICACIONES

1. CONFORMACIÓN DE SUBRASANTE
2. COLOCACION, CONFORMACION Y COMPACTACIÓN DE LA SUB BASE DE AFIRMADO E=0.15 CM.
3. COLOCACION, CONFORMACION Y COMPACTACIÓN DE LA BASE DE AFIRMADO E=0.15 CM.
4. IMPRIMACION DE LA BASE.
5. COLOCACION DE CARPETA DE ASFALTO EN CALIENTE DE 3 1/2".

FICHA TÉCNICA BETUTEC TIPO IC ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO



DESCRIPCIÓN Es un cemento asfáltico modificado con polímero elastómero del tipo estireno-butadieno-estireno (SBS)

VENTAJAS Las mezclas asfálticas fabricadas con BETUTEC IC ofrecen las siguientes ventajas técnicas:

- Reducción de la susceptibilidad térmica.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas.
- Incremento del módulo de rigidez a altas temperaturas.
- Mayor adhesividad de los agregados.
- Aumento de la resistencia a la tracción y a la elongación.
- Incremento de la vida útil de los pavimentos, por su mayor resistencia al envejecimiento, a la propagación de grietas y a la formación de ahuellamientos.
- Reduce los costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica con el tiempo.

ESPECIFICACIONES

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	BETUTEC IC	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Penetración, 25°C, 5 s, dmm	D 5	50	75
Viscosidad absoluta, 60°C, Poise	D 2170	5000	---
Viscosidad cinemática, 135°C, cSt	D 2170	---	3000
Punto de inflamación, °C	D 92	232	---
Solubilidad en tricloroetileno, %	D 2042	99	---
Viscosidad Brookfield, 135°C, cP	D 4402	---	---
Viscosidad Brookfield, 145°C, cP	D 4402	---	---
Viscosidad Brookfield, 175°C, cP	D 4402	---	---
Recuperación elástica lineal, 25°C, 10 cm, %	D 6084	60	---
Recuperación elástica lineal, 5°C, 10 cm, %	D 6084	---	---
Punto de ablandamiento, °C	D 36	60	---
Estabilidad al almacenamiento, 163°C, 48 horas	D 7173	MÍNIMO	MÁXIMO
Separación, diferencia, °C	D 36	---	2.2
Sobre el residuo después de Película Fina Rotatoria	D 2872	MÍNIMO	MÁXIMO
Penetración, 4°C, 200 g, 60 s, dmm	D 5	13	---
Separación, diferencia, °C	D 36	---	10.0
Recuperación elástica lineal, 25°C, 10 cm, %	D 6084	60	---

(*) Norma Técnica Española

En concordancia a la especificación MTC-EG-2013.

PRESENTACIÓN A granel.

ALMACENAMIENTO

BETUTEC IC puede ser dañado por calentamiento a altas temperaturas (encima de 190°C), recalentamientos sucesivos ó prolongados. Normalmente se entrega en planta entre rangos de temperatura altos (160 - 175°C) y deberá ser descargado en tanques exentos de residuos de asfalto convencional u otro material que afecte la calidad del producto. Se recomienda durante el almacenamiento por un período superior a 5 días, almacenar el producto a temperatura más baja que la usual (100 - 120°C), siendo la máxima recomendable para períodos cortos de almacenamiento de 165°C. Almacenar a temperatura ambiente, si el producto quedará por largos períodos (20 días ó más). La temperatura a lo largo del tanque deberá ser uniforme y la distribución de calor deberá ocurrir de forma homogénea a través de la utilización de una bomba de recirculación. El calentamiento nunca deberá realizarse de forma directa y sí, en tanques que cuenten con un serpentín de fluido térmico.

RV. 31/01/2019

FICHA TÉCNICA
PEN 60/70
CEMENTO ASFÁLTICO



DESCRIPCIÓN

Cemento asfáltico para obras viales.

ESPECIFICACIONES

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	
		MÍNIMO	MÁXIMO
PENETRACIÓN			
A 25°C, 100 g, 5 seg, dmm	D 5	60	70
VOLATILIDAD			
Punto de Inflamación Cleveland, copa abierta, °C	D 92	232	---
Gravedad específica a 15.6/15.6 °C	D 70	Reportar	
DUCTIBILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113	100	---
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO , % masa	D 2042	99.0	---
SUCEPTIBILIDAD TÉRMICA			
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas	D 1754		
Pérdida de calentamiento, % masa	D 1754	---	0.8
Penetración retenida, % original	D 5	52	---
Ductibilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113	50	---
Índice de susceptibilidad térmica	Francis RLB	-1.0	+1.0
FLUIDEZ	D 2171	600	2400
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 2170	Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170	200	---

En concordancia a las especificaciones NTP 321.051, ASTM D 946 y AASHTO M-20.

REQUERIMIENTO GENERAL

El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua y no deberá formar espuma al ser calentado a 175 °C.

PRESENTACIÓN

A granel y en cilindros de 55 galones.

FICHA TÉCNICA ADH-10000 ADHESOL 10000



DESCRIPCIÓN

Aditivo químico base Amina, térmicamente estable que actúa en la interfase asfalto/agregado, aumentando considerablemente el poder de adherencia entre ambos, permitiendo una excelente cohesión del pavimento durante largo tiempo.

VENTAJAS

Utilizado como aditivo mejorador de adherencia en ligantes asfálticos aplicados en caliente, en asfaltos diluidos (cut backs) en mezclas asfálticas en frío.

- Aditivo de fácil incorporación en el ligante asfáltico.
- Fácil de dosificar por ser un aditivo líquido.
- Excelentes propiedades "Anti-striping".

APLICACIÓN

Añadido en cantidades determinadas en los ligantes asfálticos a ser utilizados, obteniéndose la homogenización por circulación, con una bomba de transferencia o agitación, por un periodo mínimo de 45 minutos.

DOSIS RECOMENDADA

La dosificación varía de acuerdo a los agregados de 0,25% a 1%, de forma general se recomienda el uso de 0.5% de ADHESOL 10000 con respecto al peso del ligante asfáltico.

Es importante tener en cuenta que la dosificación arriba mencionada, estará sujeta a los resultados obtenidos durante los ensayos de adherencia de nuestro laboratorio, los cuales están normados por el MTC (Manual EM-2000: MTC E-517, MTC E-521, MTC E-220), por lo cual se recomienda proveer muestra de los respectivos agregados a fin de determinar el porcentaje a utilizarse.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

Color Gardner	Máx. 10
Composición principal	Aminas grasas
Apariencia a 25°C	Líquido aceitoso
Viscosidad a 25°C, cP	75 - 300
Densidad a 25°C, g/cm ³	0.882 ± 0.1
Contenido de aminas, mg KOH/g	Mín. 470
Punto de inflamación, °C	> 150
Solubilidad en agua	INSOLUBLE
Solubilidad en gasolina	SOLUBLE
Solubilidad en alcohol	SOLUBLE

MANEJO Y ALMACENAJE

Manejar en áreas ventiladas y evitar el contacto con los ojos y la piel.
Almacenar protegido del sol en un lugar bien ventilado

PRESENTACIÓN

Suministrado en envases de 200 kilogramos de peso líquido.

Anexo 13 Ecuaciones para diseño de Pavimento

FÓRMULAS		N°
Contenido de humedad	$\text{Contenido de humedad} = \frac{(\text{Peso humedo} - \text{peso seco})}{\text{Peso seco}} \cdot 100$	(1)
ESAL	$ESALS' = \left(\sum_{i=1}^m p_i \cdot F_i \cdot P \right) \cdot (TPD) \cdot (FC) \cdot F_d \cdot F_c \cdot 365$	(2)
Diseño de Pavimento	$\text{LOG}_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \text{LOG}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{LOG}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{LOG}_{10}(M_R) - 8.07$	(3)
Módulo resiliente	$M_r = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}(\text{PSI})$	(4)
Número estructural propuesto	$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i$	(5)
	$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$	(6)
	$SN = a_1 x d_1 + a_2 x d_2 x m_2 + a_3 x d_3 x m$	(7)
	$a_2 = 0.249 (\log_{10} E_{BS}) - 0.977$	(8)
	$a_3 = 0.227 (\text{Log}_{10} E_{SB}) - 0.839$	(9)