



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla
asfáltica, del pavimento flexible modificadas con resina epóxica
– Cusco – Cusco - San Jerónimo**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Cotrado Mamani, Wilson (orcid.org/0009-0007-8754-7082)

ASESOR:

Mg. Sigüenza Abanto, Robert Wilfredo (orcid.org/0000-0001-8850-8463)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO – PERÚ

2024

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SIGÜENZA ABANTO ROBERT WILFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Análisis del Comportamiento Físico-Mecánico de la Mezcla Asfáltica, del Pavimento Flexible Modificadas con Resina Epóxica – Cusco – Cusco - San Jeronimo", cuyo autor es COTRADO MAMANI WILSON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 22 de Noviembre del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SIGÜENZA ABANTO ROBERT WILFREDO DNI: 42203191 ORCID: 0000-0001-8850-8463	Firmado electrónicamente por: RSIGUENZA el 08- 12-2024 11:42:11

Código documento Trilce: TRI - 0916890



Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, COTRADO MAMANI WILSON estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Análisis del Comportamiento Físico-Mecánico de la Mezcla Asfáltica, del Pavimento Flexible Modificadas con Resina Epóxica – Cusco – Cusco - San Jeronimo", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
WILSON COTRADO MAMANI DNI: 42528272 ORCID: 0009-0007-8754-7082	Firmado electrónicamente por: WCOTRADOM el 22- 11-2024 16:05:28

Código documento Trilce: TRI - 0916891

DEDICATORIA

Es importante establecer que ha sido un trabajo que me ha llenado de conocimiento y se lo dedico a mis padres y familiares que me han apoyado en todo momento en especial a mi esposa Yanet M. Curasi Geroma.

El autor

AGRADECIMIENTO

Tengo especial agradecimiento a mi asesor y la universidad César Vallejo por todo el apoyo y soporte brindado desde el principio del cumplimiento de esta hermosa meta.

El autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	i
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad del autor	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- METODOLOGÍA	21
III.- RESULTADOS	32
IV.- DISCUSIÓN	65
VI.- RECOMENDACIONES REFERENCIAS	71
ANEXOS	72
	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de diseño de la mezcla asfáltica al 5%.....	35
Tabla 2 Valores de la mezcla asfáltica al 10%	35
Tabla 3 Valores de la mezcla asfáltica al 15%	36
Tabla 4 Agregados de la mezcla asfáltica al 5%	37
Tabla 5 Agregados de la mezcla asfáltica al 10%	38
Tabla 6 Agregados de la mezcla asfáltica al 15%	38
Tabla 7 Análisis granulométrico de la mezcla al 5%	39
Tabla 8 Análisis granulométrico de mezcla al 10%	39
Tabla 9 Análisis granulométrico de mezcla al 15%	40
Tabla 10 Ensayo de resistencia a la flexión al 5%	41
<i>Tabla 11 Ensayo de resistencia a la flexión al 10%</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 12 Ensayo de resistencia a la flexión al 15%</i>	<i>42</i>
Tabla 13 Ensayo Marshall de MAC	44
Tabla 14 Viscosidad de la mezcla asfáltica	47
Tabla 15 Ensayo Marshall de control	48
Tabla 16 Viscosidad control	51
Tabla 17. Detalle de la prueba de estabilidad	52
Tabla 18 T Student Estabilidad	53
Tabla 19 T Student parámetro flujo	54
Tabla 20 T Student relación EF	54
Tabla 21 T Student Vacío.....	55

Tabla 22 Partículas chatas y alargadas	58
Tabla 23 Partículas de una cara fracturada	58
Tabla 24 Partículas de dos caras fracturadas	59
Tabla 25 Prueba de desgaste de abrasión.....	59
Tabla 26 Constitución de la mezcla asfáltica al 5% de modificación.....	60
Tabla 27 Resumen de hallazgos	62
Tabla 28 Presupuesto de las mezclas.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1 Preparación de mezcla asfáltica	34
Figura 2 Resultados de flujo por cada matriz experimental.....	43
Figura 3 MAC vs estabilidad.....	44
Figura 4 MAC vs Flujo	45
Figura 5 MAC vs E/F	46
Figura 6 Prueba de viscosidad para MAC	46
Figura 7 MAC vs viscosidad	48
Figura 8 Estabilidad vs. Asfalto control	49
Figura 9 Flujo vs. Asfalto control	50
Figura 10 E/F vs. Asfalto control	50
Figura 11 Asfalto control vs viscosidad	51
Figura 12 Comparación estabilidad.....	56
Figura 13 Comparación flujo	56
Figura 14 Comparación EF	57
Figura 15 Comparación vacío	57
Figura 16 Gráficos de ensayo Marshall para las muestras asfálticas.....	61
Figura 17 Espesor de las capas estructurales del pavimento	65

RESUMEN

El mantenimiento de las arterias viales es uno de los aspectos que se tiene en consideración dentro del presupuesto público y privado, puesto que, deficiencias y fracturas en el mismo, aparte de acortar la utilidad de la vía, de igual manera comprometen las medidas de seguridad del parque automotor y las personas que circulan. En la actualidad se cuentan con investigaciones experimentales que, persiguen obtener una mezcla asfáltica modificada que, además de mejorar sus propiedades físico mecánicas, de igual forma permita prolongar la durabilidad de la vialidad e incrementar su confiabilidad. En esta ocasión se elaboró un estudio aplicado, explicativo de manera cuantitativa y experimental, para responder al objetivo de investigación de analizar las propiedades y el proceder físico-mecánico de la mezcla asfáltica en pavimento flexible modificada con resina epoxica, para el distrito de San Jerónimo de la ciudad y región de Cusco. Ciertamente, los hallazgos permitieron conformar tres mezclas con diferentes proporciones de resina epoxi, obteniéndose que, la mezcla asfáltica modificada al 5% cumple con los niveles de tolerancia prescritos en la Norma ASTM D-1559 y MTC E-504, y presenta una mayor resistencia a la deformación que el asfalto tradicional.

Palabras clave: Mezcla asfáltica, propiedades físico mecánicas, estabilidad, flujo, vacío

ABSTRACT

The maintenance of road arteries is the most important issue and matter to be concern within the public and private budget, since deficiencies and fractures in it, apart from shortening the usefulness of the road, also compromise the safety of the vehicles and pedestrians that circulate there. Currently, there are experimental investigations that seek to obtain a modified asphalt mixture that, in addition to improving its physical-mechanical properties, also allows prolonging the durability of the road and increasing its reliability. On this occasion, an studie with exploration level and service to the traffic, quantitative approach and experimental design, to respond to the research objective of analyzing the properties and the physical-mechanical procedure of the asphalt mixture in flexible pavement modified with epoxy resin, for the district of San Jerónimo of the city and region of Cusco. Certainly, the findings allowed three mixtures to be formed with different proportions of epoxy resin, obtaining that the 5% modified asphalt mixture complies with the tolerance levels prescribed in Standard ASTM D-1559 and MTC E-504, and has greater resistance. to deformation than traditional asphalt.

Keywords: Asphalt mixture, physical mechanical properties, stability, flow, vacuum

I.- INTRODUCCIÓN

La construcción de carreteras utilizando las mezclas asfálticas como carpeta de rodadura constituyen un factor importante en el crecimiento económico y social para la sociedad, por lo tanto, es necesaria la utilización de materiales y diseños de mezcla acordes a las zonas donde se da la construcción de obras viales, que permitan optimizar la comunicación vial y otorgue un impacto positivo en la calidad de vida de su población.

Las deficiencias y retrasos en las gerencias administrativas y de mantenimientos de los entes competentes, conllevan al deterioro y falla de las carpetas asfálticas en un tiempo menor para el que fueron diseñadas en muchas carreteras.

Desde el año 1989 se viene utilizando en España el asfalto modificado en sus carreteras y vías urbanas, de igual forma pasa en México, Brasil, Estados Unidos, Colombia entre otros. Aunque aún no existe normativa que regule la utilización de materiales no convencionales como el caucho para optimizar las propiedades del asfalto y usar asfalto modificado o mezclas asfálticas frías o calientes, es por eso que el aprovechamiento de ciertos polímeros podría utilizarse para pavimentos más resistentes y de mejor desempeño, disminuyendo los costos debido a los mantenimientos que se realizan y desarrollan durante la vida útil de estos, reducción de anomalías, huellas, desgastes etc., y un notable descenso del impacto ambiental (Díaz & Castro, 2017)

Esta investigación está enfocada en la exploración de la carpeta de rodadura, la cual está compuesta de un material asfáltico, es así que se pretende mejorar las propiedades de este para aumentar así su durabilidad y su vida útil.

Esta investigación evalúa las diferencias físicas y mecánicas que existen tanto para una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) tradicional como para una elaborada con materiales no convencionales en este caso una resina epóxica para poder mejorar su durabilidad ante esfuerzos de carga, dado que la mayoría de vías pavimentadas que unen capitales de distritos en diferentes regiones de Perú no

son construidas de manera óptima, proponiéndose al final un diseño de mezcla modificado para que pueda ser implementado en los gobiernos locales.

De igual manera en la región del Cusco, se puede verificar la existencia de una gran cantidad de diversas clases de falla a lo largo de las vías pavimentadas con asfalto, las cuales son diseñadas utilizando métodos empíricos como el diseño por el método Marshall, haciendo uso de los recursos existentes de la zona, es por ello que se requiere perfeccionarlas componentes utilizados en la pavimentación vial para poder otorgarles un mayor tiempo de vida útil.

Todo esto hace que se establezca la problemática general, la cual está resumida en la siguiente interrogante: ¿Cuál será las propiedades y el comportamiento físico-mecánicas de la mezcla asfáltica del pavimento flexible modificadas con resina epóxica, San Jerónimo, Cusco?, los problemas específicos son los siguientes, ¿Cómo será la estabilidad, flujo, granulometría y viscosidad de la mezcla modificada con las resinas epóxicas?, ¿Son similares las propiedades y comportamiento de las mezclas modificada y tradicional de acuerdo las pruebas y ensayos certificados? El tercer específico se tiene, ¿Es factible económicamente en relación costos - beneficios el uso de mezclas con resinas epóxicas para San Jerónimo, Cusco? Y por último ¿Cuál es el diseño del asfalto flexible añadiendo la resina epóxica en San Jerónimo?

Esta investigación se justifica en la mejora de los requerimientos necesarios para la pavimentación de carreteras, puesto que, hoy día se vienen demandando técnicas constructivas más actualizada se implementando una variedad de aditivos, con propiedades que cumplan los parámetros técnicos y económicos de las capas y las mezclas asfálticas.

La investigación también se justifica al enfocar la necesidad de construir una estructura vial adecuada en el distrito San Jerónimo de la ciudad y de la región de Cusco, en la que las capas asfálticas tengan una calidad más óptima, es decir su vida útil sea prolongada, reduciendo de esta manera costos en operaciones de mantenimiento.

Esta investigación busca una mejor rentabilidad económica, se logren soluciones que aumenten la calidad de vida de los vecinos, y el resto de los habitantes que utilizan el tramo en estudio. Los hallazgos derivados de la investigación prometen ofrecer beneficios importantes, como la optimización físico-mecánico de las mezclas asfálticas en caliente y el aumento de su vida útil con relación al modelo tradicional, además que se convierta de apoyo a próximas investigaciones. De igual forma abrirá nuevos aportes y servirá de base a futuras obras o estudios que presenten características similares a la que aquí se plantea, Además de contribuir en una mejora oportuna y eficiente en el método de elaboración de las mezclas que aseguren resultados favorables en la construcción de los pavimentos.

Siendo el objetivo principal el Analizar las propiedades y el proceder físico-mecánico de la mezcla asfáltica en pavimento flexible modificada con resina epóxica, para el distrito de San Jerónimo de la ciudad y región de Cusco. Los objetivos específicos están enumerados en, Determinar la estabilidad, flujo, granulometría y viscosidad de la mezcla modificada con las resinas epóxicas, seguido de realizar una valoración de las propiedades y comportamiento de las mezclas modificada y tradicional de acuerdo las pruebas y ensayos certificados, para el siguiente objetivo específico se tendría, evaluar la relación de costos y beneficios que propone la incorporación de resinas epóxicas a la mezcla asfáltica para el distrito de San Jerónimo del Cusco, y por último objetivo específico se tiene determinar el diseño del pavimento flexible adicionando la resina epóxica en San Jerónimo.

Luego del análisis se propone una hipótesis general que sugiere que; al adicionar resina epoxica a las MAC, esta mejorara sus propiedades físico-mecánicas para ser usadas en el distrito San Jerónimo de la ciudad y de la región de Cusco. En las hipótesis específicas se espera que, al integrar las resinas epóxicas a la mezcla asfáltica de forma controlada proporcione una mejora considerable a las propiedades de flujo, granulometría y viscosidad, logrando mayor estabilidad y flexibilidad, y resistencia a las deformaciones. Seguidamente que, las propiedades y comportamiento de las mezclas modificada serán significativamente

mejores a la mezcla tradicional de acuerdo a los ensayos certificados realizados. Se espera que se logre un mayor beneficio económico en cuanto a costos a largo plazo en el uso de Mac con resinas epóxicas en la zona de San Jerónimo del Cusco, y finalmente un diseño óptimo del pavimento flexible en la localidad de San Jerónimo Cusco con la adicción de la resina epoxica.

Es por ello que este Proyecto de investigación está centrado en analizar el comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas modificadas con resina epoxica con los procedimientos necesarios para cumplir con la norma y los exámenes de laboratorio solicitados por la misma para el diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC).

En los antecedentes en el ámbito internacional se tomó como referencia a:

(Rodríguez & Rodríguez, 2019) en su trabajo titulado “Propuesta para la Rehabilitación y Evaluación de Suelos Flexibles mediante el Método de Reciclaje” de la Universidad de El Salvador del año 2019 indica que:

La investigación afirma que con el paso de estos cincuenta años se ha dado un progreso excepcional en infraestructura de pavimentos, específicamente en la de las vías rurales. Mucho Kilometraje de nuevas calzadas se colocó a nivel mundial para satisfacer el creciente mercado de flujo vehicular. Por encima de los veinte años un número considerable de estas carreteras han sido utilizadas lo que conlleva a la caducidad de su vida útil, añadiendo a su vez el aumento constante en la demanda vehicular.

El deterioro de las carreteras cada vez va requiriendo métodos o técnicas actualizadas que mantengan los niveles de servicio mejores que los que se tenían originalmente, lo que generó el método de reciclaje de pavimentos asfálticos.

El cual consiste en recoger el firme, incorporar si hace falta bajas dosis de agregado y revolver en campo el material escarificado con el nuevo haciendo uso de una grada de discos o una motoniveladora. Seguido, se rociaba con una solución bituminosa de pequeño volumen de asfalto, al momento se comenzaba el mezclado con la grada de discos.

“Técnicas para la restauración de superficies viales”

Presentado en el Instituto Nacional Politécnico, por Marchan Moreno, Rufino Mario en México, DF. 2005.

En este estudio se resalta los pavimentos construidos con MAC, dado que la generalidad de las carreteras en el sistema vial del país es de esta clase, el tiempo necesario para diseñar un pavimento construido con asfalto caliente es inferior al de una superficie asfaltada de concreto, lo que conlleva una mayor demanda de mantenimiento y renovación.

En base a las exigencias que hoy día demanda la transformación de las mezclas asfálticas, se desarrollan nuevas técnicas con mayor factibilidad de diseño que permitan contrarrestar el deterioro del pavimento y los daños que causan la variación de temperatura, haciendo que la rehabilitación de las sobre capas asfálticas o de losas de concreto posean una significación relevante en el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial. Es por ello que en la presente investigación se hará una descripción de información sobre las técnicas o parámetros adecuados en la rehabilitación de pavimentos asfálticos que aporten una solución óptima, una vida útil más duradera y la prevención de futuras anomalías.

Este estudio expone brevemente y de manera clara el método de restauración aplicado a pavimentos elásticos y sólidos, empleando las evaluaciones fundamentales para satisfacer los criterios de laboratorio y determinar la idoneidad de los componentes empleados en las estratificaciones asfálticas.

Puntualizo como objetivo general la redacción de un registro en el cual se describan los procedimientos y elementos cruciales en la renovación de superficies flexibles, ya sea mediante técnicas a baja o alta temperatura.

(Ramírez, 2018) En su tesis: “Análisis sobre el empleo de goma de llantas en combinaciones bituminosas calientes a través de un método no húmedo.” de la Universidad De Chile en el 2018 indica:

El siguiente estudio realizado, se sitúa bajo la modalidad de una investigación de Laboratorio, con el objeto de evaluar y describir a través de reiteradas pruebas en laboratorio los efectos originados en combinaciones bituminosas calientes a lo largo del método en ausencia de agua. de la integración de neumáticos desechados, para luego realizar las respectivas comparaciones de los resultados con las muestras efectuadas en Chile por medio del proceso húmedo, de esta forma evidenciar los cambios producidos en relación con las mezclas asfálticas tradicionales. Este trabajo, pretende conseguir una interpretación a detalle del comportamiento de las MAC con caucho a través del proceso seco, que faciliten plantear estándares para la Dirección vial, principalmente dentro del Manual de Carreteras.

El propósito principal es analizar las propiedades mecánicas de las composiciones asfálticas enriquecidas con goma en calidad de agregado granular menudo. Para esta investigación es importante Enfatizar los atributos distintivos de las composiciones bituminosas alteradas con resinas epóxicas y cuáles son sus comportamientos mecánicos bajo distintas pruebas.

Con el fin de comparar los resultados de distintas aplicaciones de mezclas asfálticas modificadas con epoxi se hace referencia al estudio realizado por Qian Zhang, Yi-hengXu, y Zhi-Wuang Wen quienes en el año 2017 describieron en su estudio “influence of water borne epoxy resin compound SBR modified emulsified asphalt for tack coat” para la revista científica construction and bulding materials, en Wuhan, China, el uso y aplicación de asfaltos modificados con resina epóxica a base de agua, e incluso propusieron la aplicación de una capa intermedia de recubrimiento de pavimento o de pavimento de tablero de puente utilizando asfalto emulsionado con resina epóxica en agua (WEREA) con el fin de evitar el empuje del pavimento en el tablero del puente. En la investigación se realizó un análisis teórico sobre la cohesión y en pruebas de simulación de fallos de cohesión e impermeabilidad. Los resultados que obtuvieron señalan que el rendimiento de la cohesión se ve afectado por la temperatura y la elección del agente de curado, y el rendimiento de la resistencia al cizallamiento está relacionado con la textura de contacto entre capas. Los componentes y la

microestructura de la red de WEREA aumentan la propiedad de cohesión de la capa intermedia y mejoran la visco-elasticidad del material, y como resultado mejora el rendimiento de la resistencia al cizallamiento y a la extracción. Además, WEREA también tiene un fuerte rendimiento de impermeabilidad en el pavimento del tablero del puente como capa de adherencia.

Se destaca la importancia del método de investigación documental que apoya su teoría, adicionalmente a las variaciones notadas en las cualidades mecánicas y físicas del compuesto al ser transformada con resinas, además de sus hallazgos en la aplicación de esta mezcla en cuanto a desempeño en el campo.

Los mayores aportes en cuanto a registro de propiedades físicas de las Mac fueron encontrados en la investigación de PeiliangCong, ShanfaChen, JianyingYu realizada en el (2010) "Investigation of the Properties of Epoxy Resin-Modified Asphalt Mixtures for Application to Orthotropic Bridge Decks", desarrollada para el Centro de Investigación de Ingeniería de Materiales de Transporte del Ministerio de Educación, Universidad de Chang'an, Xi'an, China. Aplicaron el método de Marshal para la formulación de un compuesto asfáltico con resina epóxica en donde caracterizaron mediante pruebas cuantificables realizadas en el laboratorio clave de Ciencia e Ingeniería de Materiales de Silicato, Ministerio de Educación, Universidad Tecnológica de Wuhan, las características físicas y químicas de las variaciones de las mezclas con resina epóxica y como esta se comportó a beneficio del proyecto de aplicación en los puentes y puentes. Partieron de la premisa de que, al realizar la comparación con otras mezclas de pavimento genéricas, el pavimento de acero de los tableros de los puentes soporta deformaciones mayores y a mayor temperatura. Se utilizaron asfaltos epoxi para preparar el hormigón asfáltico modificado para la pavimentación de puentes de acero. Para la investigación se analizaron los efectos del contenido de resina epoxi en la vida a la fatiga y en las propiedades de fluencia de la mezcla de asfalto epoxi. Las características de fatiga de las mezclas de asfalto epoxi se estudiaron mediante el ensayo de fatiga por tensión indirecta de fatiga a diferentes tensiones. Se realizó un ensayo de fluencia estática con una carga y un período de recuperación en el compuesto asfáltico. Los resultados mostraron que

el lapso de fatiga y la elasticidad de recuperación de las mezclas asfálticas con resinas epoxi era grande, lo que indicaba que la propiedad de fatiga se podía mejorar con la resina epoxi. En comparación con el asfalto de control, el asfalto epoxi mostraba una mejor resistencia a la deformación y rendimiento de recuperación. El ligante asfáltico epoxi es más cohesivo y adhesivo que el ligante asfáltico original, por lo tanto, la mezcla de asfalto epoxi muestra más aguante a la modificación que la mezcla de asfalto de control. La resina epoxi ha provocado un aumento espectacular de la rigidez a la fluencia módulo de la mezcla de asfalto. Y el modelo de Burgers puede describir el rendimiento de fluencia del asfalto epoxi. De acuerdo los resultados adquiridos, las mezclas de asfalto epoxi tuvieron disminución de la modificación permanente y aumento de la vida a la fatiga.

Sin embargo, en el informe propuesto por Peiliang Cong, Shanfa Chen, Jianying Yu, y Huaxin Chen en 2011, "Compatibility and Mechanical Properties of Epoxy Resin Modified Asphalt Binders" para el International Journal of Pavement Research and Technology, expone que la compatibilidad mecánica de las resinas epóxicas y las mezclas asfálticas es más bien baja. Su argumento se basó en que la compatibilidad entre la resina epoxi y el asfalto es un problema crucial problema, especialmente en los pavimentos de acero ortotrópicos de los tableros de los puentes. Los investigadores afirman que el asfalto ha sido utilizado durante mucho tiempo como material flexible en las construcciones, sin embargo, el volumen de tráfico y las cargas de los vehículos exigen un pavimento de alto rendimiento, especialmente en los tableros de puentes de acero ortotrópicos. Por lo que su estudio se enfocó en preparar con éxito un asfalto epoxi con buena compatibilidad y propiedades mecánicas. La compatibilidad, la morfología y las propiedades mecánicas fueron analizadas y evaluadas combinando la prueba de almacenamiento en caliente con el método de extracción soxhlet, la microscopía fluorescente y la prueba mecánica respectivamente. Los resultados indicaron que la compatibilidad y la flexibilidad del asfalto epoxi son malas, y estas propiedades pueden mejorarse añadiendo un solubilizador y un copolímero tribloque de estireno-butadieno-estireno (SBS). Los efectos de los contenidos de solubilizante y SBS en la compatibilidad, propiedades mecánicas y morfologías del asfalto

epoxi. Los asfaltos epoxídicos mostraron mejor compatibilidad y alargamiento a la rotura cuando se añadieron solubilizantes y SBS. Por lo tanto, el uso de solubilizante y SBS puede considerarse una alternativa adecuada para la modificación del asfalto epoxi en el pavimento. En función a los resultados de la investigación de laboratorio sobre la compatibilidad y las propiedades de asfalto epoxi en comparabilidad con el asfalto de control, se halló que la compatibilidad entre la resina epoxi y el asfalto es mala, el asfalto epoxi con mejor compatibilidad y propiedades mecánicas se preparó incorporando el solubilizador y el SBS. El SBS puede mejorar la compatibilidad del asfalto epoxi y alterar su morfología, ya que la fase continua entrelazada se forma cuando aumenta el contenido de SBS. El SBS tiene un pequeño impacto en la firmeza a la tracción del asfalto epoxi, pero puede mejorar notablemente el alargamiento a la rotura del asfalto epoxi. El ligante asfáltico epoxi es un excelente material para carreteras. Una buena compatibilidad entre la resina epoxi y el asfalto cumple el requisito básico lograr el objetivo de mejorar el rendimiento del asfalto.

Esta investigación establece los fundamentos que deben considerarse para el perfeccionamiento de las condiciones del compuesto asfáltico y la manera de mejorar la cohesión, logrando así las propiedades requeridas al implementarlo en los segmentos de las áreas peruanas.

A nivel nacional se presentan los siguientes antecedentes:

(Huamám, 2021) En su trabajo titulado: “La alteración continua en las composiciones bituminosas y la resultante degradación de los revestimientos asfálticos en Perú” de la Universidad Nacional de Ingeniería del año 2021 indica que:

La presente indagación se centró en discernir los factores primordiales que provocan defectos y desviaciones en los pavimentos construidos con MAC, elaborándose para esto un estudio bibliográfico.

La investigación desarrollada expone un análisis sobre las distintas zonas climáticas del territorio nacional y cómo estas afectan el comportamiento de los pavimentos asfálticos ante fallas por modificaciones constantes. Se exploran

también otras variables que contribuyen a dichas fallas. Se ofrece una explicación sobre la reología asfáltica, fundamentada en su estructura química, detallando las propiedades reológicas de estos componentes a través de la mecánica de medios continuos y los factores reológicos, aplicando la técnica super pave. Se investiga igualmente cómo la distribución del tamaño de los agregados y sus otras características impactan en la deformación permanente, en la concepción de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) y en los procedimientos prácticos de su instalación.

El propósito principal fue realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre las causas de la deformación persistente en pavimentos asfálticos, identificar los factores que la inducen y determinar qué instrumentos especializados de laboratorio y de campo se necesitarán para resolver esta problemática.

En el estudio "Diseño de mezcla asfáltica con la incorporación de látex natural, vía expresa San Sebastián - Cusco 2019" realizado por Gutiérrez (2020) en la Universidad César Vallejo, se exploraron conceptos fundamentales para comprender cómo las mezclas asfálticas modificadas se comportan. La investigación se centró en analizar el efecto de añadir un nuevo componente, el látex natural, a la mezcla asfáltica y su influencia en la construcción de la vía expresa San Sebastián. El propósito principal fue el diseño de una mezcla asfáltica enriquecida con látex natural para su uso en la mencionada vía durante el año 2019. Se revisaron estudios anteriores sobre la evolución y mejora de las mezclas prevalentes, utilizando el método Marshall para identificar sus propiedades y variaciones, con el fin de determinar los parámetros óptimos para el diseño del estudio.

Esta investigación aplicada se llevó a cabo con el objetivo de abordar un problema específico mediante la aplicación de diversas teorías existentes, utilizando un enfoque transversal no experimental. La variable independiente estudiada fue la integración del látex, un material natural, en la mezcla asfáltica, utilizando el método Marshall para diseñar y evaluar las características de la mezcla resultante.

Mediante la investigación se logró confirmar lo señalado por el ministerio de transporte en su plan de mantenimiento de vías y carreteras que, mediante los ensayos de laboratorio se, reseña permite precisar la temperatura, y cantidad óptima necesaria de los agregados a aplicar en la mezcla en función del proyecto requerido.

Al considerar las metodología de estudio y comparación de la mezcla modificada Edison Roman y Benny Reime en 2018, presentaron en su tesis de investigación, llamada "Análisis Del Comportamiento Físico Mecánico De Una Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Etileno Vinil Acetato (Eva) Frente A Una Mezcla Asfáltica Tradicional" para la universidad andina del cusco facultad de ingeniería y arquitectura escuela profesional de ingeniería civil en cusco – Perú, una metodología de estudio y comparación de las mezclas asfálticas buscando una mejora al agregar un componente modificador.

El propósito de la investigación fue explorar cómo la adición de polímeros EVA puede optimizar las propiedades físico-mecánicas en comparación con las mezclas asfálticas estándar. La hipótesis inicial se basó en la práctica habitual en la región de Cusco de utilizar mezclas asfálticas estándar con asfalto PEN 85/100. Este estudio proporciona una explicación detallada sobre la utilización del asfalto PEN 85/100 junto con los agregados extraídos de la cantera "Copesco", considerando las técnicas para la rehabilitación de carreteras, los procedimientos para la preparación de los agregados y las directrices para el diseño de mezclas asfálticas.

Basándonos en el modelo establecido, se procedió al desarrollo de dos tipos de mezclas: una estándar y otra alterada. Se efectuaron múltiples ensayos para asegurar la calidad de los componentes y del asfalto; entre estos, se determinó el límite líquido del terreno, se aplicó el test de abrasión de Los Ángeles (L.A.) para cuantificar el desgaste en los agregados y se calculó la proporción de fragmentos quebrados en el agregado grueso. Se empleó una técnica estándar para evaluar la penetración en materiales bituminosos y para estimar el valor equivalente de arena en suelos y agregados finos. Se llevaron a cabo estudios granulométricos para cada clase de agregado y ensayos en mezclas asfálticas tradicionales y

modificadas al calor. El procedimiento Marshall se utilizó para medir la fortaleza de las mezclas bituminosas, considerando su estabilidad, fluidez y los perjuicios ocasionados por la humedad. También se midió la resistencia de las mezclas ante el sulfato de sodio y magnesio, así como la densidad aparente y el volumen unitario al compactarlas en condiciones de saturación superficial seca. Se aplicó una técnica para manejar el volumen de huecos de aire, con el objetivo de calcular los valores teóricos máximos de peso y densidades de las mezclas bituminosas empleadas en pavimentaciones, realizando pruebas de resistencia en mezclas asfálticas compactadas para evaluar el impacto del daño por humedad, incluyendo la saturación y el acondicionamiento acelerado en agua, así como ciclos de congelación y descongelación.

La investigación reveló avances notables en la fortaleza de la mezcla asfáltica enriquecida con MAC tras la integración del polímero EVA, conforme a las evaluaciones realizadas usando el método Marshall. Se observó también que la mezcla asfáltica, una vez compactada, mostró una mayor resistencia al deterioro por humedad, lo que sugiere que la adición del polímero EVA contribuye positivamente a las cualidades físico-mecánicas de la misma.

En la disertación para la obtención de su grado académico en ingeniería civil, "Análisis Económico Técnico de la reparación de grietas en estructuras de concreto mediante el uso de Resina Epóxica y Membrana Líquida, Huancayo 2021", Vivanco (2021) exploró las ventajas y usos de las resinas epóxicas en la mejora de pavimentos, evidenciando su viabilidad para la restauración de grietas. La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado y un esquema cuasi-experimental sin límites poblacionales. Se examinaron 6 losas aligeradas y 9 prismas de concreto para evaluar su permeabilidad y fortaleza ante la flexión, mediante un muestreo no aleatorio. El objetivo fue determinar el impacto de la aplicación de resina epóxica y membrana líquida en la valoración técnica y económica de métodos para tratar fisuras en concreto, específicamente en Huancayo en el año 202. La conclusión destacó que la resina epóxica incrementa significativamente la resistencia a la flexión, demostrando su significativa influencia técnica.

Estos hallazgos permiten conocer la influencia y características de la aplicación de resinas epóxicas a los asfaltos y como estos permiten mejorar el desempeño y durabilidad de la reparación de mantos. Estableciendo para esta investigación como las variables de resina epóxica puede ser un cambio factible tanto funcional como económicamente para el análisis de función de mezclas asfálticas calientes, no solo en la reparación sino en el diseño y aplicación de mezclas más específicamente evaluando su comportamiento para el tramo de San Jerónimo.

En su investigación de maestría presentada en la Universidad de Piura, el investigador Darko Nesterenko examinó la implementación de técnicas de estabilización de suelos con polímeros en Perú, titulada "Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú" en 2018. En su estudio, Nesterenko destacó el creciente interés en la última década por el uso de polímeros para estabilizar suelos, debido a su capacidad para mejorar la reutilización del suelo, proporcionando una estabilización efectiva y duradera, minimizando las fisuras por contracción y extendiendo su vida útil. A pesar de los beneficios, se identificó una falta de métodos o técnicas estandarizadas en las regulaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú para la aplicación de polímeros. Por ello, los fabricantes sugieren adoptar un método constructivo desarrollado en Australia, que difiere de las prácticas habituales en proyectos viales peruanos y que ha demostrado ser más eficiente en términos de rendimiento estructural, resultando en una estabilización superior del suelo.

Ante la urgencia presentada, se diseñó una metodología para la estabilización de terrenos utilizando polímeros, adaptada a las condiciones específicas de Perú. El objetivo fue establecer los parámetros estructurales de muestras de terreno obtenidas de construcciones de infraestructura vial en el país. Para precisar las técnicas y el método de construcción para la estabilización del suelo con poliacrilamida (PAM), la investigación se llevó a cabo en diversas ciudades como Chiclayo, Cajamarca, Huánuco, Pasco y Pucallpa, haciendo uso de varias técnicas, procesos y equipos que permitieron el detalle de la información, además fue necesaria una planificación por etapas de las actividades desarrolladas en el tiempo de la estabilización de suelos, algunas pruebas realizadas se basaron en

los niveles de consistencia, espesores, relación humedad – densidad, granulometría que verifican la estructura y los parámetros tradicionales del pavimento para luego comparar las pruebas que usaron elementos estabilizadores concluyendo que hubo mejorar en la superficies del suelo en cuanto a resistencia, erosión, colapso, fragmentación, y corte.

Por otro lado, es importante tener conceptos teóricos concernientes a mezclas asfálticas, asfalto y agregados minerales, así como pavimento en general.

El asfalto es un material aglutinante por lo que (Alfonso, 2002) establece que la pávimentacion asfáltica se prepare de manera comercial en cinco tipos y diferentes grados de uniformidad, los cuales están definidos mediante una prueba de laboratorio llamada ensayo de penetración:

Los tipos de cemento asfáltico son:

- AC 40/50: cemento asfáltico con penetración entre 40 y 50 décimas de milímetro.
- AC 60/70: cemento asfáltico con penetración entre 60 y 70 décimas de milímetro.
- AC 85/100: cemento asfáltico con penetración entre 85 y 100 décimas de milímetro.
- AC 120/150: cemento asfáltico con penetración entre 120 y 150 décimas de milímetro.
- AC 200/300: cemento asfáltico con penetración entre 200 y 300 décimas de milímetro.

Propiedades físicas del asfalto		
Propiedades físicas	Propiedades de la prueba Penetración (25 C, 0,1 mm)	Valores medidos
		77
	Punto de reblandecimiento (°C)	45.9
	Ductilidad (15 °C, cm)	118

	Ductilidad (5° C, cm)	13.4
	Viscosidad (135 °C, mPa s)	500
Composición química (% en peso)	Saturados	23.24
	Arómaticos	32.17
	Resinas	33.86
	Asphaltenos	10.73

Fuente: Peiliang Cong, Shanfa Chen, Jianying Yu. (2010)

En complemento se tiene que el (Instituto Mexicano de transportes, 2005) especifica que la mezcla asfáltica en caliente se tipifica así, puesto que ambos compuestos, el agregado pétreo, como el asfalto requieren ser introducidos a una temperatura elevada para que sus propiedades se calienten a nivel adecuado y la viscosidad que proporcione contribuya al espesor y calidad de la pavimentación.

Según Garnica, H., Gómez, S., & H. (2004), el ingeniero Bruce G. Marshall, miembro del departamento de transporte de Mississippi en EE. UU., contribuyó significativamente al avance de la infraestructura vial. A través de un detallado análisis correlacional, Marshall no solo perfeccionó, sino que también incorporó características adicionales al método de prueba Marshall. Este enfoque, destinado a la producción de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC), ha establecido criterios fundamentales que son considerados actualmente en la mayoría de las regulaciones viales aplicables localmente.

La transformación de mezclas asfálticas se realiza con el objetivo de tener un impacto a favor e inspeccionar las propiedades y comportamiento de la mezcla resultante. Carranza (2020), destaca que la incorporación de modificadores en las composiciones asfálticas mejora la durabilidad del pavimento y reduce la aparición de problemas, gracias a una mejorada unión interfacial entre los agregados y el material bituminoso. Esta interacción optimizada contribuye a un desempeño extendido y más eficiente de las superficies pavimentadas, características que se mantiene aún con la presencia de agua. Otro beneficio que resalta consiste en mayor soporte a la deformación y desprendimiento del pavimento por la tensión repetitiva lo que resulto en una apreciable reducción del agrietamiento y un aumento en la resistencia a las altas concentraciones de

temperatura. Los actores modificadores son 8, incorporados al material bituminoso en forma directa durante diseño para mejorar las propiedades y el comportamiento de la misma.

La técnica inicial desarrollada por Marshall se limita exclusivamente al uso en mezclas asfálticas para pavimentos que incorporen agregados de hasta 25 mm en su composición. Posteriormente, se ajustó para ser aplicable a mezclas con partículas de hasta 38 mm. Esta metodología se fundamenta en la realización de ensayos de laboratorio y la supervisión en sitio de mezclas asfálticas de granulometría densa. Puesto que el parámetro de estabilidad posee esencia experimental, relevancia a los resultados para considerar como se desenvolverá la mezcla en campo, debido a que se pierde al realizar cambios a los procedimientos estándar.

Para implementar con éxito una formulación alterada que satisfaga los estándares vigentes, es imprescindible comprender los elementos que afectan la composición y el comportamiento de la mezcla. Los aspectos cruciales incluyen la calidad del cemento asfáltico, la proporción de asfalto en la mezcla, la cantidad de huecos, la presencia de materiales finos, la granulometría y la textura superficial. Por huecos, se entiende los intersticios de aire entre las partículas de los agregados en una mezcla asfáltica densificada. El volumen de vacíos en una mezcla bituminosa es una de las especificaciones en los métodos de diseño que amerita ser evaluada en el asfalto compactado durante las obras de pavimentación, puesto que su influencia en el comportamiento de la mezcla permite determinar su factibilidad para el diseño. Según los estudios del (Instituto Mexicano de transportes, 2005) en su caracterización geomecánica, en consecuencia la proporción de vacíos en las mezclas asfálticas determinara la calidad, apariencia y el grado de durabilidad del pavimento, a menor proporción de vacíos mejor espesor duradero, sucede lo contrario con porcentajes de vacíos menores al mínimo especificado.

Al momento de realizar el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, es necesario realizar las pruebas según la metodología de Marshal, la cual contempla que dos de las atributos básicos en el diseño de mezclas

asfálticas son la estabilidad y el flujo, definiendo la estabilidad según (Rondón & Reyes, 2015) como la habilidad de lograr las propiedades deseadas para evitar las deformaciones y la baja resistencia causadas por la repetida cargas de tránsito, por lo que, un pavimento firme no presenta gran variación ante las diversas condiciones al que se expone, en cambio un pavimento con tendencia a la falla, presenta deformaciones y otras anomalías, tales como el ahuecamiento y deformaciones transversales.

La evaluación de estabilidad de Marshall se establece al momento en que la muestra falla a 60° C, manifestándose mediante la fuerza máxima en newtons (N) requerida (Mamani, 2016). Por otro lado, el índice de flujo denota la aptitud o la respuesta de la mezcla ante las deformaciones, cuantificadas en fracciones de 0.25 mm, que se presentan en las muestras sometidas a prueba tanto en ausencia de carga como en el instante de aplicar la carga máxima durante el ensayo de estabilidad.

Para acotar las propiedades físicas más relevantes en el estudio de las mezclas se tienen:

Durabilidad, hace referencia a la propiedad de resistencia del pavimento a los efectos perjudiciales de mayor magnitud que pueden provocar el deterioro del asfalto, desintegración del agregado y separación de la película. Esto determina que una mezcla asfáltica ideal no sufrirá daños o envejecimientos prematuros en su periodo útil. Características a considerar para el adecuado espesor de la película de asfalto, y el porcentaje máximo de los vacíos de aire. (Instituto Mexicano de transportes, 2005)

Por otra parte (Loría, 2003) presenta la fatiga como la resistencia a la fuerza ejercida repetidamente en la cargas de tránsito que ocasionan el envejecimiento del pavimento se relacionan directamente con la vida útil del mismo, aspecto importante para el diseño estructural de un pavimento y el desarrollo adecuado del análisis financiero.

Como material complementario a la mezcla asfáltica que se utilizó en esta investigación se encuentra la resina epóxica (Jaraillo, Morales, Betancur, Cruz,

&Piedad, 2004) Las resinas epóxicas son polímeros termoestables que para realizar el cambio de fase de su estado líquido a sólido requiere de un endurecedor o catalizador. La resina epóxica tradicionalmente más usada se origina de la mezcla de Bisfenol A y epiclora-hidrina, Aunque su procedimiento mecánico, químico y térmico está limitado por la evolución de su proceso de curado, esta se emplea ampliamente en el sector industrial puesto que brinda diversas posibilidades para recubrir superficies.

(Llena, 1996) Expone que las resinas son la respuesta de la reacción entre una base epoxi y un endurecedor que se basan en anhídrido o una sustancia amónica. El resultado de este proceso reactivo se da el aumento del tamaño de las moléculas que se van formando y cuyo crecimiento da como resultado un material rígido, este proceso es denominado como curado.

La razón por la que las resinas epóxicas sean tan utilizadas en la formación de materiales compuestos se debe a que poseen propiedades mecánicas, térmicas y de recubrimiento de excelentes condiciones y facilidad de procesado que muchos otros. Para el caso de las resinas epóxicas termoestables se consideran de forma general como materiales de baja tolerancia ante fuerzas que fueron robustecidos o cruzados adicionando hules reactivos o termoplásticos de alto rendimiento previo a su protocolo de madurado para lograr mejorar su dureza mientras se mantienen las características deseadas como la temperatura de transición vítrea y la rigidez. Dependiendo de la aplicación específica del material es de suma importancia mantener un balance adecuado entre sus propiedades térmicas o mecánicas, que pueden verse afectadas según la naturaleza concentración y distribución del material adicionado a la resina epóxica. (Alonzo, 2012).

Propiedades físicas convencionales de la mezcla de asfalto epoxi.

Propiedades	Mezclas de asfalto epoxi con diferentes contenidos de resina epoxi			
	0 wt %	20 wt %	35 wt %	50 wt %
Vacíos en el agregado mineral	13.7	13.7	13.9	13.8

(%)				
Vacíos rellenos con asfalto (%)	83.9	83.2	84.9	84.1
Vacío de aire (%)	2.2	2.3	2.1	2.2
Estabilidad Marshall (kN)	10.8	23,4	32,2	53,9
Flujo (0,1 mm)	48	39	23	16
Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	0,83	1,98	2,85	4,6
Pérdida de estabilidad Marshall (%)	14,3	12,8	9,8	9,6
Pérdida de resistencia a la tracción indirecta (%)	11,5	11,2	10,9	10,8
Surcos Estabilidad dinámica (ciclos/mm)	718	10.264	27.391	30.216
Deflexión máxima (mm)	6,8	2,6	0,248	0,247

Peiliang Cong, Shanfa Chen, Jianying Yu. (2010)

De todo lo tratado anteriormente en la investigación se basará también en el manual de ensayos de materiales propuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones el cual entiende que el método Marshall tiene el propósito de precisar la deformación plástica mediante la compresión, haciendo uso del martillo Marshall, con probetas normadas de 64mm de altura y de 103 mm de diámetro.

Para lograr un estudio completo de la aplicación de Mac según el método de Marshall es necesario conocer las características de los suelos y como se ha de trabajar con estos, para el caso de esta investigación es relevante tomar en cuenta el concepto de estabilidad de los suelos según el (Ministerio De Transporte y comunicaciones del Perú, 2014) que la definen como un proceso de estabilización y mejora de las características físicas presentes mediante la incorporación de mecanismos, procedimientos productos químicos, naturales o

sintéticos que contribuyan a la mejora en las cualidades de los suelos, resistencia, durabilidad y nivel de vida.

Es más común que estas estabilizaciones se realicen en los suelos de altos porcentajes de sustancias orgánicas y que carecen de condiciones adecuadas, empleando métodos como estabilización suelo asfalto, suelo cal, suelo cemento y otros productos diversos. Por otra parte, se realizan estabilizaciones mixtas, o de sub-base granular para obtener mejores características del suelo y alta calidad, que permita mayor resistencia y durabilidad de la superficie generalmente se realizan con cemento, con cal o con asfalto, entre otros.

Para comenzar con la elaboración de la mezcla asfáltica, en consonancia a esto Luque (2019, p.45), la calidad de una mezcla asfáltica depende de la granulometría de los agregados. El MTC EG-2013 (2013, p.561) menciona tres tipos de mezclas: MAC-1, MAC-2 y MAC-3, y establece márgenes de control para determinar el porcentaje óptimo de asfalto. Para este estudio, se seleccionó la categoría MAC-1, adecuada para un flujo vehicular pesado. Se compactó la muestra cilíndrica con 75 golpes por cara, se requiere una estabilidad mínima de 8.15 Kn y el flujo está relacionado con (0.25mm) (0.01"). Los porcentajes de vacíos y VFA deben estar entre el 3% y 5% y entre el 65% y 75%, respectivamente. El porcentaje de VMA está sujeto a la cantidad de vacíos de aire y al tamaño máximo de partícula nominal según la norma MTC E 504 (MTC, 2016).

II.- METODOLOGÍA

Enfoque de investigación:

El enfoque utilizado es cuantitativo, este se basa en la recolección de datos para justificar una hipótesis formulada previamente a través de la medición estadística y procesos matemáticos, con el objeto de establecer con precisión guías de comportamiento y demostrar teorías. Se caracteriza por recopilar a partir de distintos métodos y técnicas datos de diferentes teorías que tengan estrecha relación con la variable, y ello comprende cuadros estadísticos herramientas de programas (Hernandez, 2014). Para esta investigación se aplicó el análisis de datos y gráficos medidos por estudios previos y se ejecutó un análisis comparativo de los resultados adquiridos durante distintas condiciones, infiriendo su aplicación a las condiciones actuales según los manuales estudiados.

Tipo de investigación:

El presente estudio se define como de tipo aplicada, (Lozada, 2014) explica que la investigación aplicada es aquella que busca resolver directamente un problema de interés social centrados en la consolidación y aplicación del conocimiento a partir de los resultado obtenidos. Orientada a resolver de forma satisfactoria los problemas prácticos. Proporcionar una innovación o perfeccionamiento de objetos existentes. Tomando así la estructura de usar las teorías propuestas en cuanto al rendimiento de las mezclas asfálticas calientes modificadas con resina epóxica y el estudio de sus características y aplicaciones expuestas en el marco teórico para traer propuestas y soluciones de valor al proyecto del tramo de la vía en San Jerónimo.

Nivel de investigación:

El nivel de esta investigación es correlacional, el cual es un tipo de estudio que consiste en someter a dos o más conceptos, categorías o variables a una evaluación para observar la relación que existe (en un contexto en particular). Dichos vínculos se declaran en hipótesis sometidas a prueba (Hernandez, 2014). Por lo que se identifican las variables como las caracterizaciones de la mezcla asfáltica y el agregado de resina epóxica como los conceptos relacionados, mediante los cuales se busca llegar a una conclusión satisfactoria.

También se identifica como de nivel explicativo, según (Arias, 2006) este tipo de investigación busca darle una respuesta, un “porqué” a los eventos observados por medio del establecimiento de las relaciones de causa y efecto en los ensayos. Según esto, la investigación explicativa puede darle sentido a las causas de un fenómeno como de los efectos que este provoca, orientado hacia la investigación experimental. Esto se logra mediante el estudio de la hipótesis.

Diseño de la investigación

Se trata de un estudio de carácter experimental que, según Arias (2006), implica la modificación de las circunstancias, incentivos o intervenciones (variable independiente) aplicadas al sujeto de análisis, con el propósito de examinar y establecer las consecuencias que se derivan de dicha modificación (variable dependiente).

La investigación también se clasifica como cuasi-experimental, (Fernández-García, 2014) la cual consiste en manipular alguna variable con el objeto de comprobar la hipótesis formuladas.

Para esta investigación se determina como variable independiente el agregado de resina epóxica, mientras que la mezcla asfáltica y sus propiedades físico-mecánicas son la variable dependiente de este cambio.

La definición clásica de variable “hace referencia a todo dato que se recolecta, presenta características o aspectos que pueden variar y medirse con la finalidad de dar respuesta a las incógnitas planteadas” (Hernandez, 2014). Aunado a esto, (Espinoza, 2018) señala que sus atributos son sensibles al ser medidos y adoptan valores con cambios constantes. Es decir, una variable son los aspectos estudiados que permite precisar detalles no percibidos entre un delimitado grupo. Se entiende por tanto que las variables son los elementos dentro de la investigación sujetos a cambios y que alteran directamente los resultados.

Para el caso del análisis de las propiedades del comportamiento físico-mecánico de Mac, modificadas con resina epóxica para mejorar sus propiedades se

identifican dos variables centrales, la mezcla asfáltica como tal y los agregados de resina epóxica.

(Espinoza, 2018) Concluye que las variables independientes se refieren a las cualidades y aspectos específicos del objeto. Se establece como independiente debido a que generalmente es más importante que otras variables. Es decir, en sí misma la variable independiente no se verá afectada por otros cambios en el sistema de la investigación, mientras que la modificación activa de esta causara el cambio a su vez en los resultados obtenidos, esta variable es la que se manipula de forma medida hasta obtener el resultado deseado por la investigación. Basado en ello se define la integración de resinas epóxicas a la Mezcla asfáltica como la variable independiente de esta investigación, siendo el compuesto que dará a la mezcla asfáltica las características deseadas.

Así mismo la variable dependiente se define según (Espinoza, 2018) como aquella que su contexto depende por la variable independiente, es la variable que su comportamiento varía según los diferentes factores o estímulos que surgen de la variable independiente. Una variable dependiente es por tanto esa que sufrió el cambio según se manipule la variable independiente, para este estudio la variable dependiente se define como la mezcla asfáltica caliente, cuyas características y diseño fue modificadas al introducir en distintas cantidades la resina epóxica hasta lograr una mezcla optimizada según las necesidades de la investigación.

Otra forma de clasificar las variables es de acuerdo a su naturaleza; Las variables pueden ser cuantitativas o cualitativas con base a los criterios de categorización. Se definen como variables cuantitativas aquellas que permiten ser expresadas a través de cifras, cantidades o medidas que otorgan resultados con valor numérico (Espinoza, 2018). O cualitativas, se representan a través de palabras, expresan cualidades o características de un sujeto u objeto en referencia y cuya representación no es medida en número. Según estos conceptos se contemplan variables puramente cualitativas siendo que existen parámetros físicos y químicos medibles y cuantificables para conocer y analizar las propiedades de las mezclas asfáltica en caliente modificada con resinas epóxicas.

Para (Espinoza, 2018) el proceso de operacionalizar una variable se realiza con el objetivo de que un concepto abstracto, no muy claro, se vuelva empírico es decir, que sea posible medirlo a través de la aplicación de un instrumento. Resalta que la importancia de la operacionalización radica en tener la seguridad de la relevancia de la variable y que su método de medida guarde una relación acertada dentro de la investigación. La fiabilidad de los resultados se consigue de una buena estructura para la concepción de sus variables.

Partiendo de esto se entiende que operacionalizar las variables es hacerlas medibles, para esta investigación se analizan los parámetros físico- mecánicos de la Mezcla asfáltica caliente con agregados de resina epóxica, cuyas medidas y variaciones serán los resultados de la operacionalización de variables. Durante esta investigación se estudiaron y expresaron los conceptos que definen las dosificaciones y la influencia que expresa el aditivo en la mezcla final.

Se entiende como el instrumento mediante el cual se expresan los valores medidos al manipular las variables. En el caso de esta investigación se estudian variables cuantitativas por lo tanto pueden aplicarse las escalas de intervalo, en los cuales los datos poseen diferencia de valores reales y son cuantificable debido a que poseen una unidad de medida. Sus datos se caracterizan por arrojar continuamente valor numérico, donde el cero no representa la ausencia de la cualidad que se evalúa (Anderson, 2016). Sin embargo, no se limita a esta clase de escala, la investigación admite escalas de tipo nominales y de intervalo.

La población en palabras de Hernández (2014) se refiere a la cantidad específica que formara el foco, referente o fenómeno a investigar, en el cual todos sus componentes guardan una característica en común que se desea estudiar, esta dio origen a los antecedentes de la investigación. Para el presente estudio se considera como población a las mezclas asfálticas calientes para determinar las variaciones físicas y mecánicas en su composición cuando se introduce el agente de modificación.

En este orden de ideas, Hernández (2014) añadió que, la muestra está representada por una parte seleccionada del universo o población de la cual se

recopilan los datos y representa un reflejo fiel de los valores de ésta. Para la investigación, las muestras consistieron en las mezclas asfálticas mejoradas al 5% 10% 15%.

Para (Arias, 2006) las técnicas de recolección de datos son "son las técnicas e instrumentos confiables empleados para recabar datos, que luego fueron analizado en busca de la información útil que ayude a dar solución al objetivo planteado". A partir de este concepto se seleccionó la técnica de recolección para esta investigación como de carácter documental, pues esta se conoce como una serie de mecanismos, técnicas en instrumentos que busca recabar, almacenar y medir la información de manera organizada, en primera instancia para mejor percepción de la información que se busca alcanzar, como segunda instancia, presentada de forma sistemática, coherente y suficientemente argumentada en un documento científico (Tancara, 1993).

En cuanto a la validez de esta técnica, se entiende validez como el nivel en que un instrumento en verdad mide la variable que se busca medir. (Hernandez, 2014) La validez de los medios seleccionados radica en que está realmente refleje los valores necesarios para dar respaldo a la investigación de forma que los resultados sean satisfactorios en cuanto al comportamiento de las variables. Según el método seleccionado se busca dar apoyo a la investigación siguiendo una serie de procesos en los que se analizan y realiza una comparación de datos recopilados durante investigaciones previas que exponen los atributos y ventajas de la mezcla asfáltica modificada con resina de forma que a su vez se tiene una medida de control sobre el resultado esperado de la mezcla dentro de los parámetros que se consideran satisfactorios.

La confiabilidad se define como el "nivel en que un instrumento genera resultados uniformes y consistentes" (Hernández, 2014). Este concepto es fundamental en la investigación, ya que evalúa la precisión y fiabilidad de un instrumento de recopilación de datos, asegurando que produzca los mismos resultados cuando se aplique repetidamente a un mismo sujeto o elemento. La confiabilidad es la habilidad que posee un instrumento de reproducir resultados iguales, consistentes

en el tiempo bajo las mismas condiciones y con los mismos sujetos. Para esta investigación se tomaron los resultados de laboratorio obtenidos de las mezclas modificadas como técnica de recolección de datos, y así evaluar las variables verificadas por juicios de expertos y según parámetros dentro de los manuales establecidos.

Para obtener estos resultados se utiliza una herramienta de medición, el cual es un medio que emplea el investigador para la recolección de información o datos relacionados a las variables puntualizadas (Hernandez, 2014). Para realizar la medición, el instrumento que se aplica son fichas de recolección y observación de datos en las cuales se registra los resultados que se observaran en la mezcla asfáltica, según las pruebas establecidas como lo son estabilidad de Marshall, propiedades físicas, ensayos de Marshall y todos los pertinentes para la comparación de datos propios. Bostwick y Kyte (2005) destacan que la función de la medición es establecer la recolección de los datos directamente de la realidad, en relación de lo conceptual. El primer instrumento proporciona verdadera certeza sobre los datos, el segundo sirve como sustento teórico para entender una porción de la realidad que se intenta describir. Por ello se da la validez y confiabilidad del instrumento que determinan los parámetros exactos de las características determinantes de la mezcla modificada.

Recolección de los materiales a emplear y trasladado al laboratorio

Se realizó primeramente una investigación documental, aplicando un método de selección y descarte basado en buscar investigaciones previas que cumplieran con los requisitos de palabras clave, aportes y métodos significativos y coherentes con la presente investigación, en repositorios oficiales y mediante librerías académicas certificadas, siendo estas fuentes de confianza y con validez propia. Los aportes más significativos de esta investigación fueron resaltados y contextualizados para beneficio de esta investigación dentro del marco teórico, y se tomaron sus datos y aportes como base para obtener y medir los resultados propios.

Luego se procedió a recolectar el material necesario para las pruebas y diseño de la mezcla asfáltica en caliente y su traslado al laboratorio.

Los materiales que se consideraran para la ejecución de la presente investigación son los siguientes:

- Concreto pre mezclado seco de resistencia $f'c=210$ kg/cm² (Topex concreto fácil) de 40 kg x bls donde (50 bls para especímenes tipo losa aligerada y 10 bls para especímenes prismáticos reforzados)

- Ladrillo de techo de 0.30 x 0.30 x 0.12, para (especímenes tipo losa aligerada)

- Varillas acero de refuerzo de $\Phi 3/8$ " x 9 metros de longitud para (especímenes tipo losa aligerada)

- Varillas acero de refuerzo de $\Phi 1/4$ " x 9 metros de longitud para (especímenes tipo losa aligerada)

- Varillas acero de refuerzo de $\Phi 1/4$ " x 9 metros de longitud para (especímenes prismáticos reforzados)

- Aditivo resina epóxica (Sikadur 52.)

- Aditivo membrana líquida (Sikalastic 560)

- Sellador Sika Flex color blanco

- Otros como paneles de triplay de 18 mm, madera tornillo, alambre de amarre N° 8, clavos.

Se identificaron los materiales y componentes necesarios para producir una mezcla asfáltica que reúna las propiedades requeridas. Para ello, se utilizó el método Marshall, complementado con una serie de ensayos de laboratorio que determinaron las proporciones adecuadas para la correcta elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.

El método Marshall evalúa muestras de prueba con dimensiones de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro. El proceso de fabricación sigue una técnica

específica que incluye el calentamiento, unión y compactación de las mezclas de asfalto y agregados. Los factores clave en esta etapa son el análisis de vacíos-densidad, así como los parámetros de resistencia y flujo de las muestras comprimidas.

Pruebas físicas

Las pruebas físicas se realizaron a través de ensayos de laboratorio con el fin de medir y cuantificar de forma exacta las propiedades físicas presentadas por la mezcla modificada, y comprobar la hipótesis. Las pruebas aplicadas que permitieron caracterizar la mezcla asfáltica fueron flujo, granulometría y viscosidad.

El (Instituto Mexicano de transportes, 2005) propone que el diseño de una mezcla asfáltica parte de la selección de un tipo de granulometría y el tipo de agregado a emplear complementado por el tipo y contenido de asfalto, procurando obtener las características requeridas en la mezcla y se cumplan con las exigencias específicas del proyecto.

La prueba de flujo busca establecer un punto de equilibrio entre la flexibilidad y rigidez de la mezcla con el fin de obtener una mezcla trabajable, que sea posible su distribución uniforme mientras que posea la dureza y resistencia necesaria. En cuanto al diseño de mezcla modificada con resina epóxica, se determinó el flujo ideal mediante ensayos de laboratorio. El valor de flujo es la capacidad de la muestra para resistir la deformación, establecida en unidades de 0.25 mm que sucede al no poseer carga y cuando la carga se encuentra en su punto máximo mientras se realiza la prueba de estabilidad (Mamani, 2016).

A fin de determinar la granulometría de la mezcla asfáltica modificada se realizaron pruebas técnicas teniendo en cuenta que el diseño de la mezcla se debe adaptar al terreno seleccionado (tramo San Jerónimo) según las capas asfálticas del terreno, puesto que la grava puede ser de varios tipos y forma una mezcla con rocas de pequeño tamaño y diferentes texturas y su granulometría determinan el tipo de pavimento final según las necesidades del proyecto.

La viscosidad es una cualidad principal del asfalto, su consistencia se mide a una temperatura de 60°, de esta forma se cuantifica el impacto del calor en el material y así sugerir el nivel de temperatura durante la elaboración de la mezcla, lo cual determina su comportamiento en variaciones de temperatura. Esta prueba se realiza mediante la aplicación de un viscosímetro Saybolt-Furol quien cuenta con un agujero calibrado para este fin, este instrumento determina la consistencia o viscosidad de los productos provenientes de los materiales asfálticos a determinadas temperaturas. (Maylle, A. y Ávila, P., 2023)

Prueba de Marshall y mecánicas.

La combinación bituminosa se compone de agregados derivados del petróleo y material asfáltico, combinados en proporciones precisas. Cada uno de sus componentes es evaluado previamente de manera individual, siguiendo especificaciones técnicas, para luego analizar el comportamiento de la mezcla en su totalidad, conforme a su diseño y rendimiento esperado. (Labajos, G. y Saldaña, J., 2020).

La prueba de estabilidad de Marshall se define por la cantidad total de newtons (N) necesarios para provocar la falla de la probeta a 60°C durante el ensayo (Mamani, 2016). Esta prueba fue aplicada a la mezcla modificada con el propósito de determinar qué variación porcentual se ajusta mejor a los estándares deseados. Según Mamani (2016), "la prueba de estabilidad consiste en medir la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentarse durante un almacenamiento prolongado, lo que puede vincularse con una estimación del deterioro de la mezcla a lo largo del tiempo. "El siguiente análisis que se realizó es el ensayo para determinar el punto de ductilidad del residuo, que se refiere a la facultad y velocidad de deformación del asfalto antes de romperse, sometido a determinadas temperaturas. Se busca que la mezcla modificada presente una ductilidad que mejore sus efectos aglomerantes mientras que presente una buena resistencia a la distorsión. (Martínez Chávez, 2019)

Para el ensayo de penetración se realizó un estudio (MTC E 304), esto para estimar el comportamiento de la mezcla posteriormente a su periodo de

caducidad, para esto se calcula la inserción a 25 °C del asfalto acondicionado y se medirá las cualidades de los materiales desde el valor de inicio de penetración. Los datos obtenidos del estudio permitieron clasificar las mezclas y determinar cual tuvo los valores ideales. (Ayunque, 2022)

La prueba de inmersión compresión de asfalto se realizó para determinar si hay pérdida de resistencia a causa del agua. Este ensayo consistió en repartir la mezcla en distintos cilindros, una parte se evalúa a una temperatura de 25°, mientras que las otras se sumergen en agua a 60°por 24 y luego de esto se sumerge en agua a 25° para estabilizarla por dos horas. En seguida se seca la superficie del espécimen y analiza en compresión a una temperatura estándar de 25°. Esta prueba de compresión se realiza en una maquina servo-hidráulica normalizada. (Serrano, O. y Villanueva, J., 2022)

Y por último se aplicó a las muestras el ensayo de dureza aplicando el método de Brinel, este estudio se realiza con una máquina que ejerce una presión constante a una bola de carburo de tungsteno sobre la prueba, para medir el diámetro de la impresión y luego se verifica por medio de un sistema óptico especializado, de acuerdo a el tamaño de este se cuantifica según parámetros establecidos los valores en la escala. (Perea, J. y Campuzano, L. , 2024)

En seguida finalizada la fase de recolección, se pasó a interpretar estos datos, dándole sentido a toda la información de forma que solo lo más relevante sea seleccionado para el estudio. Una vez seleccionado los datos se evaluó la mezcla asfáltica en caliente según los estudios pasados y Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, con el fin de comprobar los beneficios que aportan las resinas epóxicas como ligante en las Mezclas asfálticas en caliente.

Para esto es necesario realizar una serie de ensayos que permitan determinar si las características de la mezcla modificada cumplen con los parámetros esperados y si estos satisfacen la propuesta de la investigación. Además, es preciso determinar la factibilidad en los suelos del tramo seleccionado y su estabilidad previa. Todo esto se realizó mediante sistemas de medición, equipos de laboratorio y comparación de datos obtenidos.

A fin de evaluar los datos se empleó el software Excel como instrumento en la recolección, procesamiento y análisis. Es una herramienta ofimática que permite procesar cantidad de información sea texto o numérica de una forma más sencilla y practica gracias a sus amplias funciones.

Los aspectos éticos buscan suministrar directrices que proporcionen valor y comprensión a la investigación, en función de la resolución de un problema sin causar agravios. Por lo tanto, en esta investigación se utiliza el estilo de referencia APA para proporcionar mayor credibilidad a sus autores, además de avalar el contenido y calidad de la investigación mediante un software de detección llamado turnitin se busca evitar la similitud de esta investigación con otras y así garantizar la originalidad. Esta investigación se desarrolla con los objetivos de aportar valor de forma honesta y solidaria con el fin de dejar una base sólida para la mejora general de las propiedades y construcciones que emplean las mezclas asfálticas como materia principal.

También se considerarán los reglamentos y lineamientos presentes en el manual de carreteras, suelos y geología del Ministerio De Transporte y comunicaciones del Perú, para el desarrollo de la mezcla y se aplicaran sus estandares para los valores ideales de la mezcla asfaltica diseñada.

III.- RESULTADOS

Diseño de las mezclas asfálticas

Mezcla asfáltica tradicional

Para efectuar la estructura de la mezcla asfáltica, se tomó una muestra de la carpeta de rodadura existente en una de las vías de circulación de San Jerónimo, tal y como se encuentra en su estado normal.

La muestra de la carpeta de rodadura se tiene con la intención de constituir un grupo control básico, con el que se puedan contrastar los valores resultantes de las propiedades físicas mecánicas, con una mezcla modificada con resina epoxi. En este sentido, se describe el siguiente procedimiento con el cual, se obtuvieron las muestras que, les fueron aplicadas los ensayos realizados.

- Es necesario en primera fase, estabilizar la muestra de los especímenes empleados, para lograr su compactación, usando para ello un contenedor cerrado, colocado en un horno por dos horas.
- El espécimen se compacta a razón de una proporción de aire equivalente a $7 \pm 1\%$, lo que se logró ajustando la carga estática por medio del empleo de un émbolo doble, así como de la cantidad de giros exigidos en la ejecución de la prueba de compactación de Marshall.
- Los especímenes después de compactados, se deben dejar reposar a temperatura ambiente, para extraer las muestras del molde en un lapso inmediato de 24hrs, para continuar con los siguientes procesos experimentales.
- Se determina la gravedad específica de la mezcla
- Se establece la altura de los especímenes de trabajo
- Se debe determinar la gravedad específica de bulk de los especímenes de trabajo, indicando su valor en centímetros cúbicos cm^3

- Se determinar el porcentaje de vacíos de los especímenes.
- Se clasifican los especímenes para que, el promedio de vacíos sea los más cercanos al promedio de todas las muestras de trabajo. Éstas se guardan a una temperatura ambiente para posteriormente, ser probadas en ambientes secos.
- Las muestras se saturan parcialmente con agua destilada en temperaturas de 25°.
- Para efectuar la prueba de vacío a la muestra saturada, se aplica una presión equivalente a 525 mm Hg en un lapso de cinco minutos.
- Es necesario hallar el volumen del espécimen saturado parcialmente, en conjunto con el volumen de agua absorbida.
- Se expresa el nivel de saturación del espécimen considerando un grado de vacío ligeramente superior, cuyo valor deberá encontrarse entre 55% y 80% de saturación; para especímenes que alcanzaron saturaciones por encima del 80%, debieron descartarse por daños de las propiedades de la muestra.
- Los especímenes fueron acondicionados mediante inmersión en agua destilada en 24 horas.
- La temperatura de los especímenes fue ajustados y calculado su volumen posteriormente.
- Se procedió a determinar la proporción de agua absorbida por la muestra.
- La expansión de los especímenes saturados se determinó, así como en la situación del acondicionamiento, expresándose en porcentaje.
- De igual manera, se ajustó la temperatura del subgrupo colocando los especímenes en agua en 25° durante 20 minutos.

- Los especímenes fueron sometidos a la prueba de carga, aplicando fuerza vertical y evaluando la deformación de la misma, a una razón de 50 mm/min.
- 1) La mezcla asfáltica se preparó considerando una muestra de asfalto normal, a la que se incorporó proporciones de resina epóxica, desarrollando técnicas normadas para calentar, compactar y unir la preparación del asfalto modificado; en este sentido, se advierte la Figura 1 en la que se observa la preparación de la mezcla asfáltica y el proceso de involucrado.

Figura 1 Preparación de mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las fases experimentales

Esta mezcla se diseña de acuerdo a las normas vigentes y estará establecida de acuerdo a los parámetros y resultados de laboratorios ya establecidos y así ahorrar costo de laboratorio y materiales.

Con el propósito de evaluar el diseño mezclas asfálticas en caliente, se realizaron los ensayos explicados en la Norma MTC E 504, obteniendo con ellos, los resultados para las propiedades de, flujo, estabilidad, factor de rigidez, vacíos, comparando las propiedades de las mezclas modificadas con la mezcla tradicional, en un inicio al 5% de proporción de resina (Tabla 1).

Tabla 1 Valores de diseño de la mezcla asfáltica al 5%

Descripción	Unidad	Mín	Máx	Teórico	Verificación/ Diseño	Verificación/ Diseño	Verificación/ Diseño	Promedio	Observaciones
Piedra chancada	%			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	
Arena chancada	%			42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	
Arena zarandeada	%			32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	
Cemento asfáltico	%			5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	Pen 60-70
Peso específico	kg/c m3	--	--	2,38	2,37	2,36	2,36	2,36	
Vacíos	%	3,00	5,00	3,90	4,30	4,00	4,20	4,20	Cumple
VMA	%	14,00	--	17,20	17,50	17,70	17,70	17,60	Cumple
Flujo	mm	2,00	3,56	3,64	3,56	3,47	3,47	3,50	Cumple
Estabilidad	Kg	815,00	--	1302,00	1292,00	1278,00	1304,00	1291,00	Cumple
Factor de rigidez	kg/c m	1700,00	4000,00	3605,00	3632,00	3688,00	3759,00	3693,00	Cumple
Índice de compactibilidad	%	5,00	---	---	6,60	6,67	6,70	6,60	Cumple

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las especificaciones de la Norma MTC E 504

De acuerdo con lo explicado en la Tabla 1, la mezcla con resina epoxi al 5%, cumple con los criterios de, vacíos, VMA, flujo, estabilidad, factor de rigidez e índice de compatibilidad. Es así como se presenta los valores correspondientes a la mezcla asfáltica con un agregado de resina al 10% (Tabla 2).

Tabla 2 Valores de la mezcla asfáltica al 10%

Descripción	Unidad	Mín	Máx	Teórico	Verificación/ Diseño	Verificación/ Diseño	Verificación/ Diseño	Promedio	Observaciones
Piedra chancada	%			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	
Arena chancada	%			42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	
Arena zarandeada	%			32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	

a									
Cemento asfáltico	%			10,00	10,02	10,10	10,12	10,08	Pen 60-70
Peso específico	kg/c m3	--	--	5,66	5,62	5,57	5,57	5,59	
Vacíos	%	3,00	5,00	3,90	4,90	4,92	4,86	4,89	Cumple
VMA	%	14,00	--	17,20	18,12	18,17	18,20	18,16	Cumple
Flujo	mm	2,00	3,56	3,64	2,50	2,30	2,70	2,50	Cumple
Estabilidad	Kg	815,0 0	--	1302, 00	2234,00	2891,00	2657,00	2594,0 0	Cumple
Factor de rigidez	kg/c m	1700, 00	4000, 00	3605, 00	8936,00	12569,57	9840,74	10448, 77	No cumple
Índice de compactibilidad	%	5,00	---	---	3,70	3,69	3,74	3,71	No cumple

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las especificaciones de la Norma MTC E 504

Según lo especificado en la Tabla 2, la mezcla asfáltica con un agregado del 10% de resina, cumple con los criterios de vacíos, VMA, Estabilidad y flujo, sin embargo, esta muestra no cumple con los valores normados por factor de rigidez e índice de compatibilidad.

La Tabla 3 resume la composición de la mezcla asfáltica con un agregado del 15% de resina epoxi.

Tabla 3 Valores de la mezcla asfáltica al 15%

Descripción	Unidad	Mín	Máx	Teórico	Verificación/ Diseño	Verificación/ Diseño	Verificación/ Diseño	Promedio	Observaciones
Piedra chancada	%			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	
Arena chancada	%			42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	
Arena zarandeada	%			32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	
Cemento asfáltico	%			15,00	15,12	15,15	15,16	15,14	Pen 60-70
Peso específico	kg/c m3	--	--	32,04	31,58	31,02	31,02	31,21	
Vacíos	%	3,00	5,00	5,20	5,20	5,21	5,25	5,22	Cumple
VMA	%	14,00	--	17,20	20,32	20,35	20,38	20,35	Cumple
Flujo	mm	2,00	3,56	3,64	1,20	0,90	1,00	1,03	No cumple

Estabilidad	Kg	815,00	--	1302,00	2844,00	3358,00	3116,00	3106,00	Cumple
Factor de rigidez	kg/cm	1700,00	4000,00	3605,00	23700,00	37311,11	31160,00	30723,70	No cumple
Índice de compactibilidad	%	5,00	---	---	3,91	3,91	3,88	3,90	No cumple

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las especificaciones de la Norma MTC E 504

Lo descrito en la Tabla 3 advierte que, la mezcla con 15% de resina epoxi, logra cumplir con los criterios esperados de vacío, VMA y estabilidad, caso contrario con el flujo, factor de rigidez e índice de compatibilidad.

mezclas asfálticas modificadas

Para diseñar mezclas asfálticas en caliente según el método Marshall, es necesario agregar la resina epóxica a diferentes porcentajes, realizando varios ensayos en laboratorio y considerando los agregados que debe llevar dicha mezcla, para poder cumplir con las exigencias normativas de granulometría, indicando para ello, la proporción de grava triturada, arena triturada y la arena zarandeada. En efecto, para la conformación de la muestra, se consideraron los valores de diseño mínimo que, se tienen en la Tabla 2 para una concentración de 5% de resina epoxi.

Tabla 4 Agregados de la mezcla asfáltica al 5%

Observaciones	Dosificación	%Diseño	%Mezcla
Grava triturada 3/4"		26	39,98
Arena triturada 3/8"		42	54,2
Arena Zarandeada 3/8"		32	5,82

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las especificaciones de la Norma MTC E 504.

La Tabla 4 indica que, para conformar la mezcla asfáltica caliente con 5% de resina epoxi, los agregados deben presentarse en la siguiente proporción 39,98%

de grava triturada en un tamiz de $\frac{3}{4}$ ", 54,2% de arena triturada en un tamiz de $\frac{3}{8}$ " y 5,82% de arena zarandeada en $\frac{3}{8}$ " de tamiz. Así mismo, se presenta la Tabla 5 con los agregados para una mezcla asfáltica al 10%.

Tabla 5 Agregados de la mezcla asfáltica al 10%

Observaciones	Dosificación	%Diseño	%Mezcla
Grava triturada $\frac{3}{4}$ "		26	41,7
Arena triturada $\frac{3}{8}$ "		42	58,29
Arena Zarandeada $\frac{3}{8}$ "		32	

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las especificaciones de la Norma MTC E 504.

Para la conformación de una mezcla asfáltica al 10%, los agregados están presentes en, 41,7% de grava triturada $\frac{3}{4}$ ", y 58,29% de arena triturada $\frac{3}{8}$ ". Ciertamente, en la Tabla 6 se encuentra los agregados de la mezcla asfáltica al 15%.

Tabla 6 Agregados de la mezcla asfáltica al 15%

Observaciones	Dosificación	%Diseño	%Mezcla
Grava triturada $\frac{3}{4}$ "		26	50,4
Arena triturada $\frac{3}{8}$ "		42	75,23
Arena Zarandeada $\frac{3}{8}$ "		32	12

Fuente: Elaboración propia (2024) según las especificaciones de la Norma MTC E 504.

Según lo anterior, los agregados para una mezcla asfáltica al 15% son de 50,4% de grava triturada $\frac{3}{4}$ ", 75,23% de arena triturada $\frac{3}{8}$ " y 12% de arena zarandeada $\frac{3}{8}$ ".

En este orden de ideas, la Tabla 7 presenta el comportamiento granulométrico de la mezcla asfáltica al 5%, según los valores esperados en la Norma ASTM D-422, para diferentes tamaños de tamices y a la cantidad de agregados que, se consideró en la Tabla 6.

Tabla 7 Análisis granulométrico de la mezcla al 5%

Tamices	Abertura mm	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	Especificaciones	Muestra
3"	75000	PIEDR A	AREN A	ARENA NATURA	FILLE	MEZCL A	Grava: 39,98 %
2 1/2"	63000	CHANC	C	L	R	TOTAL	Arena: 54,20%
2"	50000						Fino: 5,82%
1 1/2"	37500	25%	43%	30%	2%	100%	
1"	25000						
3/4"	19000	100	100	100	100	100	100-100
3/8"	9500	17,9	100	98,7	100	82,09	70-88

Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

El análisis granulométrico de la mezcla para 5% de resina, señala que, con los agregados de 39,98% de grava, 54,20% de arena y 5,82% de arena fina, se consigue que un 100% pasa por el tamiz de ¾" y 82,09% pasa por el tamiz de 3/8", cumpliendo con lo indicado en la Norma.

De igual manera, se presenta el análisis granulométrico de la mezcla al 10% en la Tabla 8.

Tabla 8 Análisis granulométrico de mezcla al 10%

Tamices	Abertura mm	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	Especificaciones	Muestra
3"	75000	PIEDR A	AREN A	ARENA NATURA	FILLE	MEZCL A	Grava: 41,7 %
2 1/2"	63000	CHANC	C	L	R	TOTAL	Arena: 58,29%
2"	50000						Fino:

1 1/2"	37500	25%	43%	30%	2%	100%	
1"	25000						
3/4"	19000	100	100	100	100	100	100-100
3/8"	9500	22	90	83	100	80	70-88

Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

Según los valores de la Tabla 8, para los agregados de 41,7% de grava y 58,29% de arena, en el tamiz de 3/4" pasa el 100% de las partículas y en el de 3/8" pasan 80% de las mismas, cumpliendo con lo indicado en la Norma.

Finalmente, la Tabla 9 representa los valores del análisis granulométrico para una composición de mezcla del 15%.

Tabla 9 Análisis granulométrico de mezcla al 15%

Tamices	Aberturas mm	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa	Especificaciones	Muestra
		PIEDR	AREN			MEZCL	
3"	75000	A	A	ARENA		A	Grava: 50,4 %
			CHAN	NATURA	FILLE		Arena:
2 1/2"	63000	CHANC	C	L	R	TOTAL	75,23%
2"	50000						Fino: 12%
1 1/2"	37500	25%	43%	30%	2%	100%	
1"	25000						
3/4"	19000	100	100	100	100	100	100-100
3/8"	9500	13	68	90	100	86	70-88

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

La mezcla asfáltica al 15% cuenta con una estructura de agregados con lo siguiente, 50,4% de grava, 75,23% de arena y 12% de finos, para los cuales, pasa el 100% de las partículas por el tamiz 3/4" y 86% por el tamiz de 3/8", cumpliendo de igual manera, con los valores previstos por la norma.

Propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada con las resinas Epoxicas

En primera parte en esta sección se establece los valores de resistencia a la flexión de la MAC incluyendo la resina epóxica, evaluada a 28 días de experimentación. En la Tabla 10 se presentan los resultados de la mezcla al 5% de resina epoxi.

Tabla 10 Ensayo de resistencia a la flexión al 5%

Resumen ensayo resistencia a la flexión		
Tipo de espécimen	Resistencia promedio (kg/cm²)	% Respecto al patrón
Patrón	99,31	100
Con tratamiento de membrana líquida	55,82	56
Con resina epóxica	82,62	83

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

Los valores encontrados en la Tabla 10 indican lo siguiente, la resistencia a la flexión de la muestra patrón es de 99,31 kg/cm², en este sentido, la muestra que fue tratada con membrana líquida obtuvo un valor de 55,86 kg/cm² lo que representa, una proporción del 56% en relación a la muestra patrón, mientras que, la muestra tratada con resina epoxi resultó en 82,62 kg/cm² siendo este, el 83% de la muestra tradicional.

De igual manera, se efectuó para la mezcla al 10% de concentración de resina epoxi (Tabla 11).

Tabla 11 Ensayo de resistencia a la flexión al 10%

Resumen ensayo resistencia a la flexión		
Tipo de espécimen	Resistencia promedio (kg/cm ²)	% Respecto al patrón
Patrón	99,2	100
Con tratamiento de membrana líquida	62,15	62
Con resina epóxi	90,1	90

Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 11, el promedio de la resistencia de las muestras tradiciones (patrón) es del 100%, mientras que una muestra tratada con membrana líquida alcanzó 62% de resistencia y la MAC al 10% obtuvo 90% de resistencia; en este orden de ideas, se presenta la Tabla 12, con los resultados del ensayo de resistencia a la flexión al 15%.

Tabla 12 Ensayo de resistencia a la flexión al 15%

Resumen ensayo resistencia a la flexión		
Tipo de espécimen	Resistencia promedio (kg/cm ²)	% Respecto al patrón
Patrón	98,2	98

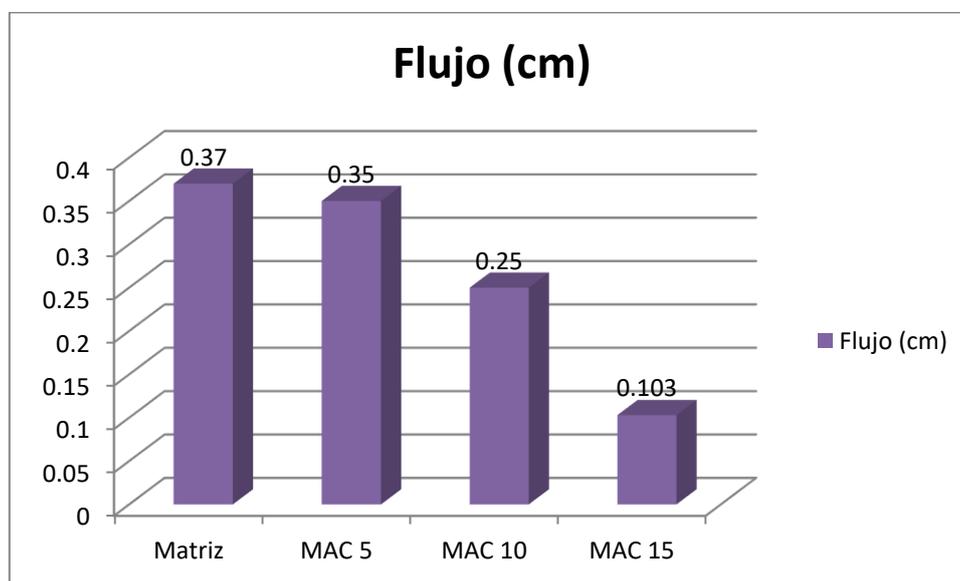
Con tratamiento de membrana líquida	68,05	68
Con resina epóxi	95,28	95

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

Según los valores de Tabla 12, el espécimen patrón obtuvo un 98% de resistencia, la muestra tratada con membrana resultó en un 68% y la MAC al 15%, presentó 95% de resistencia.

Igualmente, en las mezclas evaluadas en 4 matrices 1 matriz tradicional y 3 matrices con agregados de resina epóxica se establecen los resultados de flujo por centímetro, estableciéndose que, el mayor flujo se presentó en la MAC de 5% con un valor de 0,35 cm, la MAC 10 con 0,25 cm y la MAC 15 con 0,103 cm.

Figura 2 Resultados de flujo por cada matriz experimental



Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

Ahora bien, en la Tabla 13 se aprecia el ensayo Marshall para la mezcla asfáltica caliente con epoxi MAC, obteniéndose los valores de la pruebas físicas de

estabilidad, flujo, relación E/F y vacío, contrastándose con los valores mínimos exigidos por la norma ASTM 1559. En este sentido, se observa el mayor valor de estabilidad para la MAC de 10% con 2594 kg pero, con un flujo de 2,5 mm inferior a los 3,0 mm exigidos y vacíos de 4,89, situación similar encontrada en la MAC al 15%, que solo cumple con la propiedad de estabilidad, alcanzando los 3106 kg, mientras que, la muestra del 5% cumple con todos los criterios establecidos por la norma, con estabilidad de 1291 kg superior a los 815 kg, flujo de 3,5 mm y vacío de 4,2.

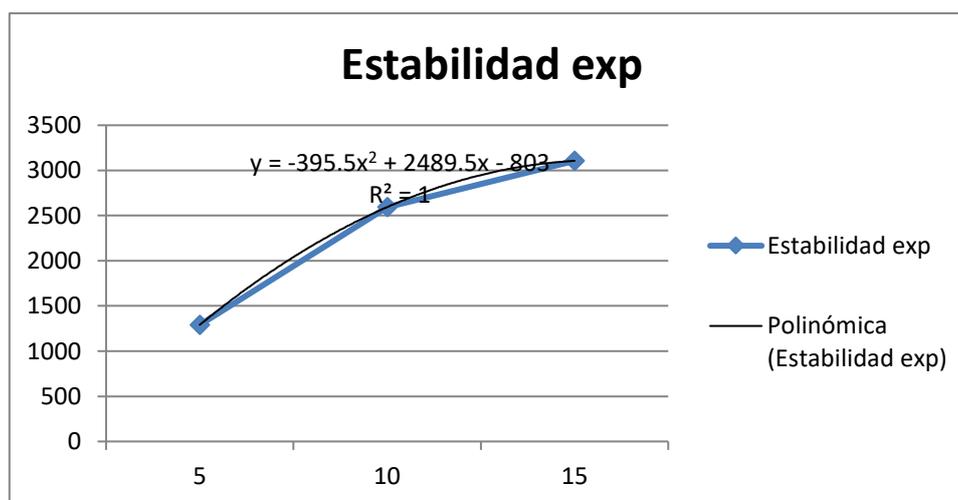
Tabla 13 Ensayo Marshall de MAC

% Epoxi	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	E/F (KN/mm)	Vacíos
5	1291	3,5	368,86	4,2
10	2594	2,5	1037,60	4,89
15	3106	1,03	3015,53	5,22

Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

En esta misma línea de ideas, se consigue con la Figura 3 correspondiente a la influencia de la mezcla asfáltica sobre la estabilidad, en donde resultó de acuerdo con una ecuación polinómica de tendencia, que la MAC influye en un 100% sobre la estabilidad del producto final.

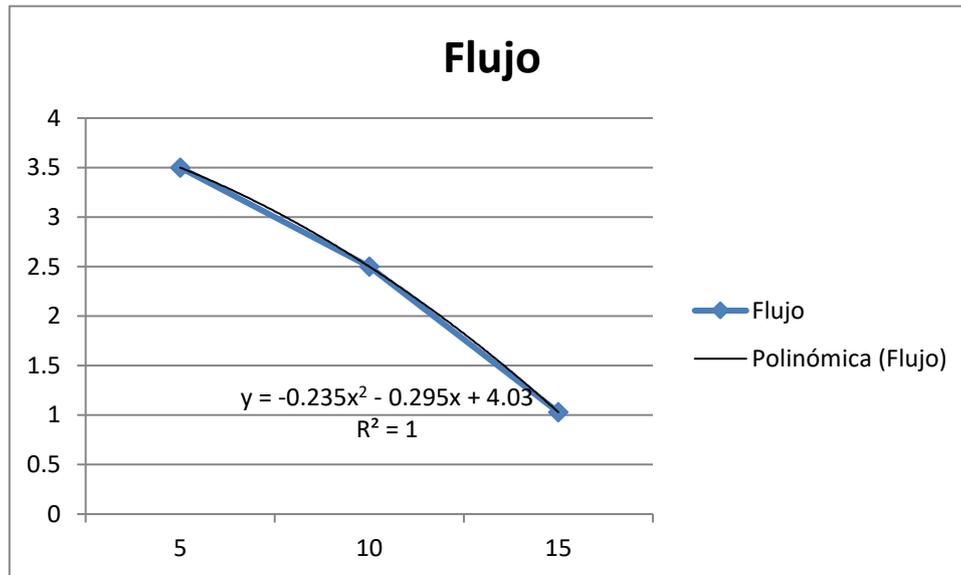
Figura 3 MAC vs estabilidad



Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

La Figura 4 advierte sobre la influencia de la MAC sobre la propiedad del flujo, obteniendo por ajuste polinómico que, esta influye en un 100% sobre el flujo que adquiere el producto asfáltico.

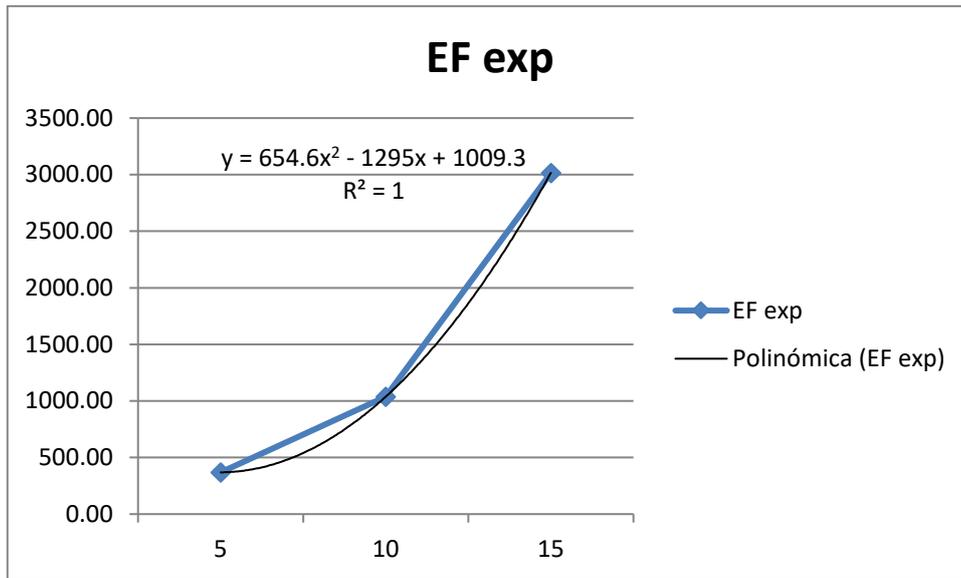
Figura 4 MAC vs Flujo



Fuente: Elaboración propia (2024) Según los resultados experimentales.

La Figura 5 refleja sobre la relación entre la MAC y la propiedad de estabilidad sobre flujo E/F, en la cual se obtuvo que, la proporción epóxica existente en la mezcla asfáltica, influye un 100% sobre la propiedad E/F del producto final.

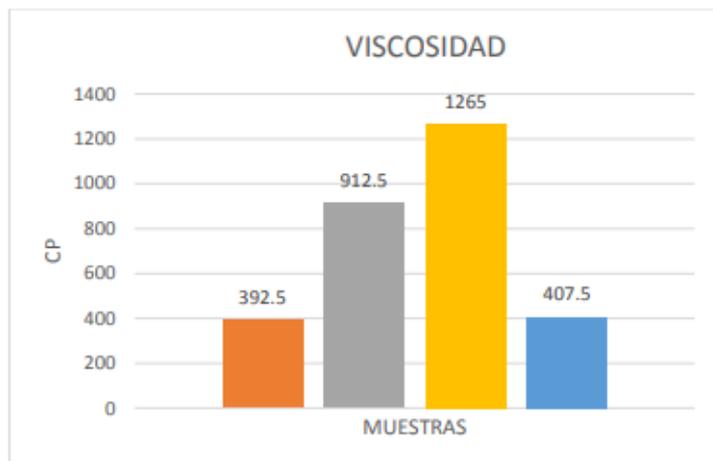
Figura 5 MAC vs E/F



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

Seguidamente, se tomaron cuatro muestras para realizar la compilación de la prueba de viscosidad para las muestras modificadas, obteniéndose que la muestra con mayor viscosidad sea la tercera muestra y las más baja la muestra tradicional sin resina epoxica (Figura 6).

Figura 6 Prueba de viscosidad para MAC



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

El ensayo de viscosidad señala que, la muestra tradicional tiene una viscosidad de 392,5cp; al agregar un 5% de resina epoxi, la viscosidad se modifica a razón de 912,5cp, con 10% se logró un valor de 1265cp y con 15% se obtiene 407,5cp. Con estos valores se puede asumir que, para las concentraciones de 5% y 10% se cumple con lo estipulado por la Norma ASTM D 4402 pero la muestra con 15% no cumple.

En el mismo argumento, se presenta la viscosidad de la MAC especificada de acuerdo con la concentración de epoxi en la muestra, resultando que, para la MAC al 5%, la viscosidad fue de 913cp., mientras que, para la MAC de 10% fue de 1005 cp., y para la MAC de 15% fue de 1235cp (Tabla 14).

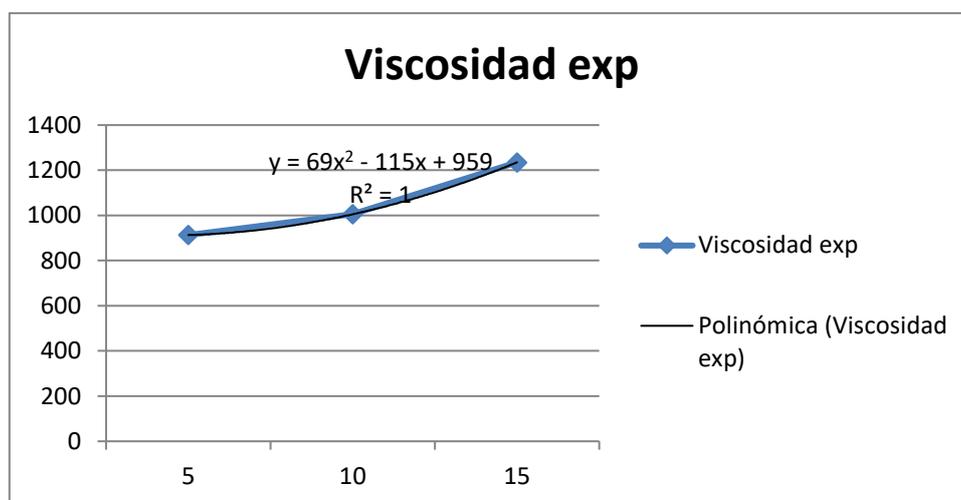
Tabla 14 Viscosidad de la mezcla asfáltica

% Epoxi	Viscosidad cp
5	913
10	1005
15	1235

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

En la Figura 7 se puede comprobar la relación estadística entre la proporción de MAC y cantidad de viscosidad en la muestra, resultando en que, la MAC influye en un 100% sobre la viscosidad del producto final.

Figura 7 MAC vs viscosidad



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

La mezcla asfáltica compuesta MAC, fue sometida a las correspondientes pruebas de Marshall para valorar el comportamiento físico de la misma, con la intención de conocer el comportamiento de estabilidad y flujo de la mezcla, a diferentes proporciones de asfalto, constituyendo con estas pruebas, el comportamiento de la mezcla control puramente asfáltica

De igual manera como se procedió con las mezclas modificadas, se efectuó con la muestra control, obteniéndose los resultados de la Tabla 15.

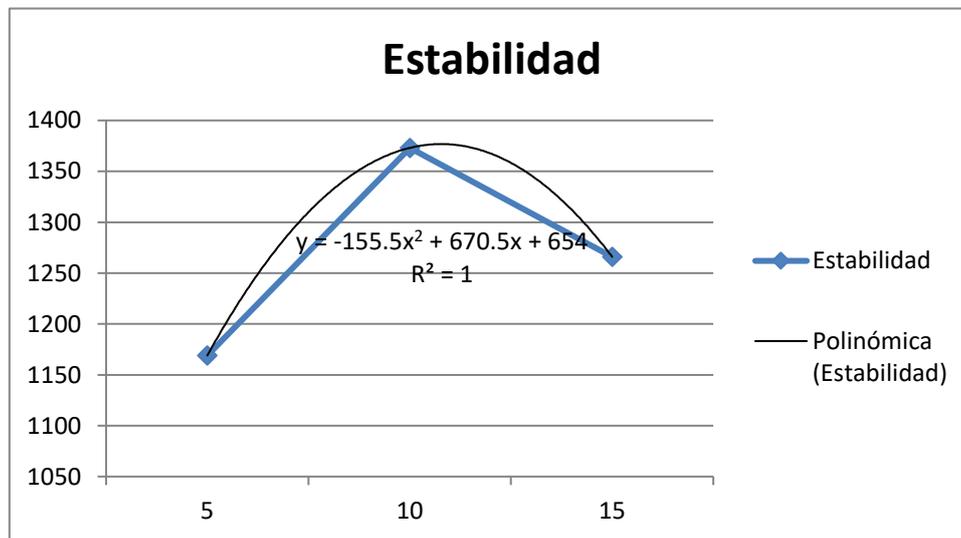
Tabla 15 Ensayo Marshall de control

% Asfalto	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	E/F (KN/mm)	Vacíos
5	1169	2,25	519,56	2,39
10	1373	2,96	463,85	2,38
15	1266	3,32	381,33	2,36

Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

En la Tabla 15 se presentó en ensayo Marshall para la muestra control, indicándose los valores de estabilidad, flujo, relación y vació, lográndose observar que, la máxima estabilidad se consigue con 10% de asfalto, cumpliendo con los valores exigidos por la norma ASTM 1559 para todas las concentraciones de asfalto. En efecto, en la Figura 8 se tiene la relación de la proporción asfáltica sobre el parámetro de estabilidad, para lo cual se tiene una influencia del 100%, a razón del valor de R^2 ajustado que se obtuvo en la aproximación polinómica del comportamiento de los resultados del ensayo.

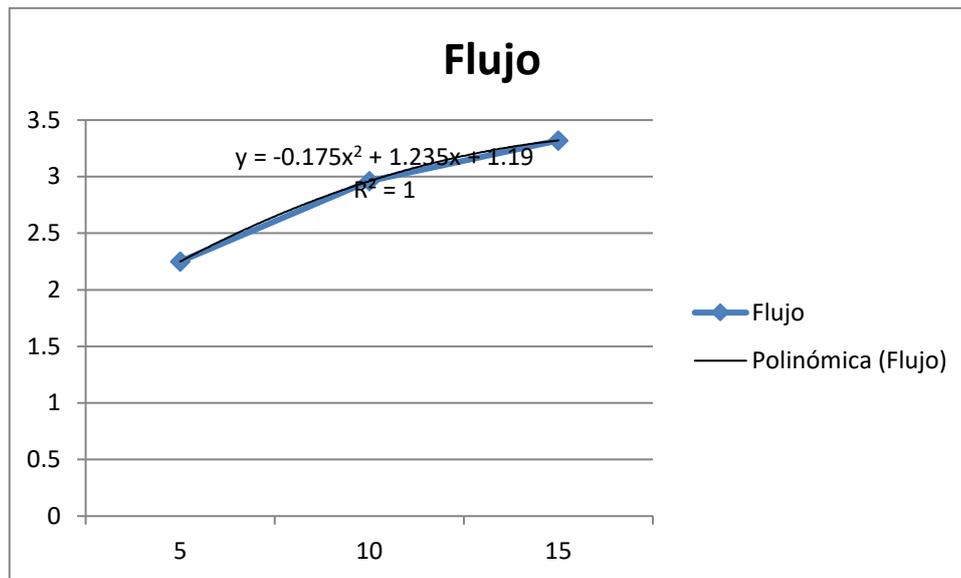
Figura 8 Estabilidad vs. Asfalto control



Fuente: Elaboración propia (2024) según los resultados experimentales.

Así mismo se encuentra la Figura 9 representando la asociación entre el flujo y la cantidad de asfalto control, estableciendo un valor con aproximación polinómica de 100% de relación entre ambas variables.

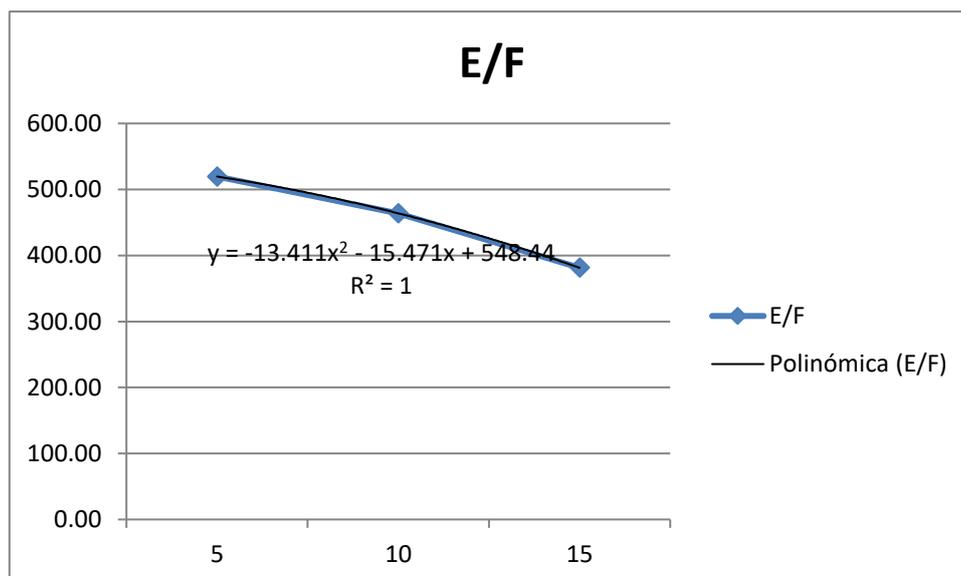
Figura 9 Flujo vs. Asfalto control



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

En este orden de ideas se presenta la relación de estabilidad y flujo conforme la proporción de asfalto control, obteniéndose por la ecuación de tendencia que, existe una influencia de 100% del asfalto sobre el indicador E/F (Figura 10).

Figura 10 E/F vs. Asfalto control



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales

Siguiendo en los resultados de las pruebas físicas, en la Tabla 16 se presentan los resultados de la viscosidad con la mezcla control, observándose que, la mayor viscosidad se encontró para la mezcla con 15% de asfalto.

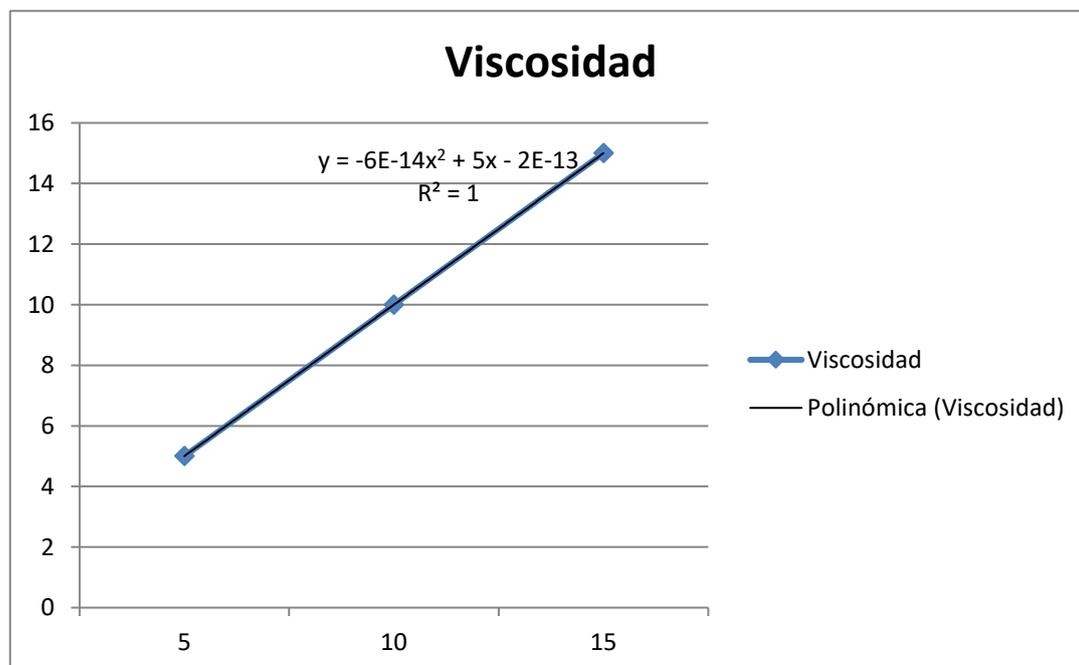
Tabla 16 Viscosidad control

% Asfalto	Viscosidad cp
5	407,52
10	637,24
15	740,55

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

Ciertamente, en la Figura 11 se aprecia la relación estadística entre la concentración de asfalto en la muestra y la cantidad de viscosidad, resultando en un 100% de influencia de la concentración mencionada, sobre la viscosidad del producto final.

Figura 11 Asfalto control vs viscosidad



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

Dando continuidad, se efectuó el análisis de estabilidad para las 3 muestras con la resina incorporada para 30 min y para esas mismas muestras a 24 horas, dichos resultados se muestran en la Tabla 9, arrojando datos dentro de la normativa para cada muestra.

Tabla 17. Detalle de la prueba de estabilidad

N° DE PROBETAS	Estabilidad Retenida 30min			Estabilidad Retenida 24 Horas			
	1	2	3	4	5	6	
1	Contenido de Cemento Asfáltico	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
2	Peso Probeta al Aire	1214	1212	1216	1211	1210	1213
3	Peso de la Probeta Saturada (01 hora)	1216	1214	1217	1212	1211	1214
4	Peso de la Probeta en el Agua	701.3	700.3	703.2	700.7	699.6	700.4
5	Volumen de la Probeta	514.4	513.2	514.1	511.5	511.5	513.2
6	Peso Específico Bulk de la Probeta	2.361	2.362	2.365	2.368	2.366	2.363
7	Lectura del Dial Anillo Marshall	1385	1381	1329	1152	1154	1166
8	Estabilidad Sin Corregir	1385	1381	1329	1152	1154	1166
9	Factor Estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	Estabilidad Corregida (Kg.)	1385	1381	1329	1152	1154	1166
11	Promedio Estabilidad (30 Minutos)		1365				
12	Promedio Estabilidad (24 Horas)					1157	
13	Estabilidad Retenida (%)			84.8			

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de los resultados experimentales.

Comparación y comportamiento de las mezclas modificada y tradicional.

Teniendo los resultados de las pruebas aplicadas a los especímenes normales y modificados, se procedió a aplicar una valoración estadística de los valores obtenidos; en tal sentido, la Tabla 18 contiene la prueba de contrastación de medias, T Student para la propiedad de estabilidad, resultando que, la significatividad fue de $p=0,04 < 0,05$, permitiendo asumir que, existen diferencias significativas entre las muestras analizadas, de acuerdo con los valores de estabilidad realizados.

Tabla 18 T Student Estabilidad

	Variable 1	Variable 2
Media	1256,25	1077
Varianza	7626,25	14448,6667
Observaciones	4	4
Coefficiente de correlación de Pearson	0,05731741	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	2,4814839	
P(T<=t) una cola	0,0445764	
Valor crítico de t (una cola)	2,35336343	
P(T<=t) dos colas	0,04915281	
Valor crítico de t (dos colas)	3,18244631	

Fuente: Elaboración propia (2024)

De igual manera, se procedió para la propiedad de flujo, exponiendo ambas muestras a contrastación de T Student, obteniendo que, la significatividad de la prueba fue de $p=0,17 > 0,05$ por cuanto, se asume que, para el flujo, no se encontró diferencias significativas entre la mezcla normal y la modificada (Tabla 19).

Tabla 19 T Student parámetro flujo

	Variable 1	Variable 2
Media	2,8075	3,11
Varianza	0,20275833	0,29686667
Observaciones	4	4
Coefficiente de correlación de Pearson	0,39360188	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-1,09281347	
P(T<=t) una cola	0,17718792	
Valor crítico de t (una cola)	2,35336343	
P(T<=t) dos colas	0,35437583	
Valor crítico de t (dos colas)	3,18244631	

Fuente: Elaboración propia (2024)

En este mismo orden de ideas, se presenta la prueba de contraste de medias para la propiedad Estabilidad/Flujo, resultando un valor de $p=0,01 < 0,05$, permitiendo comprobar que, existen diferencias significativas entre la mezcla normal y la modificada para la relación E/F (Tabla 20).

Tabla 20 T Student relación EF

	Variable 1	Variable 2
Media	453,868237	349,34143
Varianza	3228,91505	637,087845
Observaciones	4	4
Coefficiente de correlación de Pearson	0,23418103	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	3,69890554	
P(T<=t) una cola	0,01715199	
Valor crítico de t (una cola)	2,35336343	
P(T<=t) dos colas	0,03430399	
Valor crítico de t (dos colas)	3,18244631	

Fuente: Elaboración propia (2024)

En cuanto a la propiedad de vacío, se tiene que, la significatividad de la prueba, $p=0,02 < 0,05$ es un indicativo que, existen diferencias significativas entre la mezcla normal y modificada para la propiedad de vacío (Tabla 21).

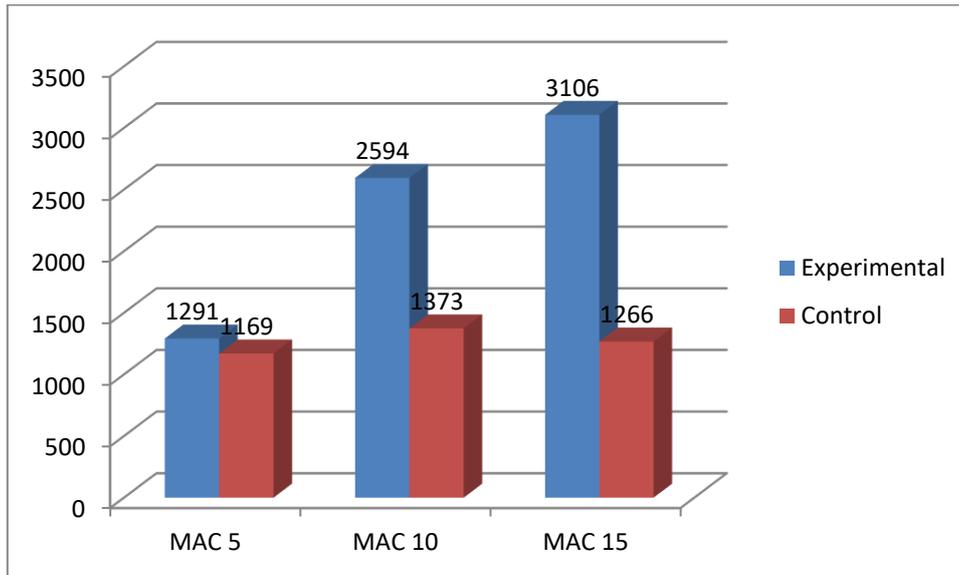
Tabla 21 T Student Vacío

	Variable 1	Variable 2
Media	2,3675	3,965
Varianza	0,000491667	0,97956667
Observaciones	4	4
Coefficiente de correlación de Pearson	0,778431198	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-3,285111865	
P(T<=t) una cola	0,02312381	
Valor crítico de t (una cola)	2,353363435	
P(T<=t) dos colas	0,04624762	
Valor crítico de t (dos colas)	3,182446305	

Fuente: Elaboración propia (2024)

Ampliando la información anterior relacionada con las diferencias estadísticas entre las propiedades observadas en las muestras tradicionales y modificadas, se presenta la Figura 12 con la comparación de la propiedad de estabilidad, encontrándose una variación de 10,44% a favor de la MAC 5, 88,93% a favor de la MAC 10 y 145% a favor de la MAC 15.

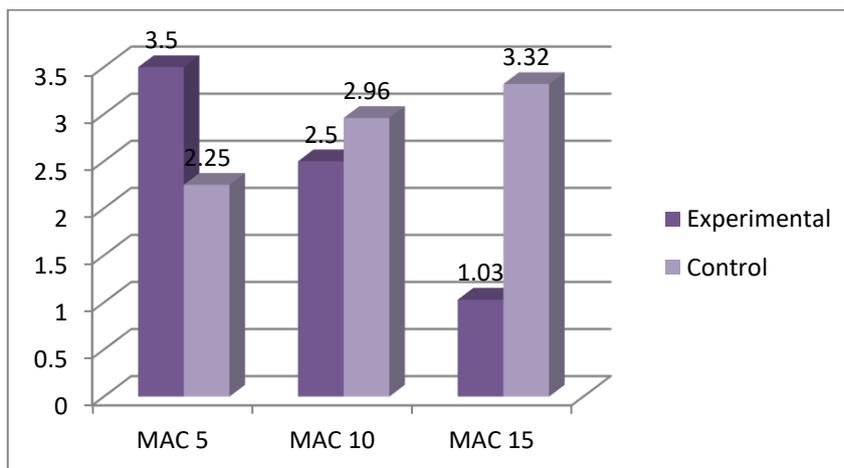
Figura 12 Comparación estabilidad



Fuente: Elaboración propia (2024)

Así mismo, se encuentra con la Figura 13 contentiva de la comparación del propiedad de flujo, hallándose una variación de 55,56% a favor de la MAC 5, -15,54% a favor de la muestra tradicional al 10% y -68,98% a favor de la muestra tradicional al 15%, es decir, el flujo de la MAC 10 y MAC 15 fue menor que para las muestras tradicionales con la misma concentración.

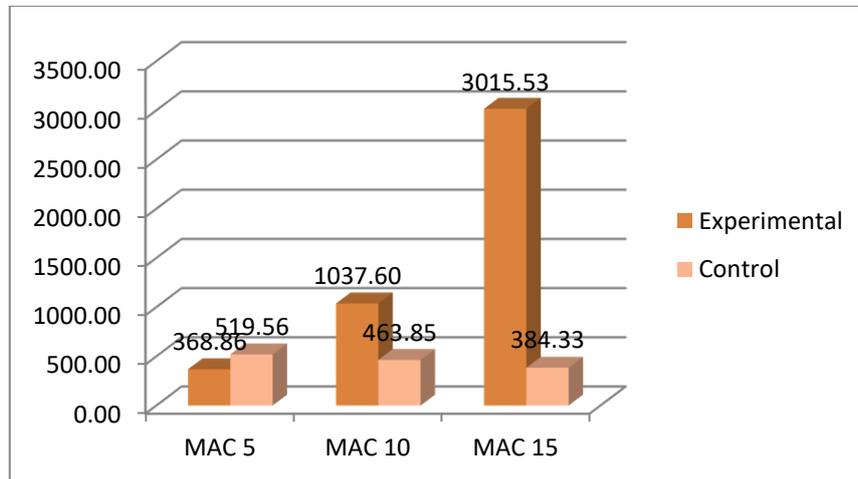
Figura 13 Comparación flujo



Fuente: Elaboración propia (2024)

La comparación de la relación E/F se consigue en la Figura 14, de donde, hay una variación de - 29,01% a favor de la muestra tradicional al 5%, 123% a favor de MAC 10 y 684% a favor de MAC 15, es decir, la propiedad E/F se contrajo en la muestra al 5%, incrementándose para MAC 10 y MAC 15.

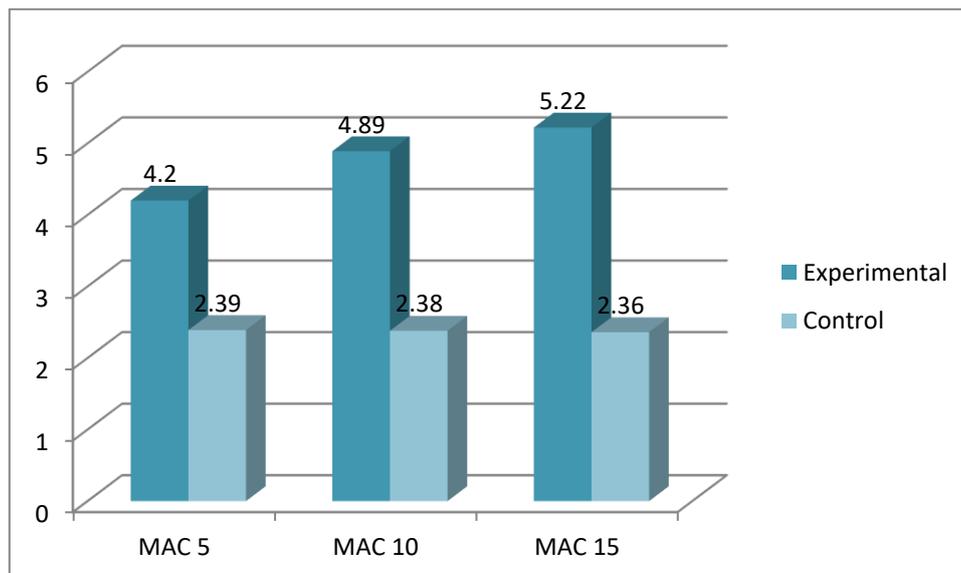
Figura 14 Comparación EF



Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el parámetro de vacío, se tuvo una variación de 75,73% a favor de la MAC 5, mientras que, la MAC 10 obtuvo una variación positiva de 105,46% y MAC 15 121,19% (Figura 15).

Figura 15 Comparación vacío



Fuente: Elaboración propia (2024)

La composición final del producto, representado en la muestra asfáltica modificada con adición de resina epóxica, se presentan en las siguientes caracterizaciones, iniciando con la proporción de partículas chatas y alargadas (Tabla 22) en donde, de acuerdo con el establecimiento de la relación de pasar y retener partículas, se obtuvo una razón de 8,10% de la presencia de este tipo de partículas en la muestra modificada.

Tabla 22 Partículas chatas y alargadas

TAMAÑO DE MALLAS		PESO	PORCENTAJE	PESO PARA	PESO PART.	% DE PART.	
PASA	RETIENE	RETENIDO	RETENIDO	ENSAYO	HAT. Y ALARG	HAT. Y ALARG.	
		(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	Li X Ri
50mm(2")	37,50mm(11/2")						
37,50mm(11/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	36	6.99	360
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	45	9.28	450
TOTAL		1,000.0	100.00				810

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales

Por otra parte, se tiene la caracterización de la presencia de partículas por una cara fracturada, obteniéndose una proporción de 9,22% de partículas en la muestra asfáltica modificada (Tabla 23).

Tabla 23 Partículas de una cara fracturada

TAMAÑO DE MALLAS		PESO	PORCENTAJE	PESO PARA	PESO PART.	% DE PART.	
PASA	RETIENE	RETENIDO	RETENIDO	ENSAYO	1 CARA FRAC	1 CARA FRACT.	
		(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	Li X Ri
50mm(2")	37,50mm(11/2")						
37,50mm(11/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	456.00	88.54	4,560

12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	466.00	96.08	4,660
TOTAL		1,000.0	100.00				9,220

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales

En la Tabla 24 se vislumbra la cantidad de partículas en dos caras fracturadas presentes en la mezcla asfáltica, obteniéndose una proporción de 6,58% de las mismas, de acuerdo con el comportamiento de pase y retención.

Tabla 24 Partículas de dos caras fracturadas

TAMAÑO DE MALLAS		PESO	PORCENTAJE	PESO PARA	PESO PART.	% DE PART.	
		RETENIDO	RETENIDO	ENSAYO	MAS 02 CARAS	MAS 02 CARAS	
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	Li X Ri
50mm(2")	37,50mm(1 1/2")						
37,50mm(1 1/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	316.00	61.36	3,160
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	342.00	70.52	3,420
TOTAL		1,000.0	100.00				6,580

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales

En la Tabla 25 se puede observar los resultados de prueba de desgaste de abrasión para la mezcla asfáltica, resultando en un valor equivalente de 25,05%.

Tabla 25 Prueba de desgaste de abrasión

TAMAÑO DE MALLAS		MASA ORIGINAL	MASA FINAL	MASA PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	% DE DESGASTE POR ABRASION
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(GRAMOS)		
38.1mm(1 1/2")	25.4mm(1")		.....	.....	.....
25.4mm(1")	19.0mm(3/4")		.....	.....	.....
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	2,504.0	.....	.....	.....
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	2,501.0	.....	.....	.....
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		5,005.0	3,751.00	1,254.00	25.05%

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales

De igual manera, se tiene la Tabla 26 con la constitución de la mezcla asfáltica al 5% de resina epóxi, en donde puede observarse que, la mezcla cumple con los criterios establecidos en la norma ASTM D-1559 para las propiedades de, estabilidad, flujo y relación.

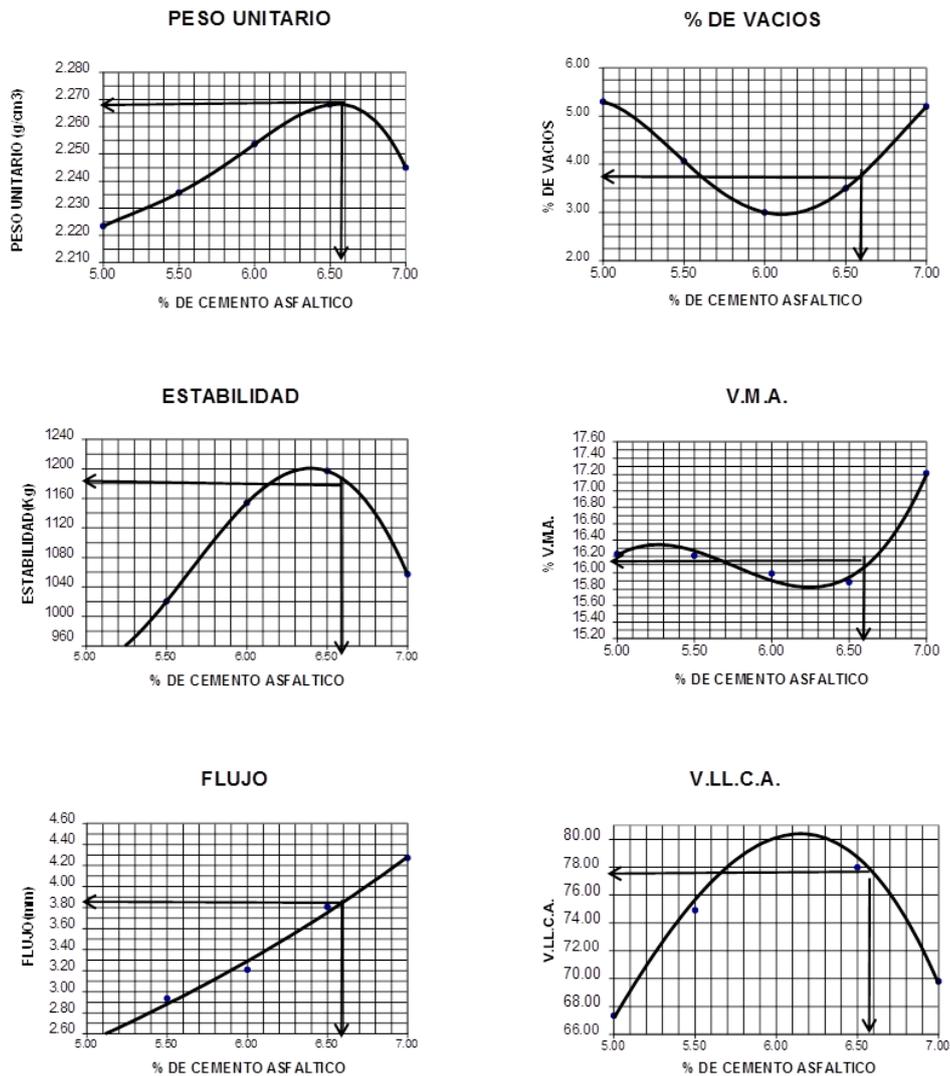
Tabla 26 Constitución de la mezcla asfáltica al 5% de modificación

	NUMERO DE BRIQUETA	1	2	3	PROMEDIO ESPECIF.	
	PORCENTAJE RESINA EPOXICA	5.00	5.00	5.00		
1	Altura promedio de la Briqueta	6.70	7.20	6.80		
2	Peso de la Briqueta al Aire	1219	1234	1207		
3	Peso de la Briqueta más parafina al Aire	1221	1236	1209		
4	Peso de la Briqueta al agua	673	669	655		
5	Volumen de la briqueta por desplazamiento	546.00	565.00	552.00		
6	Peso Unitario	2.233	2.184	2.187	2.201	
7	Estabilidad sin corregir (Kg)	1624	1581	1454		
8	Factor de Estabilidad	0.93	0.86	0.89		
9	Estabilidad Corregida (Kg)	1510	1360	1294	1388	Min. 815
10	Flujo (mm)	3.50	3.30	3.40	3.400	2.0 - 4.0
11	Relación E / F (Kg/mm)	4315	4120	3806	4080	1700-4000

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales.

La Figura 16 contiene la representación del comportamiento de la muestra asfáltica, para las diferencias concentraciones de resina epoxi en cada una de las propiedades evaluadas.

Figura 16 Gráficos de ensayo Marshall para las muestras asfálticas



Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales

Considerando toda la información anterior, se presenta la Tabla 27 con el resumen de los hallazgos y ensayos físicos mecánicos que, se realizaron para cada muestra de mezcla asfáltica, de donde se puede resaltar que, la MAC de 5% cumple con todos los valores previstos en la Norma como tolerables, a la vez que demostró ser más óptima que la mezcla tradicional de asfalto en las propiedades de, estabilidad, flujo y vacío, a excepción de E/F donde se apuntó una desmejora en relación con la muestra tradicional de -29,01%.

En este orden de ideas, la muestra MAC 10 cumplió con la propiedad de, estabilidad y flujo, mientras que, no fue se ajustó con las tolerancia de E/F en kg/cm y vacío. De igual manera, esta proporción de resina al 10% resultó ser más óptima que la mezcla tradicional, obteniendo variaciones positivas para cada propiedad evaluada, menos en el flujo (Tabla 27).

En cuanto a la MAC 15, ésta presentó un comportamiento similar a MAC 10 en los valores de las propiedades, cumpliendo para estabilidad y vacío, no así para las propiedades de flujo y E/F, sin embargo, la muestra resultó más óptima que la tradicional para la mayoría de las propiedades, a excepción del flujo. Por lo cual, se tomará en consideración en el diseño del pavimento asfáltico, la MAC 5.

Tabla 27 Resumen de hallazgos

MAC	Estabilidad	% Var	Flujo	% Var	E/F	% Var	Vacío	% Var
5	1291	10,44	3,5	55,56	368,86	-29,01	4,2	75,73
10	2594	88,93	2,5	-15,54	1037,6	123,69	4,59	105,46
15	3106	145,34	1,03	-68,98	3015,53	684,62	5,22	121,19

Fuente: Elaboración propia (2024) a partir de las pruebas experimentales

Costos y beneficios económicos de la incorporación de resina epoxica.

Los costos asociados a la obtención de un tipo asfáltico mejorado con la adición de resina epoxi, implica costos, operativos y financieros, los cuales fueron estimados con base a una cantidad de producto, expresado en metros cúbicos (Tabla 27).

Tabla 28 Presupuesto de las mezclas

Descripción	Asfalto	Asfalto modificado
Mezcla en m ³ al 5%	S./ 498.03	S./ 490.17

Mezcla en m ³ al 10%	S./ 524.10	S./ 512.00
Mezcla en m ³ al 15%	S./ 683.00	S./ 662.00

Fuente: Elaboración propia (2024)

De acuerdo con lo anterior, en la mezcla al 5% se obtiene un ahorro del 1,57% por cada metro cúbico de empleado, lo que se traduce S./ 7.86, mientras que, en las mezclas al 10% se obtiene un ahorro del 2,3% reflejado en S./ 12.1 y en el caso de las mezclas al 15%, se identificó un ahorro de 3% considerado como S./ 21.

Diseño del pavimento flexible con resina epoxica.

Para determinar el diseño del pavimento asfáltico, se toma en consideración las premisas explicadas en la metodología AASHTO-93, de donde, se puede obtener el número estructural SN, el mismo que se requiere para determinar el espesor de cada capa que forma parte del pavimento, capa asfáltica, capa base y capa sub-base. La expresión matemática toma en cuenta variables intrínsecas del tránsito, confiabilidad, serviciabilidad y confiabilidad del tramo.

$$\begin{aligned} \text{Log } (W) = & ZR * S_0 + 9,36 * \text{Log } (SN + 1) - 0,20 + ((\text{Log } \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}) / (0,40 \\ & + \left(\frac{1094}{SN + 1^{5,19}} \right)) + 2,32 * \text{Log } (MR) - 8,07 \end{aligned}$$

Dónde:

W: Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

ZR: Desviación estándar normal

S₀: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural

ΔPSI: Diferencia entre índice de servicio inicial y final

MR: Módulo resiliente (en libras/pulgada²)

SN: Número estructural

Por otro lado, la expresión matemática para SN es.

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$$

Dónde:

a_i : Coeficiente estructural de la capa i .

D_i : Espesor de la capa i en pulgadas.

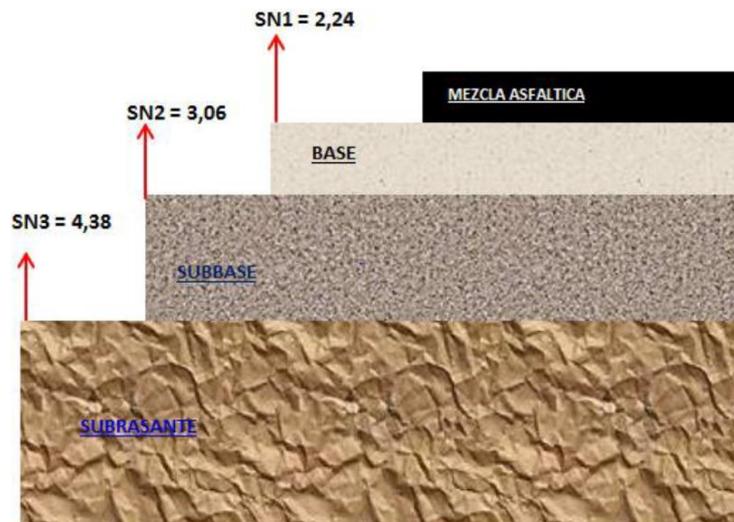
m_i : Coeficiente de drenaje de la capa i .

De acuerdo con lo anterior, el diseño del pavimento flexible, es necesario considerar los siguientes aspectos, tránsito, afluencia vehicular mayor o igual a 8,2 TN y confiabilidad de la arteria vial; en complemento, teniendo en cuenta que el pavimento flexible se empleará en la vía de San Jerónimo-Cusco, fue necesario además, tener en cuenta los siguientes factores para determinar la altura de las capas estructurales requeridas.

- Coeficiente de aporte estructural de la mezcla asfáltica (a_1) = 0.44
- Coeficiente de aporte estructural de la base granular (a_2) = 0.134
- Coeficiente de drenaje de la base granular (m_2) = 1.18
- Módulo resiliente de la base granular (M_{rb}) = 29.000 PSI
- Coeficiente de aporte estructural de la Subbase granular (a_3) = 0.11
- Coeficiente de drenaje de la Subbase granular (m_3) = 1.20
- Módulo resiliente de la Subbase granular (M_{rsb}) = 13.900 PSI
- Módulo resiliente de la subrasante (M_{rsr}) = 6204 PSI \approx 6000 PSI

De acuerdo con lo anterior, se tendría que, la altura de la capa asfáltica, considerando para ello una mezcla al 5%, sería equivalente a 5,5 pulgadas y el resto de las capas tendrían el espesor que se observa en la Figura 17.

Figura 17 Espesor de las capas estructurales del pavimento



Fuente: Imagen referencial tomada de Reyes (2020).

IV.- DISCUSIÓN

De acuerdo con los hallazgos obtenidos de la investigación, se puede alegar que, la mezcla asfáltica modificada con resina epóxica, fue sujeta a una serie de pruebas y ensayos, para obtener la composición granulométrica de la misma, así como de la caracterización físico mecánica. En este sentido, los resultados coinciden con los de Rodríguez y Rodríguez (2019) quienes, trabajaron con especímenes de pavimento reciclado, aplicando los ensayos de Marshall para

caracterizar la mezcla de asfalto reciclado y comparar el comportamiento de las propiedades, con el asfalto normal de las vías de circulación; de igual manera, Moreno y Mario (2005) efectuaron los ensayos de Marshall para identificar las propiedades de una muestra asfáltica modificada, conforme lo que se encuentra establecido en la norma ASTM D-1559.

Es así que, el procedimiento empleado para la composición de la mezcla asfáltica, en el cual se conformaron especímenes con 7% de proporción de aire y compactados en recipientes cilíndricos que se dejaron reposar cerca de 24hrs. Una vez conformados los especímenes fue determinada la gravedad específica y la cantidad de vacíos, puesto que, estos índices son esenciales en el análisis de las propiedades de la MAC simple y estabilizada. Las muestras se sometieron a saturación con agua destilada a 25°C y se aplicó la prueba de presión de 525mmHg; el volumen del espécimen saturado es un valor que debe hallarse, al igual que el volumen del mismo con la absorción de agua. Los valores de saturación deben ubicarse entre 50% y 80%, descartándose los especímenes que obtuvieron valores mayores al 80%.

Por su parte, el control de temperatura se realizó alrededor de los 25°C en lapsos de 20min y luego, se sometieron a pruebas de carga vertical para observar la capacidad de deformación a razón de una constante de 50mm/min. La estabilización de la muestra asfáltica se logró añadiendo los porcentajes de resina epoxi de 5% 10% 15%, a las cuales se aplicaron los mismos procedimientos de, saturación y compactación. Ante esta descripción del procedimiento empleado para la preparación de las muestras de MAC, Rodríguez y Rodríguez (2019) tomaron proporción de aire en una cantidad de 6% y los límites de saturación fueron asumidos sobre el 70%, dado que, la MAC que fue trabajada por estos autores se destinaba a un tipo de vialidad con soporte de máxima carga, puesto que, la investigación de éstos tenía como objetivo el diseño de un pavimento asfáltico modificado que, fuese implementando en autopistas y vías centrales de comunicación, en las cuales pudiera transitar vehículos de carga pesada sin riesgo de deformación y fracturas a largo plazo.

Por su parte, Moreno y Mario (2005) aplicaron el ensayo de Marshall para la preparación y análisis de las muestras de asfálticas simples y estabilizadas, por lo cual, aplicaron la compactación a 75 golpes para alcanzar la densidad máxima de cada espécimen; el enfriamiento a temperatura ambiente, lo realizaron mediante el uso de incubadoras especiales, ya que el lugar geográfico en donde se desarrolló la investigación presentaba temperaturas extremas de menos 0°C, empleando lapsos de 48hr a 72hr en dicho proceso de enfriamiento. La prueba de carga que realizaron los autores consistió en aplicar fuerza vertical en un rango entre 80 a 89MPa, hasta identificar el punto de fractura de la muestra, a diferencia de la prueba aplicada en esta investigación, cuya proporción no sobrepasó la razón de 50mm/min. La cantidad de vacíos fue estimada de manera similar a como se realizó en esta investigación.

Es así que, en la investigación se desarrollaron pruebas y ensayos para mezclas a 5% 10% y 15% de resina epoxi, para con ello determinar el valor de las propiedades físico mecánicas y que, éstas mismas se encontraran dentro de las tolerancias indicadas en las normas guías. Siendo que, para la propiedad de estabilidad, todas las mezclas estudiadas cumplieron con las tolerancias, alcanzando valores promedio de 2594 kg, alcanzándose el máximo valor en la estabilización al 10% con 2891kg. Gutiérrez (2020) quien estudió la propiedad de estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas con látex al 5% y 10%, obtuvo para la primera adición un valor de 1700kg y para la segunda adición 2000kg. Si bien, estos resultados concuerdan con la tendencia de mejoramiento de la estabilidad ante la incorporación del aditivo, se puede observar que, para mezclas asfálticas homogéneas, la resina epoxi logra optimizar la propiedad de mejor manera que el látex, por cuanto, la mejora con el primero, tomando en consideración el valor teórico de 815kg fue de 218%, mientras que, la estabilización lograda por Gutiérrez (2020) se manifestó en una mejora del 84%, lo que es indicativo de la superioridad física y mecánica de la adición de la resina epoxi en la MAC.

Para la propiedad del flujo, se obtuvo un valor promedio del 2,5mm sobre un valor teórico de 2mm, implicando una mejora del 25%, con especial aumento en la

adición del 15%. Esta tendencia se encontró de igual manera en los trabajos de Gutiérrez (2020) quien analizó las estabilizaciones con látex y Roman y Reime (2018) quienes estudiaron el vinilo. En este punto se explica que, Gutiérrez (2020) alcanzó un valor promedio del flujo equivalente a 3mm, con máximo valor al 10% de látex, resultando en una optimización del 50%. Román y Reime (2018) obtuvieron un máximo resultado para el 10% de vinilo, alcanzando 2,3mm y un 15% de mejora, patrones que son similares a los alcanzados en los resultados experimentales de esta investigación. Además se puede asumir con este análisis que, la adición con epoxi tiene mayor capacidad de mejorar la propiedad de flujo, inclusive por encima del látex y del vinilo.

Adicionalmente, Gutierrez (2020) y Roman y Reime (2018) quienes comprobaron y explicaron que, para concentración superiores al 10% de látex y vinilo respectivamente, las mezclas empezaban a incumplir con la propiedad del flujo máximo, lo que, de igual manera, repercutió en la propiedad del factor de rigidez, en donde las mezclas a 10% y 15% no cumplían con lo esperado por la norma.

En cuanto al comportamiento granulométrico, la adición de agregados como arena y grava, le imprimió un nivel de resistencia superior a la mezcla, en proporción con la presencia de los mismos en la muestra analizada, lo que, se logró comprobar en el ensayo de resistencia a la flexión, logrando un comportamiento de la propiedad de resistencia en las mezclas, coincidentes con los presentados por Huamán (2021) cuyos agregados en los especímenes de trabajo, le permitieron lograr una resistencia mayor en las mismas.

En esta misma línea de ideas, la muestra asfáltica caliente, presentó diferencias significativas en contraste con la muestra de asfalto normal, a la luz de las propiedades, estabilidad, flujo, E/F y vacío, coincidiendo con los hallazgos explicados por Quiang Zhang et al. (2017) los mismos que, argumentaron que el asfalto modificado con resina, presenta diferencias importantes con el asfalto normal, en cuanto a la capacidad de fractura.

En forma similar se presentan los resultados obtenidos por Gutiérrez (2020) el mismo que trabajó con una muestra asfáltica modificada con látex, añadiendo que, el espécimen modificado presenta diferencias significativas con respecto a las propiedades de fractura y deformación con respecto, al asfalto normal; lo que también coincide con Peliang Cong (2010) cuyo trabajo se encargó de demostrar la diferencia físico mecánica de una muestra de asfalto modificada, respecto a un asfalto normal.

En forma complementaria, las diferencias significativas obtenidas con las pruebas estadísticas, fueron comprobadas con las variaciones entre las mezclas tradicionales y las modificadas, encontrando que, la MAC 5% presentó mejoras en la estabilidad, flujo y vacío respecto de la muestra tradicional, mientras que, las MAC a 10% y 15% presentaron mejoras en estabilidad, vacío y factor de rigidez en relación a las muestras tradicionales. Dichos resultados fueron similares a los que presentaron Rodríguez y Rodríguez (2019) en cuanto a las mezclas asfálticas con pavimento reciclado, indicando éstos autores que, la mezcla con 5% de concentración fue más efectiva en la mejora de las propiedades físico mecánicas que, las muestras con concentraciones superiores al 10%.

Los resultados del análisis de los costos, se obtuvo un ahorro entre el 2% y 3% por cada mezcla, identificándose un mayor potencial en la MAC 10 y MAC 15, hallazgos que, fueron similares a los expuestos por Ramírez (2018) quien al estudiar la variación de las propiedades físico mecánica del asfalto añadiendo caucho, de igual manera halló que, el mezcla asfáltica modificada representó un ahorro importante al compararse con la inclusión de asfalto tradicional en la constitución y mejoras de las arterias viales.

V.- CONCLUSIONES

1.- Para una mezcla de asfalto caliente modificado con resina epoxi a una concentración del 5%, se tuvo un valor de estabilidad de 1291 kg, siendo un mínimo de 815 kg, flujo de 3,5 mm para un máximo de 4.0 mm, E/F de 368,86kg/mm para un máximo de 4000 kg/mm, con 8,10% de presencia de partículas chatas y alargadas, 25% de desgaste por abrasión y una viscosidad de 913cp. Es importante añadir que, se selecciona la mezcla a la composición del 5%, en virtud de que cumple con todos los valores especificados en la Norma ASTM D-1559 y MTC E-504.

2.- La prueba estadística T-Student permitió evidenciar que existen diferencias significativas entre las mezclas normales y modificadas, en las propiedades de, estabilidad, relación E/F y vacío, del cual, se obtuvo que, para la mezcla del 5%, la estabilidad se incrementara a razón del 10,44%, al igual que el flujo en un 55,56%, la relación EF se redujo en un 29,01% respecto a la muestra tradicional y el vacío se incrementará en un 75,73%.

3.- La relación costo beneficio reflejó que, en la mezcla con 5% de resina, se obtuvo un ahorro sustancial del 1,57%, mientras que, en la MAC de 10% se ahorra 2,3% y en la MAC 15 se ahorra 3%, por lo que al seleccionar la muestra con la concentración de 5%, el ahorro se representó en S./ 7.86 por metro cúbico empleado por capa asfáltica.

4.- Considerando una mezcla al 5% de resina epoxi en virtud del cumplimiento de esta con todas las propiedades físico mecánicas, se diseñó un pavimento flexible con un espesor de 5,5 pulgadas para ser usado en la vialidad de San Jerónimo, Cusco.

5.- Las diferentes mezclas de asfálticas modificadas, si bien cumplieron con las propiedades de estabilidad, viscosidad y granulometría, se seleccionó la muestra al 5% de resina epoxi, puesto que cumplió con el resto de propiedades como, flujo, E/F y vacíos, garantizando la durabilidad y rendimiento en el tiempo de utilidad de la capa de pavimento asfáltico a considerar, para la recuperación y mejoramiento de la vialidad en San Jerónimo, Cusco.

VI.- RECOMENDACIONES

- 1.-** Se recomienda emplear las proporciones indicadas de los agregados, así como de las temperaturas y los tamices necesarios, para conformar la mezcla asfáltica al 5% que, permita mejorar la vialidad de San Jerónimo, Cusco.
- 2.-** En virtud de que, la mezcla asfáltica al 5% resultó ser la que cumple con todas las propiedades físico mecánicas que establece la Norma MTC E-504 y ASTD M-1559, así como la de presentar variaciones positivas respecto de las mezclas tradicionales, se sugiere que se tome en consideración que, las vías de San Jerónimo en la cual circula un tráfico significativo y circulación de vehículos pesados, sean mejoradas con el revestimiento de una capa asfáltica modificada con resina epoxi al 5%
- 3.-** Se recomienda una evaluación financiera de los costos operativos en los que se incurrirán en el mejoramiento de las arterias viales de San Jerónimo, Cusco, con el revestimiento de una capa asfáltica modificada con resina epoxi al 5%.
- 4.-** Se sugiere que las principales arterias viales de San Jerónimo, sean recubiertas con capa asfáltica modificada con resina epoxi al 5%, en un espesor de 5,5 pulgadas, para con ello mejorar la durabilidad de las carreteras, así como de su confiabilidad y serviciabilidad.
- 5.-** Se recomienda a los entes públicos y privados responsables del mantenimiento y conservación de la vialidad, que se empleen mezclas de asfalto modificado con resina epoxi al 5%, puesto que, además de garantizar una mayor utilidad de la vía, así mismo resulta más económico que aplicar asfalto tradicional que está sujeto a fracturas y demás fallas asociadas.

REFERENCIAS

- Alonzo, E. D. (2012). *Análisis y evaluación de propiedades térmicas y mecánicas de materiales resínicos del tipo Epoxi/Amina*. SALTILLO, COAHUILA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA.
- Anderson, M. (octubre de 2016). *Escalas de medición y variables en estadística*. Obtenido de <https://mauricioanderson.com/escalas-de-medicion-estadistica/>
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación 6ta edición*. Mexico : EDITORIAL EPISTEME.
- Ayunque, N. (2022). *Efecto de la Incorporación de Cal Hidratada con Boñiga de Res en la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasante*. Recuperado el 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4007>
- Carranza, M. E. (2020). *Efecto del polímero Etileno vinil acetato en la estabilidad del concreto asfáltico*. Trujillio - Perú: Universidad Cesar Vallejo Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Espinoza, D. C. (2018). *Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I*. República del Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Fernández-García, P. V.-S.-R.-H. (26 de febrero de 2014). *//scielo.isciii.es*. Obtenido de Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad: se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282014000200039#:~:text=Investigaci%C3%B3n%20cuasi%2Dexperime%20es%20aquella,investigaci%C3%B3n%20aleatoriamente%20a%20los%20grupos.
- Gutierrez, J. (2020). *Diseño de mezcla asfáltica con la incorporación de látex natural, vía expresa San Sebastián - Cusco – 2019*. Cusco: Universidad Cesar Vallejo.
- Hernandez, F. y. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. México D.F.: Mc graw Hill.
- Huaman. (2011). *“La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú”* . Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

- Instituto Mexicano de transportes. (2005). *CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA*. Sanfandila: Instituto Mexicano de transportes.
- Jaleydi Cárdenas, E. F. (Diciembre 2009). MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE ASFALTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLIMERO RECICLADO, ESTUDIADO DESDE LA RELACIÓN VISCOSIDAD TEMPERATURA. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 , Número 12, p. 125-137. .
- Labajos, G. y Saldaña, J. (2020). *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada*. Recuperado el 2024, de <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589>
- Llena, J. M. (1996). *ESTUDIO DEL CURADO DE MATERIALES COMPUESTOS POR UN SISTEMA EPOXI Y PARTÍCULAS ELASTOMÉRICAS*. Barcelona: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- Loría, I. G. (2003). *Análisis de fatiga en mezclas asfálticas*. costa rica: universidad de costa rica.
- Lozada, J. (2014). la investigación aplicada. *revista de divulgación científica de la universidad tecnologica indoamérica*, 47-50.
- Mamani, W. F. (2016). *LABORATORIO DE CARRETERAS II ENSAYO MARSHALL MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL*. Lecheria, Venezuela: 'UATF' Universidad Autónoma Tomas Frias.
- Martínez Chávez, E. (2019). *Estabilización de suelos cohesivos con aditivo órganosilanos a nivel de subrasante*. Recuperado el 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1366>
- Maylle, A. y Ávila, P. (2023). *Elaboración de un diseño de mezcla para la estabilización de un suelo con emulsión asfáltica tipo CSS-1h y pavimento asfáltico reciclado (RAP) basado en el procedimiento de Marshall modificado*. Recuperado el 2024, de <http://dx.doi.org/10.15517/iv.v25i44.53441>
- Ministerio De Transporte y comunicaciones del Perú. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú: Ministerio De Transporte y comunicaciones del Perú.
- Nesterenko, D. (2018). *“Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú”* . Lima, Perú: Universidad De Piura Facultad De Ingeniería.

- Peiliang Cong, S. C. (2010). *“Investigation of the Properties of Epoxy Resin-Modified Asphalt Mixtures for Application to Orthotropic Bridge Decks”*. Wuhan, China: Universidad Tecnológica de Wuhan.
- Peiliang Cong, S. C. (2011). *“Compatibility and Mechanical Properties of Epoxy Resin Modified Asphalt Binders”*. shangai: International Journal of Pavement Research and Technology.
- Perea, J. y Campuzano, L. . (2024). *Metodología para diseño de pavimento asfáltico reciclado, y su aplicación en capas de rodadura de vías urbanas*. Recuperado el 2024, de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/23093>
- Quian Zhang, Y.-h. X. (2017). *influence of water borne epoxy resin compound SBR modified emulsified asphalt for tack coat*. Wuhan: construction and building materials.
- Ramirez. (2006). *Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco” de la Universidad De Chile en el 2006*. Chile: Universidad de Chile.
- Rebollo, H. D. (2017). *Ahuellamiento En Pavimentos Asfálticos Utilizando Geosinteticos*. Buenos Aires Argentina: Centro De Investigaciones Viales De La Universidad Tecnológica Nacional.
- Reyes, G. (2020). *COMPORTAMIENTO FISICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN EL DISTRITO DE MAZAMARI, PROVINCIA DE SATIPO. HUNCAYO- PERÚ: UNIVERSIDAD PERUANA DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA*.
- Sanchez, N. (2011). *El modelo de gestión y su incidencia en la provisión de los servicios de agua potable y alcantarillado en la municipalidad de tena*. Ambato,ecuador.
- Serrano, O. y Villanueva, J. (2022). *Diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la avenida Juan Velasco Alvarado, distrito de Pillco Marca, Huánuco, 2022*. Recuperado el 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2388>
- Tancara, Q. (1993). la investigacion documental. *scielo.org*, 91.
- Villar, E. G. (2017). *Metodologia Del Ensayo De Tracción Indirecta Sobre El Pavimento* . lima : Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas.
- Zúñiga, R. (Junio de 2015). *LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD* . Obtenido de MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE:

<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asf%C3%A1lticas.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: Procedimientos y ensayos

- 1) Recolección de los materiales a emplear y trasladado al laboratorio
- 2) Diseño y análisis de muestra con resina epóxica.
- 3) Pruebas físicas: flujo, granulometría, viscosidad.
- 4) Prueba de Marshall y mecánicas.
 - análisis granulométrico (ASTM D)
 - Ensayo de penetración (MTC E 304)
 - Punto de ductilidad del residuo (MTC E 306)
 - Ensayo de estabilidad Marshall (MTC E 504) para concreto asfáltico con resina epoxica.
 - Ensayo de Inmersión Compresión (MTC E 518).
 - Ensayo de Dureza (método Brinell)

ANEXO 2: Matriz de consistencia

Matriz de consistencia						
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables e indicadores			
			Variable independiente			Tipo y diseño de investigación
			Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	
¿Cuál será las propiedades y el comportamiento físico-mecánicas de la MAC modificadas con resina epoxica, para San Jerónimo- Cusco?,	Analizar las propiedades y el comportamiento físico-mecánico de la MAC modificada con resina epoxica, para el distrito San Jerónimo región de Cusco.	Al adicionar resina epóxica a las MAC, esta mejorara sus propiedades físico-mecánicas para ser usadas en el distrito San Jerónimo de la región de Cusco.	Cantidad de resina epóxica utilizada en la mezcla	Porcentaje de resina presente %	Pruebas de laboratorio	Enfoque de la investigación: cuantitativo.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis especifica	Variable dependiente			Investigación de tipo: Aplicada
			Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	

<p>¿Cómo será la estabilidad, flujo, granulometría y viscosidad de la mezcla modificada con las resinas epoxicas?</p>	<p>✓ Determinar la estabilidad, flujo, granulometría y viscosidad de la mezcla modificada con las resinas epoxicas, .</p>	<p>La incorporación de resinas epóxicas a la mezcla asfáltica de forma controlada prestara una mejora considerable a las propiedades de flujo, granulometría y viscosidad, logrando mayor estabilidad y flexibilidad, y resistencia a las deformaciones.</p>	<p>Pruebas de Marshall</p>	<p>Contenido de asfalto</p>	<p>Análisis de laboratorio</p>	<p>Nivel de la investigación: correlacional y descriptivo.</p>
<p>Granulometrías</p>	<p>Análisis de laboratorio Análisis de laboratorio</p>					

<p>¿ son similares las propiedades y comportamiento de las mezclas modificada y tradicional de acuerdo las pruebas y ensayos certificados?</p>	<p>Realizar la comparación de las propiedades y comportamiento de las mezclas modificada y tradicional de acuerdo las pruebas y ensayos certificados.</p>	<p>las propiedades y comportamiento de las mezclas modificada serán significativamente mejores a la mezcla tradicional de acuerdo a los ensayos certificados</p>	<p>Estabilidad</p>		
<p>✓ ¿Es factible económicamente en relación costos - beneficios el uso de mezclas con resinas epóxicas para el distrito San Jerónimo-Cusco?</p>	<p>Evaluar la relación de costos y beneficios que propone la incorporación de resinas epóxicas a la mezcla asfáltica para el distrito San Jerónimo Cusco.</p>	<p>existirá un mayor beneficio económico en cuanto a costos a largo plazo en el uso de Mac con resinas epóxicas en el distrito San Jerónimo Cusco.</p>			

<p>✓ ¿cuál es el diseño del pavimento flexible adicionando la resina epoxica en San Jerónimo?</p>	<p>✓ determinar el diseño del pavimento flexible adicionando la resina epoxica en San Jerónimo.</p>	<p>existirá un diseño optimo del pavimento flexible en la localidad de San Jerónimo Cusco con la adicción de la resina epoxica</p>		<p>flujo</p>	<p>Análisis de laboratorio</p>	<p>Diseño de la investigación: experimental, cuasi-experimental</p>
---	---	--	--	--------------	--------------------------------	---

Anexo n°3: Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Definición conceptual	Definición operacional	indicadores	Unidad	Escala de medición

<p>Porcentaje de resina epóxica</p>	<p>Cantidad de resina epóxica utilizada en la mezcla</p>	<p>Las resinas son el producto de la reacción entre una base epoxi y un endurecedor que se basan en anhídrido o una sustancia amónica. El resultado de este proceso reactivo se da el aumento del tamaño de las moléculas que se van formando y cuyo crecimiento da como resultado un material rígido, este proceso es denominado como curado. (Jaraillo, Morales, Betancur, Cruz, & Piedad, 2004)</p>	<p>Se realizó un estudio documentado sobre los cambios en las características de las mezclas asfálticas según la cantidad de resina epóxica presente en esta y como alteran los comportamientos mecánicos de estas. Para este estudio se busca analizar los porcentajes óptimos de resina epóxica en la mezcla.</p>	<p>Porcentaje de resina presente</p>	<p>%</p>	<p>Ordinal</p>
-------------------------------------	--	--	---	--------------------------------------	----------	----------------

<p>Características de la Mezcla asfáltica</p>	<p>Pruebas de Marshall</p>	<p>Las mezclas asfálticas calientes son compuestos creados a partir de la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante, como son los aditivos requeridos y el hidrocarburo de manera que, la mezcla asfáltica sea recubierta en totalidad por una membrana uniforme de ligante entre ellos, son las cantidades relativas de ligante y áridos que determinan las propiedades físicas de la mezcla (Zúñiga C. 2015).</p>	<p>Para el estudio de las características se prepararan muestras con diferentes porcentajes de cemento asfáltico para el concreto asfáltico convencional y diferentes porcentajes de resinas epóxicas para el concreto asfáltico modificado y luego se ensayaron en el aparato Marshall para determinar la carga de rotura.</p>	<p>Contenido de asfalto de %</p>	<p>Razón</p>
---	----------------------------	--	---	----------------------------------	--------------

				Granulometría	%	Razón
				Estabilidad	Kg	Intervalo
				Flujo	0,01 plug	Intervalo

ANEXO 4 : Reportes de laboratorio

Proporción de partículas presentes en las mezclas asfálticas; la muestra asfáltica analizada, presentó 8,10% de partículas chatas y alargadas.

TAMAÑO DE MALLAS		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO PARA ENSAYO	PESO PART. CHAT. Y ALARG.	% DE PART. CHAT. Y ALARG.	
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	Li X Ri
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	
50mm(2")	37.50mm(1 1/2")						
37.50mm(1 1/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	36	6.99	360
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	45	9.28	450
TOTAL		1,000.0	100.00				810

% DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS PROMEDIO	Sumatoria (Li x Ri)
	Sumatoria Ri

Reemplazando en la formula	:	810.00		100.00
% de particulas chatas y alargadas promedio	:	8.10		%



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería y Construcción
ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81932

Proporción de partículas de dos caras fracturadas; la muestra presentó un 65,80% de partículas para dos caras fracturadas, por lo que mantiene más del 50% de su constitución normal ante una fractura de doble cara.

Presiona Esc para salir de pantalla completa



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MODIFICADAS CON RESINA EPÓXICA – CUSCO – CUSCO - SAN JERONIMO
SOLICITANTE: COTRADO MAMANI, WILSON

CANTERA : CUSCO **TECN. RESP.** : PERSONAL LABORATORIO
MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 3/4" **ING. RESP.** : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO **FECHA** : 20/12/2023

DETERMINACION DE PARTICULAS DE MAS DE 02 CARAS FRACTURADAS

PESO TOTAL DE LA MUESTRA 1,000.0 GRAMOS

TAMAÑO DE MALLAS		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO PARA ENSAYO	PESO PART. MAS 02 CARAS	% DE PART. MAS 02 CARAS	
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	Li X Ri
50mm(2")	37,50mm(11/2")						
37,50mm(11/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	316.00	61.36	3.160
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	342.00	70.52	3.420
TOTAL		1,000.0	100.00				6,580

% DE PARTICULAS MAS 02 CARAS : $\frac{\text{Sumatoria (Li x Ri)}}{\text{Sumatoria Ri}}$

FRACTURADAS PROMEDIO

Reemplazando en la formula : $\frac{6,580.00}{100.00}$

% de particulas de mas de 02 caras fracturadas promedio : 65.80 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería, Construcción y Mantenimiento

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. QUIT 81732

Gravedad específica y absorción para agregado grueso y fino

Presiona Esc para salir de pantalla completa



GEOTECNIA PUNO EIRL

**MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA**



PROYECTO : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MODIFICADAS CON RESINA EPOXICA – CUSCO – CUSCO - SAN JERONIMO
SOLICITANTE: COTRADO MAMANI, WILSON

CANTERA : CUSCO
MUESTRA : AGREGADO GRUESO Y FINO
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

TECN. RESPN. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPN. : ALFREDO ALARCON AT/7
FECHA : 20/12/2023

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C-128)

AGREGADO GRUESO				
DISCRIMINACION		N° DE MUESTRA		
		1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire)	g	410.0	758.0	698.0
B. Peso material saturado superficialmente seca (en agua)	g	248.6	460.1	425.3
C. Volúmen de masa + volúmen de vacíos	cm3	161.4	297.9	272.7
D. Peso material seco	g	402.0	742.0	687.0
E. Volúmen de masa	cm3	153.4	281.9	261.7
F. Peso Especifico Bulk (base seca)	g/cm3	2.491	2.491	2.519
G. Peso Especifico Bulk (base saturada)	g/cm3	2.54	2.544	2.56
H. Peso Especifico Aparente (base seca)	g/cm3	2.621	2.632	2.625
I. Absorción	%	1.99	2.16	1.60

AGREGADO FINO CHANCADA				
DISCRIMINACION		N° DE MUESTRA		
		1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire)	g	499.0	445.5	568.2
B. Peso material saturado superficialmente seca (en agua)	g	303.2	269.2	345.5
C. Volúmen de masa + volúmen de vacíos	cm3	195.8	176.3	222.7
D. Peso material seco	g	487.0	435.5	555.2
E. Volúmen de masa	cm3	183.8	166.3	209.7
F. Peso Especifico Bulk (base seca)	g/cm3	2.487	2.47	2.493
G. Peso Especifico Bulk (base saturada)	g/cm3	2.549	2.527	2.551
H. Peso Especifico Aparente (base seca)	g/cm3	2.65	2.619	2.648
I. Absorción	%	2.46	2.30	2.34

Observación:

GEOTECNIA PUNO EIRL
Ingeniería de Proyectos, Consultoría, Estudios y Construcción



ALFREDO ALARCON STARBUACH
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 81732

Gravedad específica y absorción para agregado fino

Presiona Esc para salir de pantalla completa



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MODIFICADAS CON RESINA EPÓXICA – CUSCO – CUSCO -

CANtera : CABANILLAS **TECN. RESPN** : PERSONAL LABOR.

MUESTRA : AGREGADO FINO **ING. RESPN** : ALFREDO ALARCON A

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO **FECHA** : 20/12/2023

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION
(ASTM C-128)

AGREGADO FINO NATURAL			
DISCRIMINACION	N° DE MUESTRA		
	1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire) g	300.0	300.0	300.0
B. Peso frasco + H ₂ O g	676.5	667.2	668.3
C. Peso frasco + H ₂ O + (A) g	976.5	967.2	968.3
D. Peso material + H ₂ O en el frasco g	857	851	850.4
E. Volúmen de masa + volúmen de vacios cm ³	119.5	116.2	117.9
F. Peso material seco g	293.0	293.1	293.4
G. Volúmen de masa cm ³	112.5	105.0	111.3
H. Peso Especifico Bulk (base seca) g/cm ³	2.452	2.522	2.489
I. Peso Especifico Bulk (base saturada) g/cm ³	2.51	2.582	2.545
J. Peso Especifico Aparente (base seca) g/cm ³	2.604	2.791	2.636
K. Absorción %	2.39	2.35	2.25

Observación:

GEOTECNIA PUNO EIRL,
Ingeniería de Suelos, Pavimentos y Cimentación



ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. O.R. 81732

Prueba de desgaste de abrasión; la prueba resultó que la muestra asfáltica presentó un 25% de desgaste por abrasión.

		GEOTECNIA PUNO EIRL MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA			
PROYECTO : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MODIFICADAS CON RESINA EPÓXICA – CUSCO – CUSCO - SAN JERONIMO SOLICITANTE: COTRADO MAMANI, WILSON					
CANTERA : CUSCO		TECN. RESP. : PERSONAL LABOR.			
MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 1/2"		ING. RESP. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI			
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO DE LA OBRA		FECHA : 20/12/2023			
DESGASTE DE ABRASION ASTM C131, MTC E 207 (Gradación "A")					
TAMAÑO DE MALLAS		MASA ORIGINAL	MASA FINAL	MASA PERDIDA	% DE DESGASTE
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(GRAMOS)	DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	POR ABRASION
38.1mm(1 1/2")	25.4mm(1")		.....	.....	.....
25.4mm(1")	19.0mm(3/4")		.....	.....	.....
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	2,504.0	.....	.....	.....
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	2,501.0	.....	.....	.....
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		5,005.0	3,751.00	1,254.00	25.05%
OBSERVACIONES:					
 GEOTECNIA PUNO EIRL. <small>Registado en el MTC - Oficina de Registro y Contratación</small> ALFREDO ALARCON ATAHUACHI INGENIERO CIVIL Reg. 508 81732					



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

OBRA : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MODIFICADAS CON RESINA EPÓXICA – CUSCO – CUSCO - SAN JERONIMO
SOLICITANTE: COTRADO MAMANI, WILSON

CANTERA : SAN SALVADOR CUSCO **TECN. RESPONS.** : PERSONAL LABOR.

MUESTRA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE **ING. RESPONS.** : ALFREDO ALARCON A.

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO **FECHA** : 11/01/2024

NUMERO DE BRIQUETA	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
PORCENTAJE RESINA EPOXICA	15.00	15.00	15.00		
1 Altura promedio de la Briqueta	8.30	6.65	6.70		
2 Peso de la Briqueta al Aire	1243	1200	1202		
3 Peso de la Briqueta mas parafina al Aire	1245	1202	1204		
4 Peso de la Briqueta al agua	684	667	663		
5 Volumen de la briqueta por desplazamiento	559.00	533.00	539.00		
6 Peso Unitario	2.224	2.251	2.230	2.235	
7 Estabilidad sin corregir (Kg)	3196	3498	3351		
8 Factor de Estabilidad	0.89	0.96	0.93		
9 Estabilidad Corregida (Kg)	2844	3358	3116	3106	Min. 815
10 Flujo (mm)	1.20	0.90	1.00	1.033	2.0 - 4.0
11 Relación E / F (Kg/mm)	23704	37312	31164	30727	1700-4000

OBSERVACIONES:

Los testigos fueron proporcionados por el cliente.

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería Técnica: Suelos, Pavimentos y Cimentación

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. C.R. 81732

ANEXO 5: Panel fotográfico

En el anexo se observa la toma de muestras de asfalto para ser modificado con la inclusión de la resina epoxica.

Figura Anexo 5.1



Se muestra en la figura la toma de muestra del asfaltado deteriorado para llevarlo al laboratorio.

Figura Anexo 5.2



Se muestra en la imagen la cantera del agregado con la que se trabajara.

En las figuras posteriores se observa la realización de la prueba de tamizado o granulometría.

Figura Anexo 5.3



Se muestra en la figura el tamizado del agregado en el laboratorio.

Figura Anexo 5.4



Se muestra en la figura pesando el agregado para su control.

En las imágenes se observa la preparación de los especímenes de trabajo para el ensayo de abrasión en la máquina Los Ángeles.

Figura Anexo 5.5



En la figura se muestra los resultados de los diferentes tamaños del agregado.

Figura Anexo 5.6



Se muestra en la figura agregando el agregado para el control de su dureza.

Preparación de las muestras asfálticas por concentración de resina epoxica.

Figura anexa 5.7



Se muestra en la figura realizando el pesado de las briquetas.

Figura Anexo 5.8



Se muestra en la figura las briquetas realizadas con diferentes % de Resina Epóxica

Preparación de las muestras para ensayo Marshall.

Figura anexa 5.9



Se muestra en la figura agregando la resina epoxica en un 5%

Figura Anexo 5.10



Se muestra en la figura realizando la prueba de Marshall.