



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECANICA A LA
DEFORMACIÓN PERMANENTE DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL CON GRADACIÓN MAC TIPO II Y ASTM 3515,
TARAPOTO 2021”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

M.Sc. Ing. PAREDES AGUILAR LUIS

AUTOR:

**CORDOVA CARBAJAL, JUAN JUNIOR.
SANCHEZ LLONTOP, DELIA OTILIA.**

**TARAPOTO – PERÚ
2021**

DEDICATORIA

Dedicada a mi mamita Hilda que con su amor, perseverancia y sacrificios me permite cumplir mi meta profesionalmente, y por inculcar en mi valentía para vencer adversidades, gracias por ser la estrella bonita que me guía.

A mi hija Kristen por sus oraciones, su cariño y palabras de aliento que me hacen ser mejor persona y que me acompañan en mis metas y ser fuente de motivación.

A mi novio Junior por creer en mí, y ser la persona que me acompaña y me apoya en mis sueños y metas.

Delia Otilia Sánchez Llontop

Dedico a mis padres Juan y Dolores que han sido una inspiración para mí y el más grande apoyo a lo largo de mi carrera, por estar siempre presentes para apoyarme moral y psicológicamente. A mi hermanita Aixa, por siempre brindarme su cariño y compañía. También va dedicado a mis hijos Ian y Hassan quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ellos.

Juan Junior Córdova Carbajal

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a mi Padre celestial, por ser el forjador de mi camino.

Y finalmente, a mi Fam. Gamarra Llontop por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en mis momentos más difíciles y por su cariño brindado, mil gracias por todo, siempre los llevo conmigo.

Delia Otilia Sánchez Llontop

Tus esfuerzos son impresionantes y tu amor es para mí invaluable. Me has educado, me has proporcionado todo y cada cosa que he necesitado. Tus enseñanzas las aplico cada día; de verdad que tengo mucho por agradecerte. Tus ayudas fueron fundamentales para la culminación de mi tesis, gracias mamita.

Gracias al apoyo constante de mi MASHA Harry por su ayuda en el desarrollo de esta tesis y en especial agradecimiento a mi compañera de vida Delita por motivarme e impulsarme a mejorar y desarrollarme profesionalmente; gracias a todos.

Juan Junior Córdova Carbajal

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 28 de octubre del 2021 a las 07.30 p.m.



M.Sc. Ing. CALEB RÍOS VARGAS
PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ISAAC DUHAMEL CASTILLO CHALCO
MIEMBRO DEL JURADO



M.Sc. Ing. LUIS PAREDES AGUILAR
ASESOR

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:


La Tesis titulada:

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECANICA A LA DEFORMACIÓN
PERMANENTE DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON
GRADACIÓN MAC TIPO II Y ASTM 3515, TARAPOTO 2021”**

De los alumnos: **CORDOVA CARBAJAL JUAN JUNIOR Y SANCHEZ LLONTOP
DELIA OTILIA**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente
la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **10% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que
estime conveniente.

San Juan, 21 de Octubre del 2021.














Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

Document Information

Analyzed document	UCP_2021_INGENIERIA_TESIS_JUANCORDOVA_DELIASANCHEZ_V1.pdf (D115967850)
Submitted	2021-10-21 17:57:00
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	10%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt516.pdf Fetched: 2021-10-21 18:01:00		2
SA	12621-Paz Malca, William Luis.pdf Document 12621-Paz Malca, William Luis.pdf (D110169385)		6
SA	Tesis Orellana Solano.pdf Document Tesis Orellana Solano.pdf (D56376866)		2
SA	TESIS MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO TRITURADO(FATIMA-JONATHAN).docx Document TESIS MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO TRITURADO(FATIMA-JONATHAN).docx (D55577307)		1
W	URL: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21259/Villafana%20Huam%C3%A1n%2052C%20Gerardo%20Luis%20-%20%20Ram%C3%ADrez%20Villanueva%252C%20Ra%C3%BAI%20Mauricio%20.pdf?sequence=3&isAllowed=y Fetched: 2021-10-21 18:01:00		14
SA	tesis imprimir.pdf Document tesis imprimir.pdf (D15042429)		1
SA	1470689295_14__GRUPO4_INVESTIGACION.doc Document 1470689295_14__GRUPO4_INVESTIGACION.doc (D21346688)		4
SA	Tesis Romel Daniel Ortiz Huamán.docx Document Tesis Romel Daniel Ortiz Huamán.docx (D113813209)		6
SA	TESIS FINAL.pdf Document TESIS FINAL.pdf (D46782241)		3
SA	T3_TALLER DE TESIS II_VELASQUEZ VARGAS VICTOR MANUEL (1).doc Document T3_TALLER DE TESIS II_VELASQUEZ VARGAS VICTOR MANUEL (1).doc (D110115315)		2
SA	REGALADO-EFRAIN-Y-REGALADO -DARING-INVESTIGACIONII-GRUPO-B-ICIVIL2018IUSS.pdf Document REGALADO-EFRAIN-Y-REGALADO -DARING-INVESTIGACIONII-GRUPO-B-ICIVIL2018IUSS.pdf (D40514336)		3

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 674-2021-UCP-FCEI del 30 de setiembre de 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|--|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M.Sc. | Miembro |
| • Ing. Isaac Duhamel Castillo Chalco. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Luis Paredes Aguilar, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 07:30 horas del día 28 de octubre del 2021, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON GRADACIÓN TIPO MAC TIPO II Y ASTM 3515, TARAPOTO 2021 ”.**

Presentado por los sustentantes:

JUAN JUNIOR CORDOVA CARBAJAL y DELIA OTILIA SANCHEZ LLONTOP

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS.**

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE CATORCE (14).**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compagnon 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
APROBACIÓN.....	4
RESUMEN	12
ABSTRAC	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Título:.....	14
1.2. Área y Línea de investigación:	14
1.3. Planteamiento del Problema.....	14
1.4. Formulación de Problema	15
1.4.1. Problema General.....	15
1.4.2. Problemas Específicos	15
1.5. Objetivos	15
1.5.1. Objetivo General	15
1.5.2. Objetivos específicos	15
1.6. Justificación de la Investigación.....	16
1.7. Antecedentes del estudio:.....	17
1.7.1. Antecedentes Internacionales:	17
1.7.2. Antecedentes Nacionales:.....	19
1.7.3. Antecedentes Locales:.....	21
1.8. Bases Teóricas	23
1.9. Definición de Términos Básicos.....	59
1.10. Hipótesis:	62
1.10.1. Hipótesis General.....	62
1.10.2. Hipótesis Específicas.....	62
1.11. Variables:.....	62
Variable Independiente	62
Variable Dependiente.....	62
1.12. Definición conceptual y operacional de las variables.	62
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	64
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	64
Población:	64

Muestra:.....	64
2.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	65
2.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	65
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
3.1. Resultados.....	66
3.1. Discusión	77
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
4.1. CONCLUSIONES:.....	78
4.2. RECOMENDACIONES:	79
CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
CAPÍTULO VI: ANEXOS	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ahuellamiento	25
Ilustración 2: Corrimiento	26
Ilustración 3: Exudación	27
Ilustración 4: Peladura.....	30
Ilustración 5: Fisura Transversal	31
Ilustración 6: Fisura en Bloque	32
Ilustración 7: Fisura de Piel de Cocodrilo	33
Ilustración 8: Composición química del asfalto.....	36
Ilustración 9: VMA en una probeta de mezcla compactada	47
Ilustración 10: Representación de la Composición Típica de una Mezcla Asfálti.	48
Ilustración 11: Conducta visco-elástica.	50
Ilustración 12: Envejecimiento del Asfalto	51
Ilustración 13: Máquina de Ensayo Hamburg Wheel-Tracking.....	56
Ilustración 14: División de resultados en el método de la rueda.....	57
Ilustración 15. Esquema de experimento y variables	64
Ilustración 16: Número de Pasadas	74
Ilustración 17: Porcentaje de Vacíos	75
Ilustración 18: Profundidad Final de Ahuellamiento	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Efecto en la Carpeta Asfáltica	28
Tabla 2: Efecto en la Carpeta Asfáltica	33
Tabla 3: Efecto en la Carpeta Asfáltica	34
Tabla 4: Efecto en la Carpeta Asfáltica	35
Tabla 5: Requerimientos para los agregados gruesos.	41
Tabla 6: Requerimientos para los agregados finos.	42
Tabla 7: Gradación Convencional.	43
Tabla 8: Husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente	44
Tabla 9: Selección del tipo de cemento.....	49
Tabla 10: N° de golpes por cara para metodología MARSHALL.....	53
Tabla 11: Factores de Estabilidad de Correlación.....	55
Tabla 12: Requerimientos para los Agregados Gruesos.....	66
Tabla 13: Requerimientos para los Agregados Finos.....	67
Tabla 14: Husos granulométricos especificados	68
Tabla 15: Mezclas en Caliente	68
Tabla 16: Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración ..	69
Tabla 17; Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad	69
Tabla 18: Resultados de Numero de Pasadas	74
Tabla 19: Valores de Porcentaje de Vacíos	75
Tabla 20: Profundidad Final de Ahuellamiento.....	76

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis consiste en hacer una comparación de dos mezclas asfálticas utilizando la granulométrica MAC-2 y ASTM-3515, para ello se utilizó el ensayo de la Rueda de Hamburgo, finalmente se analizaron cuál de estas dos mezclas tiene una mejor resistencia ante la deformación permanente.

Teniendo en cuenta que la mezcla asfáltica con gradación ASTM-3515, cumple con la norma AASHTO T-324, que solicita 20 000 pases, a lo que la gradación MAC-02 no cumple con lo solicitado por la norma y no presenta un buen desempeño al Ahuellamiento y presenta desprendimiento de los agregados.

Los ensayos de desempeño realizados buscan determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas a los problemas más frecuentes que se presentan en las mezclas asfálticas como es la resistencia a la deformación permanente, por lo que se realizaron el ensayo de la Rueda de Hamburgo con la finalidad de determinar la susceptibilidad a la deformación permanente o Ahuellamiento. Estos ensayos permitirán determinar el desempeño de las mezclas asfálticas y su comportamiento en servicio.

Palabras Claves: Rueda de Hamburgo, deformación Permanente, MAC, ASTM

ABSTRAC

The objective of this thesis is to make a comparison of two asphalt mixtures using the MAC-2 and ASTM-3515 gradation, using the Hamburg Wheel test, and finally to analyze which of these two mixtures has a better resistance to permanent deformation.

Taking into account that the asphalt mixture with ASTM-3515 gradation complies with the AASHTO T-324 standard, which requires 20,000 passes, the MAC-02 gradation does not comply with the requirements of the standard and does not have a good rutting performance and presents detachment of the aggregates.

The performance tests carried out seek to determine the behavior of the asphalt mixtures to the most frequent problems that occur in asphalt mixtures, such as resistance to permanent deformation, so the Hamburg Wheel test was carried out to determine the susceptibility to permanent deformation or rutting. These tests will allow determining the performance of the asphalt mixes and their behavior in service.

Key words: Hamburg wheel, permanent deformation, MAC, ASTM

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Título:

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON GRADACIÓN MAC TIPO II Y ASTM 3515, TARAPOTO 2021.

1.2. Área y Línea de investigación:

Área : Ingeniería y Tecnología.

Línea : Diseño de Mezclas Asfálticas.

1.3. Planteamiento del Problema

Está demostrado que la durabilidad de los pavimentos asfálticos está influenciada directamente por el clima del lugar donde están ubicados. Además, se deben considerar otros parámetros como la magnitud y frecuencia de las cargas de tránsito, las propiedades de los materiales que lo conforman, las características de la subrasante, la humedad, el proceso constructivo, entre otros. Estos parámetros, en su conjunto, afectan sensiblemente el desempeño del pavimento y su potencial para desarrollar fallas por deformación permanente.

La actual condición de servicios de muchas de las principales vías de comunicación de la Ciudad de Tarapoto se encuentra deteriorada debido fundamentalmente a la falta de un diseño de pavimento flexible adecuado que pueda soportar las cargas de tráfico, y al incremento de vehículos de mayor tamaño y carga, como ejemplo tenemos la vía Evitamiento, carretera Fernando Belaunde Terry y Jr. circunvalación Cdra. 23, etc.

Por tal motivo se realiza el presente Proyecto de Tesis denominado: “**Evaluación de la Resistencia Mecánica a la Deformación Permanente de una Mezcla Asfáltica Convencional con Gradación MAC TIPO II y ASTM 3515, Tarapoto 2021**”, con la finalidad de analizar cuál de estas dos mezclas es la más óptima ante el problema de la deformación permanente en las carpetas asfálticas, para esta evaluación se utilizaran

briquetas con gradación Mac tipo II y ASTM 3515, utilizando el ensayo de ruedas de Hamburgo, y llegando a la conclusión cuál de estos tiene mejor resistencia y dar como recomendación su uso.

1.4. Formulación de Problema

1.4.1. Problema General

¿De qué manera se determinará la resistencia mecánica a la deformación permanente de una Mezcla Asfáltica convencional con Gradación MAC TIPO II y ASTM 3515, Tarapoto 2021?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se determinará los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica con gradación Mac Tipo II?
- ¿Cómo se determinará los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica con gradación ASTM 3515?
- ¿Cómo se determinará cuál de las dos mezclas asfálticas tiene mejor resistencia a la deformación permanente, mediante el ensayo de rueda de Hamburgo?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la resistencia mecánica a la deformación permanente de una Mezcla Asfáltica Convencional con Gradación MAC TIPO II y ASTM 3515, Tarapoto 2021

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica con gradación Mac Tipo II
- Determinará los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica con gradación ASTM 3515

- Determinar cuál de las dos mezclas asfálticas tiene mejor resistencia al Ahuellamiento, mediante el ensayo de rueda de Hamburgo.

1.6. Justificación de la Investigación

Justificación técnica

Se trata de evaluar y saber cuál de los diseños de mezcla asfáltica, sea la realizada con el método Mac Tipo II el método ASTM-3515, es la que nos ofrecerá un mayor desempeño y por consiguiente la mayor vida útil, mayor resistencia a cargas elevadas y constantes y a distintas temperaturas para lo cual, se realiza el presente estudio, donde se analiza intrínsecamente cada una de las mezclas asfálticas.

Por Utilidad Metodológica.

La elaboración y aplicación de cada una de las variables ya sea independiente o dependiente pretende de alguna manera adecuarse a los pasos del método científico para realizar estudios experimentales en el ámbito de la ingeniería civil, el cual será validado con los resultados de laboratorio para ser utilizado en el futuro en forma segura y confiable.

Por Implicancia Práctica.

El presente proyecto se realiza porque existe la necesidad de brindar mejores condiciones respecto al nivel de desempeño de la resistencia a la deformación permanente sin aumentar el costo de la mezcla asfáltica por metro cuadrado utilizando otros recursos como alternativa en la construcción.

Por Relevancia Social

Tiene la finalidad de dar mejores condiciones de construcción de las carpetas asfálticas en la región, que busca mejorar la calidad de vida de las personas sin tener que invertir en exceso en las investigaciones, así mismo se pretende proveer una construcción sostenible, sustentable y amigable con el medio ambiente.

1.7. Antecedentes del estudio:

1.7.1. Antecedentes Internacionales:

Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una **Publicación del Instituto Mexicano del Transporte, Autores: Paul Garnica Anguas, Horacio Delgado Alamilla y Carlos Daniel Sandoval Sandoval, Titulada “Análisis Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas”, México, que llegan a las siguientes conclusiones:**

- La metodología Superpave ha demostrado tener importantes avances en lo que se refiere a la selección del ligante asfáltico; las mezclas de agregados; y la compactabilidad de la mezcla asfáltica. Por otro lado, una ventaja que puede mencionarse al método Marshall es la gran versatilidad de su equipo para llevar a cabo acciones de control de calidad en campo.
- Para la mezcla asfáltica en estudio, la variación entre los contenidos de asfalto determinados por los métodos Superpave y Marshall parece ser independiente tanto del valor de vacíos de aire, como del contenido de asfalto. Se obtuvo un valor de d (CA) de aproximadamente 0.4% para el rango de vacíos de aire en estudio, lo que implica que las curvas V_a - $\%CA$ permanecen casi paralelas cuando menos dentro de este rango.
- En el método Marshall, el tipo de ligante puede ser determinante en la selección del contenido óptimo ya que existen otros parámetros que influyen en el diseño, como la estabilidad y el flujo; pruebas que se llevan a cabo a 60°C independientemente del tipo de ligante asfáltico que se utilice.
- Mediante la determinación de N_{eq} para la mezcla en estudio, se puede observar que el método Marshall podría no estar simulando adecuadamente la densificación producida por el tránsito esperado en la vida de servicio, lo que tendería a dar lugar a mezclas potencialmente susceptibles a presentar deformaciones permanentes.

Además, tenemos conocimiento de la Tesis de los Autores: Pineda Jacho Edwin Santiago y Hernández Andrade Carlos Andrés, Titulada “Comparación de Diseños de Mezclas Asfálticas Empleando el Método Marshall y el Compactador Giratorio Superpave”, Guayaquil – Ecuador – 2014, que llegan a las siguientes conclusiones:

- El método Marshall tiene gran versatilidad para realizar controles de obra en campo ya que sus equipos son fáciles de trasladar, es menos costoso y hay menos riesgo de cometer errores, sin tener en cuenta que es un procedimiento muy conocido en el mundo entero que sigue siendo altamente funcional, arrojando datos válidos.
- Incluso según lo estudiado, las comparaciones entre Superpave y Marshall generalmente resultan para V_a de 4% un contenido de asfalto menor en 0,4-0,5% en Superpave, sin embargo, las normas de Marshall permiten que su CA se maneje en un rango de (+ -) 0,5%, lo que indicaría que Marshall permite funcionar perfectamente dentro del rango de valores de Superpave.
- El punto a tener en cuenta, a favor de Superpave, es el CGS. Ya que este genera en el material efectos mucho más parecidos a los que sufriría en el campo al ser sometido a la compactación por un rodillo vibratorio.
- En el método Marshall se realizan pruebas de estabilidad y flujo a 60° C, por lo que resulta determinante el ligante asfáltico escogido, debido a ser pruebas que se realizan independientemente.
- En el método Superpave hay grandes avances en la selección del ligante asfáltico, las mezclas de agregados y la compactabilidad de la mezcla asfáltica; sin embargo, cabe recalcar que son fundamentales las propiedades del agregado, ya que son clave en la deformación permanente. Por esto la tecnología Superpave desarrolló una nueva forma de especificación de la granulometría. Este a pesar de ser otro punto a favor podría resultar en contra, ya que para Marshall la granulometría es mucho más simple, haciendo mucho más práctica su obtención.

1.7.2. Antecedentes Nacionales:

Además, tenemos conocimiento de la Tesis de los Autores: Patricia Elizabeth Cahuana Huayanca y Herless Limas Sifuentes, Titulada “Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modificada Con Betutec IC + Aditivo Warmix Respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional”, de la Universidad de San Martín de Porres, Lima- Perú - 2018, presenta las siguientes conclusiones:

- La incorporación de Betutec IC + aditivo Warmix mejora significativamente el comportamiento mecánico de la mezcla modificada respecto a la mezcla asfáltica convencional. Se obtuvieron los siguientes beneficios: incremento de la Fluidez, Estabilidad, Densidad, Espacios vacíos del agregado mineral y la reducción de espacios vacíos de la mezcla asfáltica, los cuales se traducen en mayor durabilidad ante agentes agresores e incrementa la vida útil del pavimento.
- La Estabilidad de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de aditivo es significativamente superior a la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en 30.15%. 89
- El Flujo de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de aditivo es superior en 3.01% a la convencional.
- La Densidad de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de aditivo es superior a la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en 1.55%.
- Los espacios vacíos de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de aditivo, es menor en 24.39% al convencional.
- Los espacios vacíos del agregado mineral de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de aditivo, es mayor en 2.65% al convencional.

Además tenemos conocimiento de la Tesis del autor: Aguilar Velásquez, Dedky Antonella, Titulada “Análisis de Desempeño por Humedad de una Mezcla Asfáltica Convencional con Gradación Marshall y Superpave”, de la Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa – Perú 2019, presenta las siguientes conclusiones:

- Se trabajó con dos mezclas asfálticas, una con la granulometría MAC-01 cuyas proporciones son 46.7% de agregado grueso y 53.3% de agregado fino, y otra con granulometría SUPERPAVE con tamaño máximo nominal (TMN) de 19mm cuyas proporciones son 66.3% de agregado grueso y 37.3% de agregado fino. El contenido óptimo de asfalto para MAC-01 es 4.70% y para SUPERPAVE es 4.39%.
- En el análisis densidad-vacíos los valores de (V.M.A.) vacíos del agregado mineral de MAC-01 son mayores en 0.55% con respecto a los valores de SUPERPAVE. Esto nos indica que SUPERPAVE presenta menos permeabilidad y por lo tanto menos pasajes por los cuales el aire y el agua entren y deterioren el pavimento. Por otro lado, la estabilidad y flujo para MAC-01 resulta 1142.86 kgf y 4.28 mm y para SUPERPAVE es 992.14 kgf y 3.88 mm. Indicando que MAC-01 presenta más resistencia a las cargas desarrolladas a 60C, una estructura con mayor fricción y cohesión interna, es más rígida y resistente al ahuellamiento.
- El valor del ensayo TSR para MAC-01 es 82.91% y para SUPERPAVE es 81%, ambos cumplen con la especificación AASHTO T 283 que solicita un valor de TSR mayor al 80%. Indicándonos que MAC y SUPERPAVE tienen baja susceptibilidad a la acción del agua a corto plazo. Además, MAC-01 es mayor en 1.91% que SUPERPAVE lo que indica que tiene menor susceptibilidad al daño por humedad y mayor adherencia e interacción agregado-asfalto

1.7.3. Antecedentes Locales:

Tenemos conocimiento de la Tesis del autor: Iberico Vigo, Piero Martin, Titulada “Diseño de mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo marshall adicionando fibra de acero en la ciudad de Yurimaguas – 2019”, de la Universidad Cesar Vallejo Tarapoto – Perú 2019, presenta las siguientes conclusiones:

- Para las características físicas y químicas de los agregados y la fibra de acero, se ha realizado varios ensayos de laboratorio, llegándose a comprobar que los agregados seleccionados cumplen de manera satisfactoria lo que exige la norma técnica, así mismo la fibra de acero tiene propiedades físicas que aportan resistencia al diseño de mezclas.
- Al realizar el diseño MAC-2, el diseño convencional la estabilidad marshall fue de 1192 kgf, y al incorporar la fibra de acero al diseño de mezclas al 5%, se tuvo una estabilidad de 1199 kgf, al 10% una estabilidad de 1259 kgf y al 12% de fibra de acero la estabilidad marshall resultó 1257 kgf.
- Al obtener los resultados de los ensayos marshall por el diseño MAC – 2, se llegó a la conclusión de que el diseño óptimo de la mezcla asfáltica es con una incorporación de 5% de fibra de acero, la fibra de acero utilizada fue el sika fiber cho 65/36 NB, con un óptimo de cemento asfáltico de 5.5% y una relación E/F=3528 kgf/cm, esto tuvo un aumento de 121 kgf/cm con respecto al diseño convencional, equivalente a un 3.43% inferior.
- Con respecto a los costos del diseño asfáltico con adición de fibra de acero se tuvo una variación de S/ 15.80 por cada m³ con respecto a la mezcla convencional, optimizando así los costos en un 6.28%.

Además, tenemos conocimiento de la Tesis del autor: Luis Alberto Pinchi Vergara, Titulada “Diseño De Pavimento Flexible Con Carpeta Asfáltica En Caliente Tramo Banda De Shilcayo – Las Palmas”, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto – Perú 2017, presenta las siguientes conclusiones:

- Se determinaron los principales parámetros que se requieren para efectuar el diseño del pavimento asfáltico de un pavimento, que para el caso se trata del espesor de un pavimento flexible en caliente.
- Se determinó el espesor adecuado del pavimento a usar en el proyecto, el mismo que quedó determinado como sigue: la estructura del pavimento será de 5 pulgadas de material de sub base material del Río Huallaga y una capa de 4 pulgadas material de base chancada Río Huallaga y 3 pulgadas de capa de rodadura carpeta asfáltica (Grava chancada, gravilla y arena zarandeada del Río Cumbaza), para un tránsito mediano - pesado.
- La información obtenida en el proyecto en estudio servirá como fuente de información para ser tomada en cuenta para efectos de diseño de pavimentos asfálticos, tanto a nivel académico como para la ejecución de proyectos en la región, rescatando básicamente la metodología de diseño, pudiendo ser contrastada con cada realidad.

1.8. Bases Teóricas

1.8.1. DEFINICIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Las mezclas asfálticas se pueden definir como una combinación exacta de agregados minerales aglomerados entre ellos mediante un ligante asfáltico y, en algunas ocasiones, aditivos mezclados de tal manera que los agregados pétreos quedan cubiertos por una película uniforme de asfalto, generando un material de gran resistencia. (Secretaria de Comunicaciones y Transportes del Instituto Mexicano del Transporte, 2018)

1.8.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

1.8.2.1. ASFALTO EN CALIENTE

Una mezcla asfáltica en caliente se tipifica de esa manera debido a que tanto el agregado pétreo como el ligante asfáltico se calientan previo al mezclado; así como su colocación también se realiza a altas temperaturas. Es un tipo de mezcla compuesta generalmente por un 93 a 97 % de agregado pétreo y un 3 a 7 % de asfalto, respectivamente, con respecto a la masa total de la mezcla. (Secretaria de Comunicaciones y Transportes del Instituto Mexicano del Transporte, 2018).

Los agregados y el asfalto son combinados en una planta de mezclado en la cual todos los materiales constituyentes son calentados, proporcionados y mezclados para producir la mezcla de pavimentación asfáltica deseada. Después que el mezclado en planta se completa, la mezcla es transportada al lugar de la pavimentación y distribuida por una pavimentadora en una capa ligeramente compactada para obtener una superficie uniforme y pareja. Mientras la mezcla está aún caliente, el material es compactado más intensamente por rodillos pesados accionados a motor para producir una capa lisa y bien consolidada. (The Asphalt Institute, 1997).

1.8.2.2. ASFALTO EN FRIO

Las mezclas asfálticas frías son una mezcla de agregado a temperatura ambiente y emulsión asfáltica, a veces se adicionan aditivos que mejoran el desempeño de las MAF (The Asphalt Institute, 1997). Las MAF tienen temperaturas 10°C – 30°C. Las MAF han sido utilizadas durante años en diferentes países como los Estados Unidos, Australia, Reino Unido, Francia entre otros. Se utilizan para capas de rodadura, para relleno de baches, para reciclaje de materiales de desecho y técnicas asociadas al mantenimiento de las carreteras.

Las limitantes de este tipo de mezclas inicialmente fueron asociadas al alto contenido de vacíos, una resistencia inicial baja debido a la humedad atrapada en la mezcla y los largos tiempos de curado (Thanaya, Zoorob, & Forth, 2009) debido a que la estabilidad y la rigidez de este tipo de mezclas son bajas durante este periodo inicial de tiempo. Sin embargo, con el desarrollo de nuevas tecnologías en el desarrollo de emulsiones asfálticas más eficientes y de mejor desempeño (Asphalt Institute, 2005).

1.8.3. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para obtener una mezcla de calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Deslizamiento, Impermeabilidad y Trabajabilidad.

➤ Estabilidad

Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla. Cuando sobrepasamos el nivel óptimo de asfalto

la película es demasiado gruesa y esto genera que la cohesión decrezca, resultando en pérdida de fricción entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. Es importante que las partículas que componen el agregado sean angulares y ásperas en su textura superficial, esto dará una alta estabilidad a la mezcla.

Problemas clásicos debido a una estabilidad baja:

- **Ahuellamiento:**

Consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito, conduce a deformar permanentemente cualquier capa de componen la estructura del pavimento, sin embargo, cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el óptimo de asfalto se ha sobrepasado y genera por consiguiente pérdida de cohesión.

El ahuellamiento también es producido por la forma redondeada de la partícula, por la falta de textura áspera, falta de adherencia y absorción del agregado. Es decir, si una mezcla tiene un contenido óptimo de asfalto y sus agregados no cumplen con las siguientes propiedades tales como: graduación, limpieza, dureza, textura superficial, capacidad de absorción, afinidad con el asfalto, peso específico, también nos generará ahuellamiento y una serie de problemas que desarrollaremos en este capítulo (ver Figura 01)

Ilustración 1: Ahuellamiento



- **Corrimiento:**

Desplazamiento de la mezcla asfáltica provocando distorsiones en la superficie de la carpeta asfáltica. Acompañado a veces por levantamiento de material formado “cordones” principalmente laterales. Estos desplazamientos son ocasionados por las cargas de tránsito y son debido al exceso de asfalto, falta de vacíos o bien por falta de confinamiento lateral. La corrugación son una serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, siendo próximas unas de otras, por lo general menores a 1.0 mts entre ellas (ver Figura 02).

Ilustración 2: Corrimiento



- **Exudación del Asfalto:**

Es el afloramiento del asfalto o ligante asfáltico hacia la superficie de la carpeta asfáltica, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante las altas temperaturas.

Es causada por un excesivo contenido de asfalto. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas.

Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie (ver Figura 03).

Ilustración 3: Exudación



➤ **Durabilidad**

Es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperaturas y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), envejecimiento, segregación, etc. (ver Tabla 1).

Puede mejorarse la durabilidad de una mezcla asfáltica de tres maneras:

- **Utilizando un contenido óptimo de asfalto:**

Se aumenta la durabilidad de la mezcla, ya que las partículas del agregado están cubiertas por una película gruesa de asfalto. Esto evita el envejecimiento y el endurecimiento del asfalto, reteniendo por más tiempo las características originales tanto del asfalto como de los agregados.

- **Utilizando una graduación densa:**

Esto proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, mejorando así la impermeabilidad de la mezcla.

- **Diseñar y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad:**

Esto se logra mediante la compactación por medios mecánicos utilizando maquinaria y equipo adecuado.

Tabla 1: Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efecto en la Carpeta
Bajo Contenido de Asfalto	Endurecimiento rapido del asfalto y desintegracion por pérdida de agregado
Alto Contenido de Vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegracion
Agregado Susceptibles al agua (hidrofilitos)	Película de asfalto se desprende del agregado dejando una carpeta de rodadura desgastada o desintegrada

➤ **Flexibilidad**

Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y subbase. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura. De hecho, todas las estructuras tienden a tener asentamientos diferenciales. La flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido óptimo, a partir de este, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces una mezcla con estabilidad

baja. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es generalmente más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

➤ **Resistencia a la Fatiga**

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por las cargas de tránsito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye.

Por tal razón, las mezclas asfálticas de graduación densa presentan mayor resistencia a la fatiga que las mezclas asfálticas de graduaciones abiertas. El envejecimiento y endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, influyen determinadamente en la vida útil de una carpeta de rodadura asfáltica.

Si la carpeta asfáltica presente buena resistencia a la fatiga y la sub-base está mal compactada, se verán claramente los asentamientos y la resistencia a la fatiga disminuye considerablemente. Caso contrario si la sub-base está bien compactada y la carpeta asfáltica presenta mala resistencia a la fatiga la carpeta se dañará. Por lo anterior, el pavimento debe trabajar en conjunto para que pueda resistir la flexión causada por el tránsito.

Daños visibles debido a una mala resistencia a la fatiga:

- **Peladura:**

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del

agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Esta anomalía es indicativo que el asfalto se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligante, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de asfalto insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego.

El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial) (ver Figura 4).

Ilustración 4: Peladura



- **Fisura Transversal:**

Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie de la carpeta asfáltica, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m. próximos al borde lateral de la carpeta de rodadura. La contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, es decir si una carpeta asfáltica no tiene la capacidad de flexionar repetitivamente la resistencia a la fatiga es menor o nula. Puede ser ocasionado por un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes (ver Figura 5).

Ilustración 5: Fisura Transversal



- **Fisura en Bloque:**

Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm., con un área variable de 0.10 a 9.0 m². Se presenta generalmente en una gran área de la carpeta asfáltica y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico. Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias

de temperatura. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la carpeta asfáltica o en la base y sub-base. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente (ver Figura 6).

Ilustración 6: Fisura en Bloque



- **Fisura Piel de Cocodrilo:**

Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de la carpeta asfáltica, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga.

Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no

tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse (ver Figura 07)

Ilustración 7: Fisura de Piel de Cocodrilo



➤ **Resistencia al Deslizamiento:**

Es la habilidad de una carpeta asfáltica, particularmente cuando esta mojada, de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua en la superficie del pavimento, conocido como hidroplaneo. Una buena resistencia al deslizamiento lo contribuyen agregados con textura áspera y contenido adecuado de asfalto. Los contenidos altos de asfalto producen mezclas inestables las cuales tienden a deformarse y exudar, generando así, mayor deslizamiento (ver Tabla 02).

Tabla 2: Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efectos en la Carpeta
Exceso de Asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Carpeta asfáltica lisa, posibilidad de hidroplaneo
Agregado canto rodado, textura lisa	Poca Resistencia al deslizamiento

➤ **Impermeabilidad:**

Es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior o a través de él. El contenido de vacíos puede ser una indicación a la susceptibilidad de una mezcla compactada al paso del agua y aire (ver Tabla 03).

Tabla 3: Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efectos en la Carpeta
Bajo Contenido de Asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto Contenido de Vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en la carpeta asfáltica, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación Inadecuada	Resultará en vacíos altos en la carpeta asfáltica, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad

➤ **Trabajabilidad:**

Es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar.

El asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tiene algún efecto sobre esta propiedad (ver Tabla 04).

Tabla 4: Efecto en la Carpeta Asfáltica

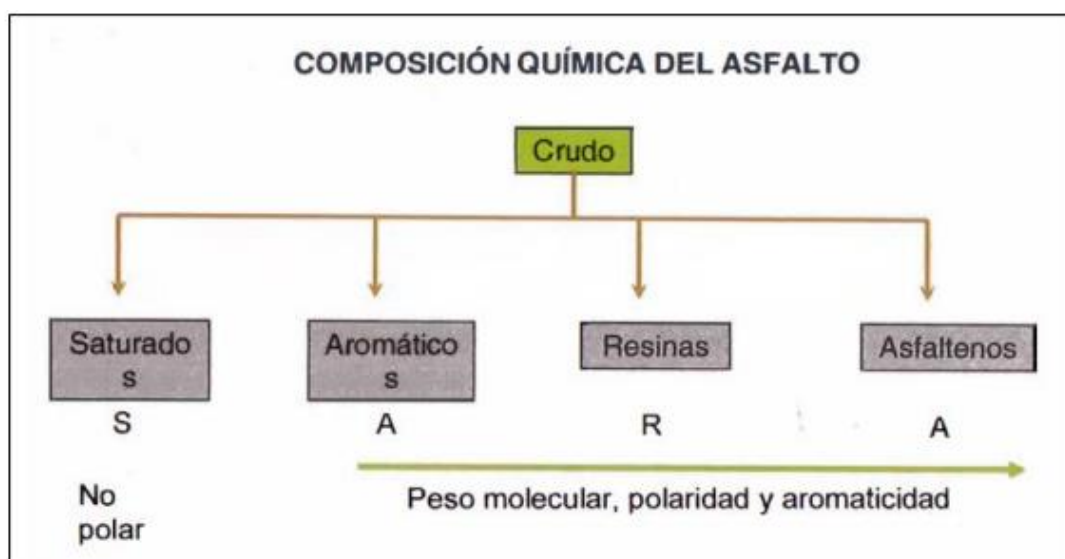
Causas	Efectos en la Carpeta
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de compactar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable, superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable

Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

1.8.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO.

Debido a la complejidad de la composición del asfalto, no es fácil clasificarlo con gran exactitud en componentes individuales. En base a lo anterior el asfalto se clasifica en tres grupos básicos: asfáltenos, resinas y aceites (aromáticos + saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas, en las cuales el núcleo o el agregado es el asfálteno (Garzón, Pareja y Guiza, 2005, pg. 04).

Ilustración 8: Composición química del asfalto.



Fuente: Ecopetrol (2009)

Existen técnicas normalizadas para determinar las partes fundamentales del asfalto (Subiada y Cuatticchio, 2005, p. 10-11), las cuales son:

- Técnica de extracción: ASTM D-2006 basada en el método de Rostler y Stemberg (hoy discontinuada).
- Técnica de absorción: ASTM D-4124 basada en el método de Corbett y Swarbrick.

Este método consiste en la precipitación de los asfaltenos mediante n heptano:

Solventes parafínicos que como su nombre lo indica de poca afinidad, de la familia de los alifáticos. La fracción soluble se eluye a través de la columna cromatográfica rellena con una alúmina de características especiales con el fin de separar mediante solventes de polaridad creciente las diferentes fracciones que componen a la fase malténica de la siguiente forma:

Parafinas o saturados: la fracción que primero eluye de la columna cromatografía con n-heptano es incolora.

Nafténico aromático: esta fracción eluye a través del pre colación con un solvente de mayor polaridad como el tolueno, presenta un color entre amarillo y ámbar.

Polar aromáticos (resinas): Esta fracción eluye a través de columna por elusión con un solvente de mayor polaridad, el tricloroetileno es de color oscuro casi negra y viscosa.

Estas cuatro partes fundamentales del asfalto, cada una con sus propiedades, constituyen el asfalto formando un sistema coloidal. Nellensteyn (1924) sugiere este modelo aún vigente, basado en que la presencia de los asfaltenos o hidrocarburos de mayor peso molecular se encuentran rodeados de los compuestos de hidrocarburos de mayor peso molecular de la fase malténica denominando a este complejo de compuestos miscelas; en tanto la fase continua está formada por los compuestos de menor peso molecular de la fase malténica denominándola fase intermiscelar.

Asfaltenos.

Las moléculas de los asfaltenos poseen grupos funcionales y radicales, que condicionan la formación de las micelas cuando se tienen concentraciones determinadas de asfaltenos en el hidrocarburo. Los grupos funcionales más representativos son carbonilos (-CO-); carboxílicos (-COO-); fenólicos (Ar-OH) e hidróxidos (-OH); los cuales se encuentran en la parte interna de la micela y la molécula del hidrocarburo en la parte externa.

Resinas.

Las resinas sirven de materia prima para la formación de asfaltenos y desde otro punto de vista, ellas plastifican las moléculas de los asfaltenos. Adicionalmente las resinas tienen muy buena solubilidad en los hidrocarburos del crudo y del asfalto, favoreciendo la formación de un sistema estable asfaltenoresina- asfaleno. Como resultado de la reacción de las resinas, tenemos procesos de deshidrogenación y condensación con

la eliminación de moléculas de agua, hidrógeno, ácido sulfhídrico y amoníaco con la consecuente formación de asfaltenos. Las resinas tienen más ramificaciones que los asfaltenos (son menos compactas y más desordenadas). El contenido de grupos polares (hidroxílicos, carboxílicos) y unos cuantos grupos funcionales garantizan a las resinas su poder emulsificante (peptizante). En dependencia de la concentración de asfaltenos y de la temperatura, las resinas en los asfaltos pueden encontrarse, tanto en la fase dispersa como en el medio dispersante del sistema (Garzón et al, 2005, p. 04).

Aceites (aromáticos, saturados).

Los aceites son el medio dispersante del asfalto y su capacidad de solubilidad se determina por medio de su composición química, con frecuencia, por medio de la relación de los hidrocarburos parafino-nafténicos y aromáticos y en cierto grado con su peso molecular. Generalmente los hidrocarburos parafinonafténicos, aromáticos y nafténicos de cadena lateral parafínica forman una fase dispersa en los aceites bajo determinadas temperaturas. Se determinó que los componentes promotores de cristales en el asfalto no son solamente las parafinas, sino también los hidrocarburos nafténicos, el calor de fusión de estos últimos es dos veces menor que el calor de fusión de las parafinas. La cristalización de las parafinas en el asfalto puede continuar en un transcurso de 2 a 3 días con un aumento mínimo del calor de fusión. La influencia de la fase cristalina en las propiedades de los asfaltos se expresa en el empeoramiento de las propiedades de resistencia al fisuramiento térmico a bajas temperaturas y a la humedad. Generalmente los asfaltos parafínicos son menos longevos. Sin embargo, en los asfaltos de diferentes tipos reológicos la acción de las parafinas no es igual. La temperatura de fusión de los hidrocarburos sólidos depende de la estructura de su molécula y posición del sustituyente. De todas maneras, el impacto de las parafinas, como de cualquier componente, depende de la composición y de la estructura de los asfaltos y la solución del interrogante sobre las cantidades permisibles de parafinas en el asfalto

se puede determinar con el cálculo de su estructura y composición (Garzón, et al, 2005, pg. 05).

1.8.5. PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

Este trabajo consistirá en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y su colocación en una o más capas sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con estas especificaciones. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

1.8.5.1. Agregados:

Los agregados pétreos empleados deberán ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, tabla 6, 7. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC., 2013).

Los agregados son materiales que provienen de canteras ya sea de cerro o de río, este material está constituido por grava y arena mezclados son conocidos como granulares, normalmente son utilizados en la construcción de carreteras. A estos materiales se le puede complementar con aditivos estabilizadores para un mejor comportamiento. Mediante las maquinas clasificadoras se pueden obtener agregados procesados para ser usados como complemento en concreto flexible o concreto hidráulico. (Smith M. R. and L. Collins, 1994). (Materiales básicos – UPCommons).

Los agregados dependiendo de la técnica que utilicen para procesarlos, pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Agregados Naturales. Este tipo de agregado pasa por un proceso de tamizado en su gradación, para luego, según sea requerido se podrá considerar tamaño y forma de acuerdo a los parámetros que se establezcan.
- b) Agregados de Trituración. Son agregados que pasan por un proceso de clasificación, mediante una maquina es triturada la roca

procedente de Cantera, obteniendo diferentes gradaciones según para lo que serán utilizadas (arena chancada, piedra chancada), son clasificados según la necesidad de la obra. Antes de pasar para ser triturados pasan por un control de calidad para ver sus cualidades físicas.

- c) Agregados Artificiales. Existen diferentes procesos para obtener este material, estos productos vienen de demoliciones otros son materiales reciclables, el concepto final es poder reutilizarlo según cumplan con exigencias técnicas.
- d) Agregados Marginales. Son productos que están fuera de cualquier exigencia técnica, mayormente son desechados.

1.8.5.2. Agregados Minerales Gruesos:

El MTC (2013) define que los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito, solo serán aceptados agregados de buena calidad y que tengan una buena adherencia con el líquido asfáltico. Se permitirá sólo la utilización de agregados que absorban fácilmente la humedad, con la condición del uso de aditivos mejoradores de adherencia solo si es verificada su eficacia. De acuerdo a las exigencias de las especificaciones técnicas los agregados considerados gruesos son todos los retenidos a partir de la malla N°4 y la condición que debe cumplir el agregado es que las gravas deben estar trituradas al 100%, tienen que ser limpias sin rastros de arcilla, la grava debe ser cubica tratando de tener un porcentaje bajo de chatas y alargadas, debe tener una dureza y ser resistente. Es importante la limpieza para el tema de adherencia.

Los agregados gruesos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la Tabla 5. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla 5: Requerimientos para los agregados gruesos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

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

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

1.8.5.3. Agregados Minerales Finos:

El Manual de carreteras (2013) establece que se designará agregado fino a la parte del agregado integral que abarca desde el tamiz N° 4 hasta el tamiz N° 200 además del polvo mineral o llenantes pasante del tamiz N° 200.

Este material estará compuesto por arena de moledura o por una combinación de ella con arena de procedencia natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino tendrán que estar limpios, ser sólidos y deberán tener una superficie áspera, y una forma angular o redondeada según lo requerido. Para que pueda tener una buena unión con el

asfalto, es importante que no tenga materiales deletéreos o arcillas que dificulten la adherencia entre el líquido asfáltico y el agregado fino.

Los agregados finos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la Tabla 6. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla 6: Requerimientos para los agregados finos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

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

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

1.8.5.4. Gradación

El MTC (2013) define que la gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en la subsección 1.5.7.2. y 1.5.7.3., el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznable según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica

y otros materiales deletéreos. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla 07.

Tabla 7: Gradación Convencional.

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

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto, que se muestra a continuación:

Tabla 8: Husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente según ASTM D 3515

Tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño máximo nominal de agregados								
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
Gradación de agregados (grava; fino y Filler si se requiere)									
Porcentaje en peso									
2 ½" (63mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½" (37.5mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25.0mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
¾" (19.0mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
½" (12.5mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8" (9.5mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº4 (4.75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº8 (2.36mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº16 (1.18mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº30 (600µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº100 (150µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº200 (75µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Nota. Tomado del Manual ASTM – 2014. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/381212559/ASTM-D-3515>

1.8.5.5. Filler o polvo mineral:

El MTC (2013) define que el Filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303.

Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC

E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6.

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

1.8.6. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

La mezcla asfáltica en caliente preparada en laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento. Determinado así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla.

- **Densidad**

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de la mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrará en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cubico (kg/m³) o libras por pie cubico (lb/pie³), es calculada al multiplicar la gravedad especifica total de la mezcla por la densidad del agua (1,000 kg/m³ o 62.416 lb/pie³). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar el grado de compactación del pavimento compactado en la obra es adecuada o no.

Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto, las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

- **Vacíos de Aire**

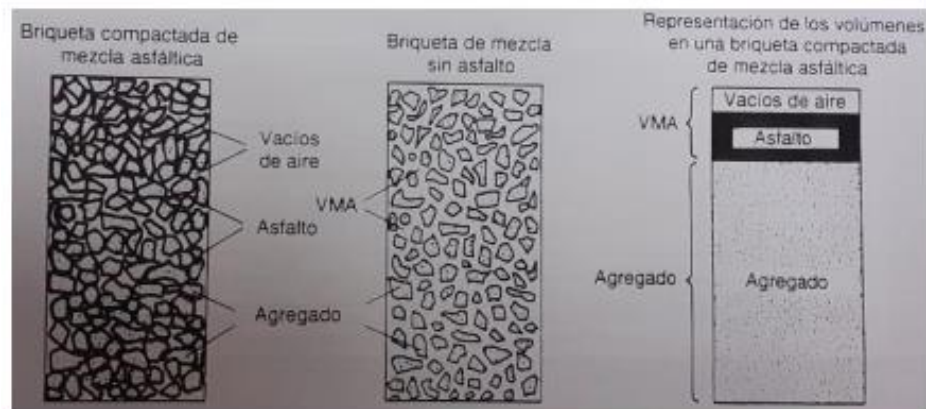
Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 2% y 4%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico. A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte, un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que, a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 4%.

- **Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)**

Estos son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir, el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VMA

recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VMA establecidos como mínimos, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

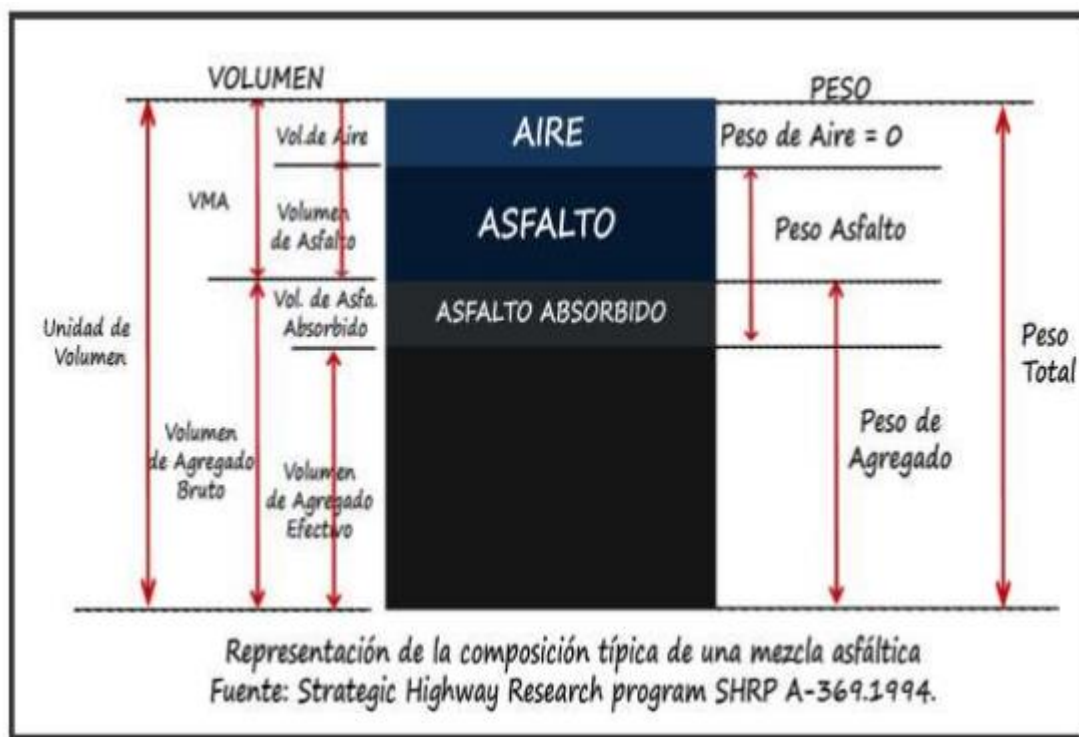
Ilustración 9: VMA en una probeta de mezcla compactada



- **Contenido de Asfalto**

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en una gran cantidad de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

Ilustración 10: Representación de la Composición Típica de una Mezcla Asfáltica.



Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto; cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. - Vacíos Llenos de Asfalto (VFA) Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto,

el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA y expresando su valor como un porcentaje.

1.8.7. CEMENTO ASFÁLTICO.

1.8.7.1. DEFINICIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO.

Según la ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfaltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo. El término Bitumen es otro nombre utilizado para designar al asfalto. Es común encontrar en literatura los términos de asfaltos y bitúmenes, en plural, confirmando la gran variedad de tipos y aplicaciones (American Society for Testing and Materials ASTM STANDARS D-8, 1930).

Tabla 9: Selección del tipo de cemento

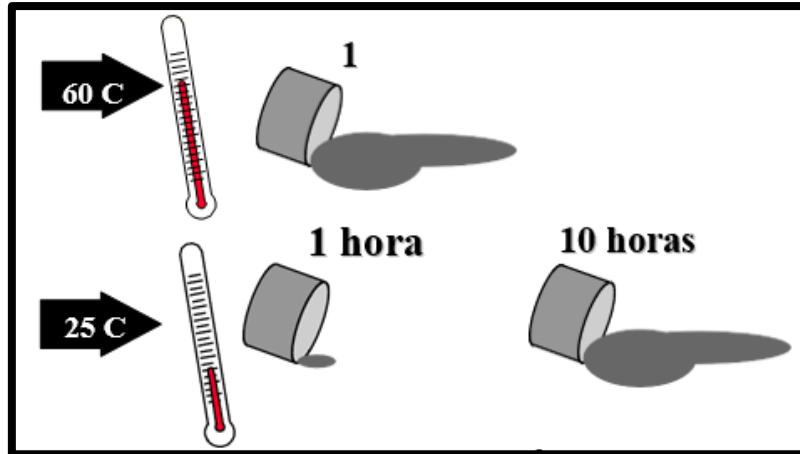
Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 - 50 ó 60 - 70 o modificado	60-70	85 - 100 120 - 150	Asfalto Modificado

Fuente: Manual de carreteras (2013)

1.8.7.2. COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL ASFALTO

El comportamiento del cemento asfáltico está basado en su naturaleza viscoelástica; entonces, la conducta del mismo está en función tanto de las condiciones de carga como de la temperatura. Asimismo, tal conducta también depende del envejecimiento del asfalto. Como se muestra a continuación en la ilustración 11, las altas temperaturas en un corto periodo de tiempo, son directamente proporcionales a lo que ocurre a bajas temperaturas en un largo periodo de tiempo (Asfáltica Revista Técnica No. 8., 2007).

Ilustración 11: Conducta visco-elástica.



Fuente: Asfáltica Revista Técnica.

1.8.7.3. ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO

La “oxidación” es una reacción química del asfalto cuando éste entra en contacto con el ambiente, la cual afecta al cemento asfáltico ocasionando que se vuelva más frágil, ya que existe un endurecimiento excesivo de la carpeta.

Y a pesar de que esta reacción generalmente se da en forma lenta, ésta puede acelerarse cuando el asfalto está expuesto a altas temperaturas. Por otro lado, las carpetas asfálticas con un número considerable de años, por no llamarlas antiguas, o las que sufrieron una mal compactación son candidatas perfectas para presentar oxidación, la primera por el deterioro, y la segunda por que al estar mal compactada sufre un mayor porcentaje de vacíos, lo cual genera una mayor penetración del oxígeno en la mezcla.

Estas reacciones del cemento asfáltico ante las distintas temperaturas descritas anteriormente son conductas generales para cualquier asfalto, sin embargo, estas pueden variar según la capacidad de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mismo para mejorar su comportamiento. (Asfáltica Revista Técnica No. 8., 2007).

Ilustración 12: Envejecimiento del Asfalto



1.8.7.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN PAVIMENTOS.

Los pavimentos asfálticos pueden ser construidos para durar indefinidamente. El asfalto es el pavimento verde: es hasta en un 100% reutilizable, reciclable. Además, su flexibilidad y nuevas tecnologías están haciendo del pavimento asfáltico la única opción sostenible.

Una de las principales ventajas del pavimento asfáltico consiste en la economía lograda por el uso de materiales locales disponibles. (The Asphalt Institute, 1997). El asfalto es fácil de construir y mantener, el asfalto es costo-eficiente, el asfalto es seguro, el asfalto es durable y puede ser construido para durar indefinidamente, el asfalto es rápido de construir y mantener, el asfalto es de hasta 100% reutilizable, el asfalto es flexible.

1.8.7.5. ESTABILIDAD Y FLUJO.

Los dos objetivos principales del método Marshall son un análisis de las relaciones entre densidad y volumen de vacíos y un ensayo para la determinación de la estabilidad y flujo de las briquetas compactadas. El ensayo estandarizado es el ensayo ASTM-D6926: "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus", ATM D 6927, MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato marshall.

La ESTABILIDAD de las briquetas es la máxima carga que puede resistir la biqueta normalizada a 60°C cuando se realiza el ensayo de rotura a compresión.

EL FUJO es el movimiento o deformación total que se produce en la biqueta desde el comienzo hasta la carga máxima durante el ensayo de estabilidad.

1.8.7.6. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO.

El siguiente orden es el procedimiento a seguir para preparar las probetas de ensayo:

- **Número de las muestras:** Para la determinación óptima del asfalto, este debe ser primeramente estimado teóricamente el contenido de asfalto debe variar en incrementos de 0.5% por lo menos **con dos valores por encima y dos por debajo del valor óptimo (5 puntos de 3 muestras cada uno).**
- **Preparación de las mezclas:** Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas ó de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres ó cuatro especímenes. Pesar en contenedores separados la cantidad de cada fracción de agregado requerida para producir una bachada que resultará en una, dos, tres o cuatro especímenes compactados de $63,5 \pm 2,5$ mm de altura (cerca de 1200, 2400, 3600 ó 4800 g respectivamente).

- **Determinación de la temperatura de mezclado y compactación.** Se debe ejercer cuidado para prevenir la pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsecuente manipuleo. En este punto la temperatura de la mezcla deberá estar entre los límites de aquella determinada. Mezclar los agregados y el asfalto. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC., 2016).
- **Compactación de las probetas.** Colocar la mezcla en el molde, chusear vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación y aplicar el número requerido de golpes con el martillo de compactación. Después de la compactación, remover el collar y la placa de base. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC., 2016).

Tabla 10: N° de golpes por cara para metodología MARSHALL

Transito ESAL	ESAL	N° de Golpes por cada cara.
Liviano	$ESAL < 10^4$	35
Mediano	$10^4 < ESAL < 10^6$	50
Pesado	$10^6 < ESAL$	75

- **Enfriamiento y extracción de los especímenes compactados.**

1.8.7.7. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

Cada probeta compactada es sometida a los siguientes ensayos y determinaciones en el orden indicado:

- **Peso específico del espécimen compactado.** Se ejecutará el ensayo MTC E 514 siempre y cuando la absorción del espécimen sea menor al 2%, sino realizar el ensayo MTC E 506.
- **Ensayo de Estabilidad Fluencia.**
El equipo para el ensayo de Estabilidad y Fluencia consiste en una máquina de ensayos Marshall y un baño de agua. Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto

alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Mantener el baño u horno a 60 ± 1 °C para cemento asfáltico.

Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall.

- **Determinación de la densidad de vacíos.**

Luego de completar los ensayos se determinan la densidad y vacíos para cada serie de probetas; el procedimiento se describe brevemente:

Se determina el promedio de los pesos específicos para cada contenido de asfalto. Los vacíos se determinan a partir de peso unitario de la briqueta y la gravedad máxima teórica de la mezcla asfáltica. (The Asphalt Institute, 1997).

- **Contenido de cemento asfáltico.**

Una vez obtenidas las gráficas de densidad-vacíos, estabilidad y flujo se determina el contenido que corresponde al promedio del mayor valor del peso unitario del espécimen compactado, mayor estabilidad y menor cantidad de vacíos V_a , siendo este contenido óptimo de cemento asfáltico (The Asphalt Institute, 1997).

1.8.7.8. PREPARACIÓN DE DATOS.

Los valores de estabilidad medidos para probetas que no tienen 63.5mm de altura, (volumen 509-522ml) deben ser convertidos a un valor equivalente a la estabilidad de una probeta de 63.5mm de altura mediante un factor de corrección (Tabla 12) y anotados en el informe de ensayo.

Tabla 11: Factores de Estabilidad de Correlación.

Volumen del espécimen, cm ^{3B}	Espesor del espécimen ^B		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de Ensayo Fuente: Manual de Ensayos 2016, MTC.

1.8.7.9. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla para pavimentación se determina por los datos graficados. El contenido óptimo de asfalto es aquel que se obtiene del promedio del mayor valor de las estabilidades, mayor peso unitario del espécimen compactado y menor cantidad de vacíos Va. (The Asphalt Institute, 1997).

1.8.8. RUEDA DE HAMBURGO

1.8.8.1. ANTECEDENTES

El ensayo de la Rueda de Hamburgo fue desarrollado en Alemania en 1970, tomando como idea principal un modelo de origen británico. Es

ampliamente utilizado en EE.UU. y Europa para evaluar mezclas asfálticas en relación a su resistencia a la humedad y al ahuellamiento.

El ensayo de Rueda de Hamburgo está normalizado en AASHTO T324-04 Standard Method of test of Hamburg WheelTrack Testing of Compacted Hot Mix Asphalt.

La Rueda de Hamburgo es sin duda el equipo más utilizado para evaluar la deformación permanente de las mezclas asfálticas en las condiciones más desfavorables: sumergidas en agua a altas temperatura (ver Figura 13).

Ilustración 13: Máquina de Ensayo Hamburg Wheel-Tracking Device (HWTD)



1.8.8.2. PROPÓSITO DE LA PRUEBA

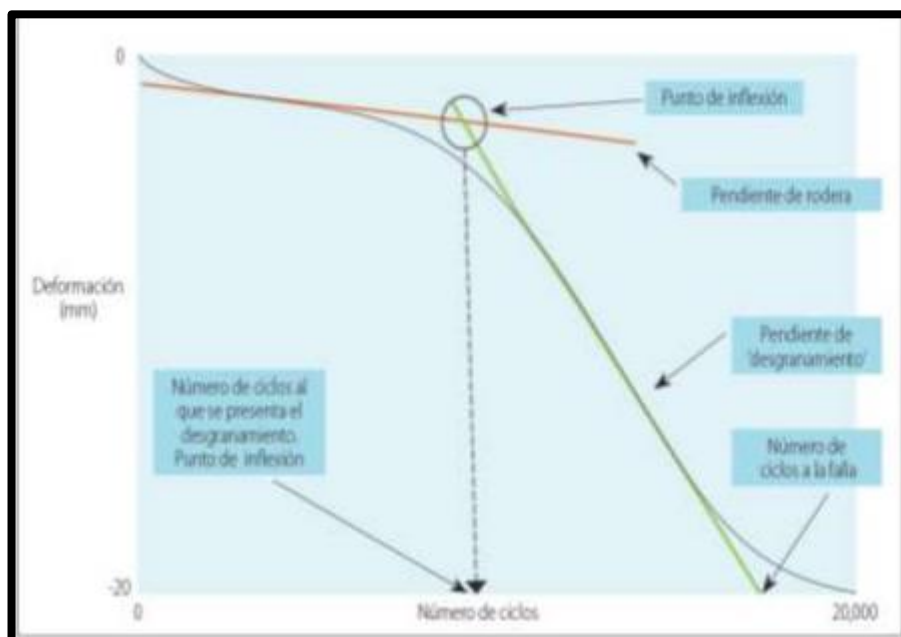
Sirve para identificar problemas de adherencia de los materiales pétreos con el cemento asfáltico y para identificar una mezcla con estructura mineral deficiente, que se susceptible de presentar baches o deformaciones permanentes.

Este método utiliza un equipo compuesto por dos ruedas de acero que se mueven axialmente sobre una muestra de mezcla asfáltica producida y compactada en el laboratorio, o sobre un corazón extraído del campo de 250 mm de diámetro. La carga en cada rueda es de 158 lb, con una presión de contacto de 217 psi (equivalente a 98.066 kPa). Los especímenes son probados típicamente a 50 °C y sumergidos completamente en un baño de agua. El baño, además de mantener la temperatura de prueba, determina la susceptibilidad de la mezcla a la presencia de humedad; muchos investigadores han determinado que esta es una prueba demasiado severa para evaluar el daño causado por ésta en las mezclas asfálticas.

La velocidad de la rueda es de 30 cm por segundo. La prueba se corre a 20,000 ciclos o a una deformación límite de 20 mm. El criterio general de falla en la especificación es definido a 4 mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales.

Cuando existe un cambio de pendiente en el desarrollo de la prueba, el punto de inflexión indica el momento en el que la muestra presentará susceptibilidad al daño por humedad, a partir del cual comienza la zona de desgranamiento. En la gráfica se muestran las diferentes zonas en las que se dividen los resultados (ver Gráfico 14).

Ilustración 14: División de resultados en el método de la rueda cargada "Hamburgo"



1.8.8.3. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LA PRUEBA DE SIMULACIÓN DE HAMBURGO

La Prueba de Simulación de Hamburgo deberá ser efectuada de acuerdo al procedimiento AASHTO T324-04, considerando los siguientes parámetros:

- Dos especímenes por cada prueba
- Temperatura del baño de agua a 50°C.
- 20,000 ciclos.
- Especímenes debidamente confinados con yeso o material similar para evitar su movimiento durante la prueba.
- Especímenes debidamente nivelados y centrados en el molde de prueba.

Antes de colocar los especímenes en el aparato de Hamburgo se deberán conocer su densidad compactada aplicando el procedimiento AASHTO T166-00 con el objetivo de conocer el % de vacíos de aire de la mezcla compactada.

1.8.8.4. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Con respecto a la prueba de simulación de Hamburgo, la deformación máxima promedio permisible para considerar que la mezcla cumple con las expectativas de desempeño en cuanto a susceptibilidad a la humedad y deformaciones permanentes será de 12.5 mm a 20,000 ciclos, sin presentar desprendimiento del agregado durante la prueba.

1.9. Definición de Términos Básicos

Agregado ⁽¹⁾

Es la combinación de las arenas, gravas, o hasta rocas trituradas ya sea en presentación natural o con algún proceso.

Ahuellamiento ⁽³⁾

Es una deformación o depresión longitudinal que sigue la trayectoria de los vehículos y que genera mayores riesgos en el servicio de los pavimentos asfálticos. En épocas de lluvia el agua se acumula en las depresiones, presentado accidentes al producirse el hidropelano.

Asfalto ⁽¹⁾

Es un material bituminoso de origen natural o artificial por medio de la destilación del petróleo.

Asfaltos Líquidos ⁽²⁾

Se aplicarán en determinados según lo establezca la respectiva clasificación, estos pueden ser curado medio (MC) o curado rápido (RC).

Betún ⁽¹⁾

Es un *material* bituminoso de origen natural o artificial por medio de la destilación del petróleo.

Compactación ⁽¹⁾

Es la acción de aumentar la densidad de un material, disminuyendo sus vacíos al aplicar cargas que producen compresión al material.

Cementos Asfálticos ⁽²⁾

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura es de 175 centígrados.

¹ Hernández y Ramírez 2016, 15-16

² Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2013, 30

³ Vidal y Ossa (2011)

Deformaciones ⁽¹⁾

Son los cambios en tamaño o forma de los materiales o mezclas.

Emulsiones catiónicas de rotura rápida ⁽²⁾

Media y lenta podrán ser modificadas mediante polímeros cuyas características se mencionan en las tablas 415 – 04A, en tal caso las especificaciones de calidad, dosificación y dispersión del producto deben ser establecidas en el proyecto y contar con aprobación del supervisor.

Equipos ⁽²⁾

Deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requerirán la aprobación previa del supervisor, teniendo en cuenta su capacidad y eficiencia, los cuales se ajustan al programa de ejecución de obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad de la presente especificación y de la correspondiente partida de trabajo

Fatiga ⁽¹⁾

Es la disminución de la resistencia del material por sometimiento a cargas repetitivas.

Filler ⁽¹⁾

Se hace referencia al material fino que ocuparía los vacíos de pequeños tamaños.

Mezcla ⁽¹⁾

Resultado de la unión de los materiales, unión de agregados y asfalto.

Material Bituminoso ⁽²⁾

Se utiliza en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicado dentro de los rangos de la carta viscosidad – temperatura (ASTM – D341), establecidos en el proyecto y aprobado por el supervisor.

¹ Hernández y Ramírez 2016, 15-16

² Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2013, 30

Planeidad ⁽¹⁾

Es la calidad del plano sin ondulaciones.

Rodillo Estático de Neumáticos ⁽¹⁾

Es una máquina de compactación que cuenta con neumáticos para la compactación.

Rodillo Vibratorio Tándem ⁽¹⁾

Máquina de compactación que cuenta con neumáticos para la compactación.

Rueda Cargada De Hamburgo ⁽⁴⁾

El presente método es utilizado para determinar la falla prematura de las mezclas asfálticas en caliente debido a la debilidad de las estructuras del agregado, una rigidez inadecuada del ligante asfáltico o por daño inducido por humedad. Para este ensayo se requiere de una losa de mezcla asfáltica o un espécimen rectangular el cual es sumergido en agua a 50° grados centígrados, la cual es deformada al paso repetido de una carga rodante de acero de 703 Newton que simula la forma de una llanta vehicular.

¹ Hernández y Ramírez 2016, 15-16

⁴ Corbacho (2019)

1.10. Hipótesis:

1.10.1. Hipótesis General

Determinar la resistencia mecánica a la deformación permanente de una Mezcla Asfáltica Convencional con Gradación MAC TIPO II y ASTM 3515, Tarapoto 2021.

1.10.2. Hipótesis Específicas

- Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presenta la mezcla asfáltica con gradación Mac Tipo II.
- Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presenta la mezcla asfáltica con gradación ASTM 3515.
- Determinar cuál de las dos mezclas asfálticas tiene mejor resistencia a la deformación permanente, mediante el ensayo de rueda de Hamburgo.

1.11. Variables:

Variable Independiente

Mezcla asfáltica convencional con gradación Mac Tipo II y ASTM 3515

Variable Dependiente

Resistencia ante la deformación permanente (Ensayo de la rueda cargada).

1.12. Definición conceptual y operacional de las variables.

Definición Conceptual:

Mezcla asfáltica convencional con gradación Mac Tipo II y ASTM 3515.

En una mezcla asfáltica convencional, el asfalto y los agregados son combinados en proporciones exactas, la composición de las proporciones referentes a los componentes empleados serán las que determinen el

comportamiento físico de la mezcla asfáltica e inciertamente el desempeño de la mezcla como carpeta acabada. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla, en este trabajo nos enfocaremos al método Mac Tipo II y ASTM 3515.

Resistencia a la deformación permanente.

“La deformación permanente es generada por la deformación plástica del concreto asfáltico y por la deformación de la subrasante. Cuando a un material se le inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total que se genera es recuperada y se le conoce como la deformación resiliente. Aquella deformación que no se recupera se acumula en cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente. En un pavimento si esta deformación es excesiva generan hundimientos o desplazamientos” (Huamán, 2016).

Definición operacional

Mezcla asfáltica convencional con gradación Mac Tipo II y ASTM 3515.

Mediante pruebas de ensayo en laboratorio se realiza una comparación de los métodos Mac Tipo II y ASTM 3515 para saber cuál de los dos es más resistente ante la deformación permanente.

Resistencia a la deformación permanente.

En forma conjunta se realiza un ensayo de desempeño de la mezcla asfáltica mediante el ensayo de la Rueda de Hamburgo, es sin duda el equipo más utilizado para evaluar la deformación permanente de las mezclas asfálticas en las condiciones más desfavorables: sumergidas en agua a altas temperaturas.” (La Rueda de Hamburgo pavelab dwt – Controls Group, 2014).

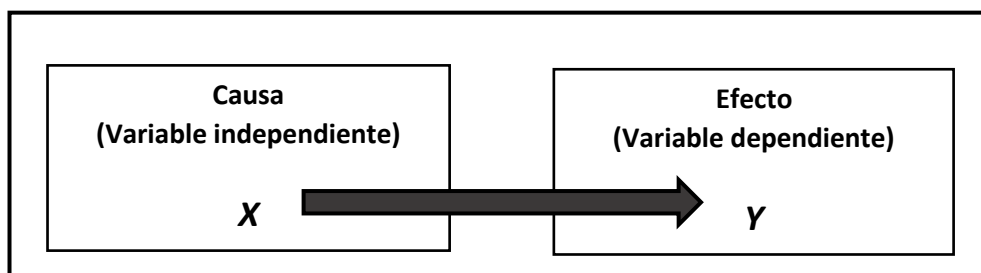
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Tipo de Investigación

El tipo de investigación es experimental. “Aquellas investigaciones donde se identifica manipulación de tratamientos, además de describir sus componentes” (Hernández, 2014).

Ilustración 15. Esquema de experimento y variables



Fuente: (HERNÁNDEZ y et. al., 2014)

Diseño de Investigación

El diseño que representa este estudio es una investigación experimental con pos-prueba únicamente y grupo control, que admite dos grupos; al primero se le atribuye los ensayos experimentales y a la otra parte no (grupo control).

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

Para el presente estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional con gradación Mac Tipo II y ASTM 3515, se deben realizar cuerpos de prueba para cada tipo de mezcla asfáltica, con el fin de realizar los ensayos necesarios, tanto para diseño como para la determinación del desempeño que tienen cada una de ellas.

Muestra:

La muestra utilizada en esta investigación está conformada por lo que se detalló en la población se elaborará 02 probetas para cada norma, cada muestra asfáltica se podrá determinar mediante el ensayo de la Rueda de Hamburgo y llegar a una conclusión cuál de los dos diseños tiene mejor desempeño.

2.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica que se utilizará es la Observación Experimental.

La observación: Es uno de los métodos fundamentales para obtener datos de forma directa, a través de la percepción e identificando la información correcta.

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Formatos, reglamentos y normas técnicas que son utilizados para el manejo de materiales de construcción como: fichas de mecánica de suelos, reglamento nacional de edificaciones, AASHTO, SUCS, ASTM, ACI, software de costos y presupuestos S10 entre otros.

PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Nos basamos en las normas actuales vigentes del reglamento de Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, ASTM D-1559 (Diseño de mezcla por el método Marshall), ASTM E4 – Prensa Marshall, ASTM 3515 (Granulometría límite para agregados).

2.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

Los resultados obtenidos serán analizados e interpretados en el programa Microsoft Excel, con la finalidad de tener ordenada la información y posteriormente elaborar tablas y figuras que proporcionen un análisis de las variables y determinar su medición para posibilitar su interpretación. Con respecto a la estadística inferencial se aplicará el software SPSS versión 24 para identificar la relación entre las variables de estudio como son la resistencia a la deformación permanente (ensayo de la rueda cargada) y la mezcla de asfalto en caliente.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. GENERALIDADES

La mezcla asfáltica en caliente para empleo en pavimentación se compondrá de agregados minerales gruesos, finos, material bituminoso y un filler mineral.

Las mezclas asfálticas que se especifican en este informe corresponden al tipo: **Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)**.

3.1.2. ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES

Los materiales a utilizar serán los que se especifican a continuación:

(a) Agregados Minerales Gruesos

Los agregados gruesos deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 12: Requerimientos para los Agregados Gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	12% máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)		18 máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	65/40
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.00%
Adherencia	MTC E 519	+95

Nota: La notación "65/40" indica que el 65% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 40% tiene dos caras fracturadas.

(b) Agregados minerales finos

Los agregados finos deberán cumplir con los requerimientos siguientes:

Tabla 13: Requerimientos para los Agregados Finos

Ensayos	Norma	Requerimiento
Equivalente de Arena	MTC E 209	45% mín.
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% mín.
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	Máx. 4
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	Según diseño

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el uno por ciento (1%) de partículas deleznable según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

(c) Gradación

Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a alguno de los siguientes husos granulométricos.

Tabla 14: Husos granulométricos especificados

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

(d) Cemento Asfáltico

El Cemento Asfáltico a emplearse en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la tabla siguiente:

Tabla 15: Mezclas en Caliente

Tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración

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

Tabla 16: Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración

Características	Ensayo	Grado de Penetración							
		40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-	232	-	232	-	218	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	-	99	-	99	-	99	-
Susceptibilidad Térmica									
Ensayo de Película Delgada en Horno, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs	MTC E 316								
➤ Pérdida de masa, %		-	0.8	-	0.8	-	1	-	1.5
➤ Penetración del residuo, % de la penetración origina.	MTC E 304	55	-	52	-	47	-	42	-
➤ Ductilidad del residuo, 25°C, 5cm/min, cm.	MTC E 306	-	-	50	-	75	-	100	-
Índice de Susceptibilidad térmica		-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano – Xileno 20% (opcional)	MTC E 314	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

Tabla 17; Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad

Características	Ensayo	Grado de Viscosidad			
		AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta 60°C, Pa.s (Poises)	MTC E 308	50±5 (500±100)	100±20 (1000±200)	200±40 (2000±400)	400±80 (4000±800)
Viscosidad Cinemática, 135°C mm ² /s, mínimo	MTC E 301	100	150	210	300
Penetración 25°C, 100 gr. 5s mínimo	MTC E 304	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C,	MTC E 303	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno % masa, mínimo	MTC E 302	99	99	99	99
Susceptibilidad Térmica Ensayo de Película Delgada en Horno	MTC E 316				
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Pa.s (Poises) máximo	MTC E 304	200 -2000	400 -4000	800 -8000	1600 -16000
➤ Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm. Mínimo	MTC E 306	100	50	20	10
Ensayo de la mancha con solvente Heptano-xileno	MTC E 314	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

RESULTADO GRADACIÓN MAC 2

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO

PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS

AASHTO T - 324

PROYECTO : TESIS
UBICACIÓN : TARAPOTO
SOLICITANTE :
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA CON ASFALTO 60/70 ADITIVADO POR EL CLIENTE CON 0.5% QUIMIBOND 3000
FECHA : 28.09.21

DETALLE DE LA MEZCLA

AGREGADO	: CUMBAZA - HUALLAGA	TIPO DE COMPACTACIÓN	: COMPACT. GIRATORIO
FILLER	: CEMENTO PORTLAND TIPO I	PORCENTAJE DE VACIOS	: 6.7 %
ASFALTO	: ASFALTO 60/70 ADITIVADO		
DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA	: 2474 Kg/m3		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

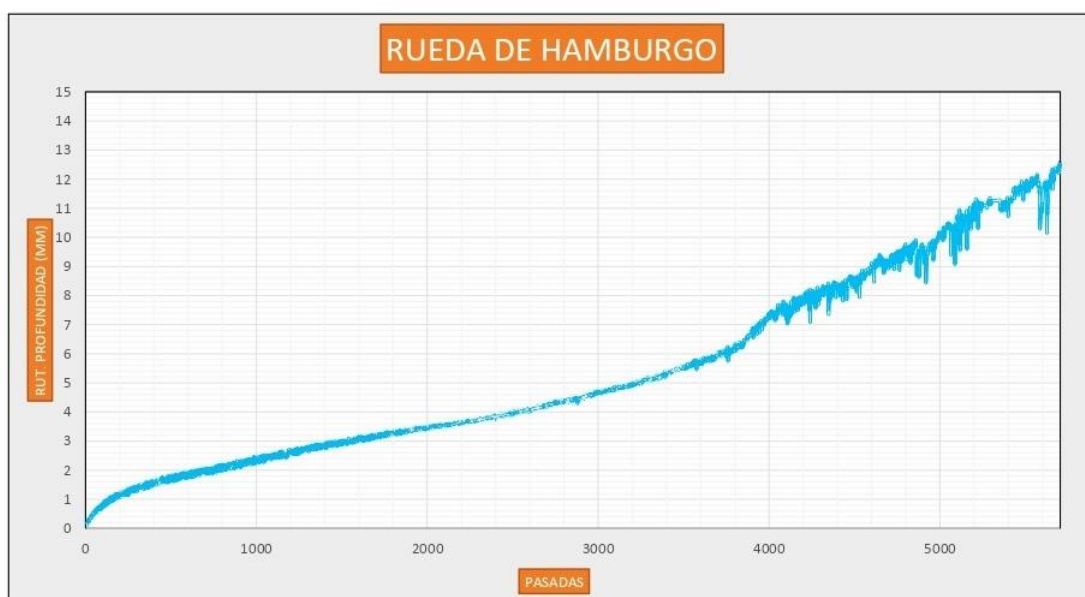
PRUEBA	: 40	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Núcleos	NUMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA	: ---	PROFUNDIDAD MÁXIMA	: 12.5 mm
DIAMETRO	: 150.0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas /min
ESPESOR	: 60.0 mm	OPERADOR	: G.V.

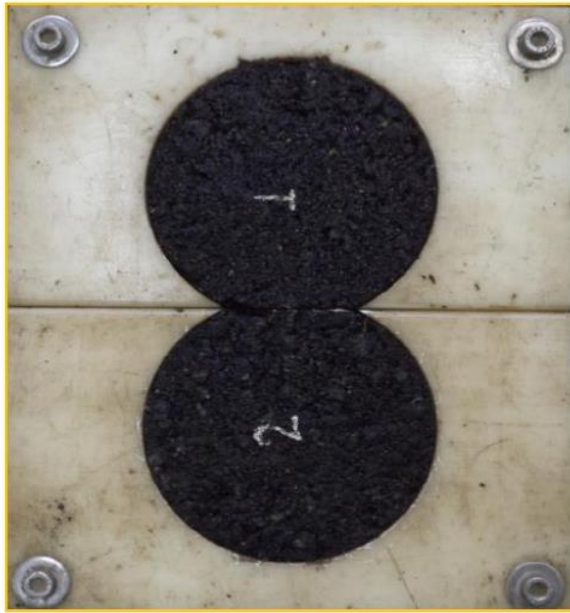
RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 12.64 mm		
TIPO DE MEDIO TÉRMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA	: 50.2 °C		
TEMPERATURA MÍNIMA	: 49.8 °C	PASADAS	: 5704

OBSERVACIONES

- ♦ ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.
- ♦ LA PRUEBA SE DETUVO AUTOMÁTICAMENTE EN LAS 5704 PASADAS DE LA RUEDA.
- ♦ LA CONDICIÓN DE PROFUNDIDAD MÁXIMA DE AHUELLAMIENTO FUE ALCANZADA.





RESULTADO GRADACIÓN ASTM 3515



REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS AASHTO T - 324

PROYECTO : TESIS
 UBICACIÓN : TARAPOTO
 SOLICITANTE :
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA CON ASFALTO 60/70 ADITIVADO POR EL CLIENTE CON 0.8% QUIMIBOND 3000
 FECHA : 28.09.21

DETALLE DE LA MEZCLA

AGREGADO	: CUMBAZA -HUALLAGA	TIPO DE COMPACTACIÓN	: COMPACT. GIRATORIO
FILLER	: ----	PORCENTAJE DE VACIOS	: 6.8 %
ASFALTO	: ASFALTO 60/70 ADITIVADO		
DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA	: 2491 Kg/m ³		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

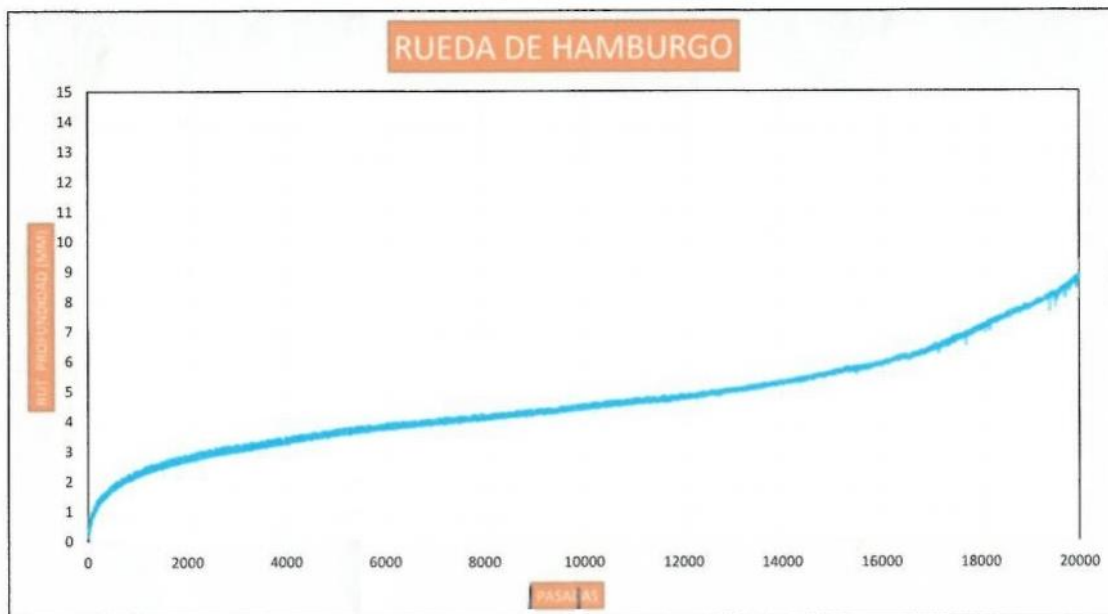
PRUEBA	: 45	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Núcleos	NÚMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA	: ----	PROFUNDIDAD MÁXIMA	: 12.5 mm
DIÁMETRO	: 150.0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas /min
ESPESOR	: 60.0 mm	OPERADOR	: G.V.

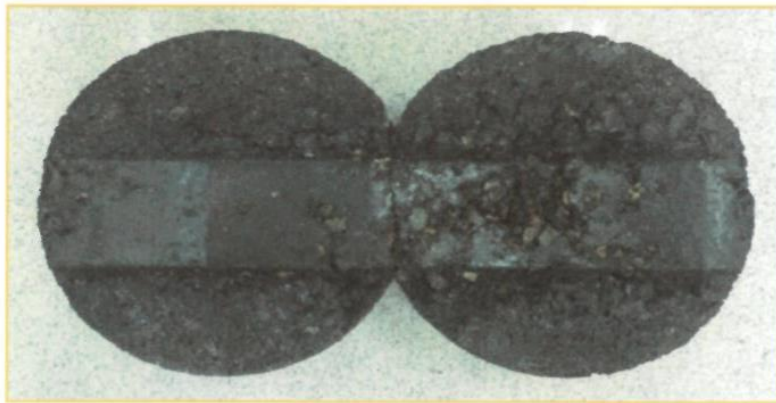
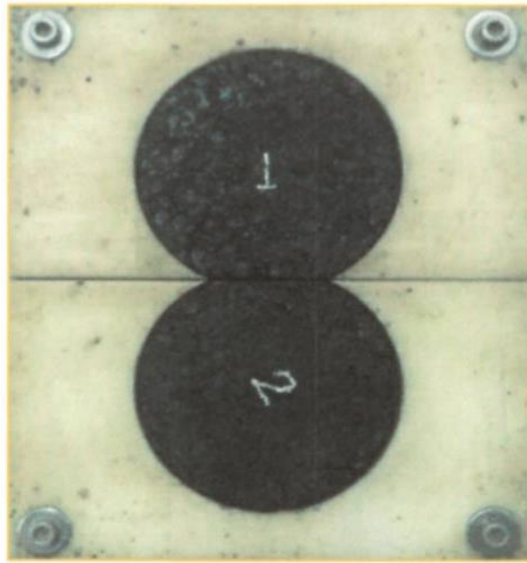
RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 8.81 mm		
TIPO DE MEDIO TÉRMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA	: 50.4 °C	PASADAS	: 20000
TEMPERATURA MÍNIMA	: 49.9 °C		

OBSERVACIONES

♦ ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.





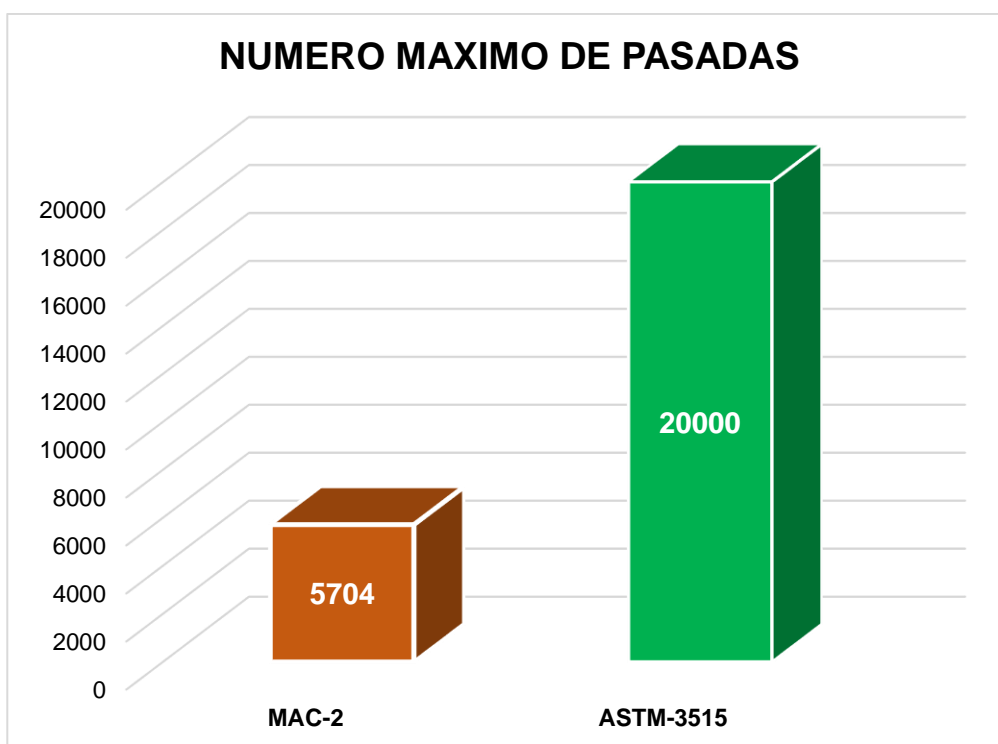
3.1.3. Cuadro comparativo de las Mezclas Asfálticas

A continuación, se observa la comparación de resultados para ambas, mezclas asfálticas con la granulometría MAC-02 y con granulometría ASTM 3515, con el cual podemos despejar nuestra hipótesis, de determinar la resistencia mecánica a la deformación permanente, llegando a la conclusión que la mezcla con gradación ASTM-3515 llega a cumplir con la norma AASHTO T-324 ASTM, a continuación detallamos:

Tabla 18: Resultados de Numero de Pasadas

NUMERO MAXIMO DE PASADAS	
MAC-2	5704
ASTM-3515	20000

Ilustración 16: Número de Pasadas



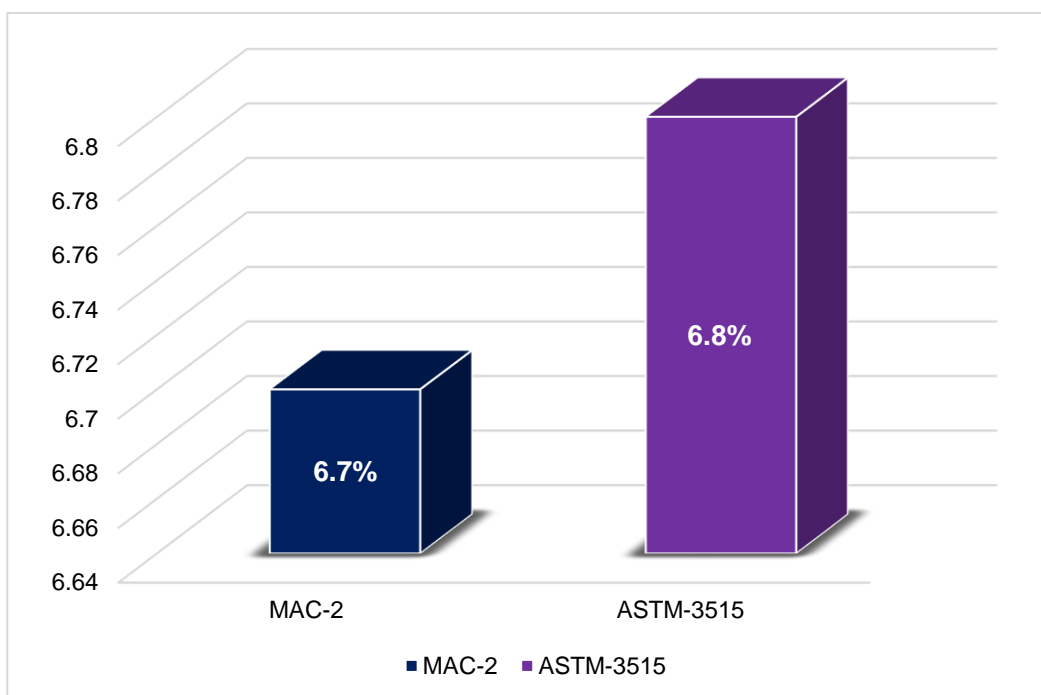
3.1.3.1. Porcentaje de vacíos

Los valores graficados de porcentaje de vacíos para ambas mezclas se muestran a continuación:

Tabla 19: Valores de Porcentaje de Vacíos

PORCENTAJE DE VACIOS	
MAC-2	6.7 %
ASTM-3515	6.8 %

Ilustración 17: Porcentaje de Vacíos



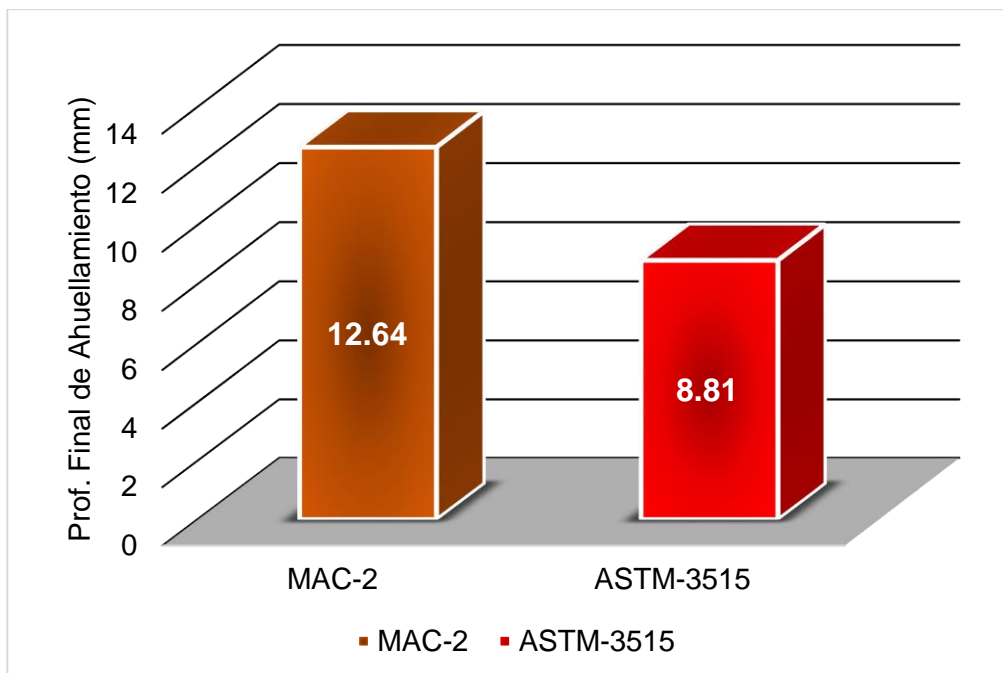
3.1.3.2. Profundidad Máxima Final

Los valores graficados de la profundidad máxima final para ambas mezclas se muestran a continuación:

Tabla 20: Profundidad Final de Ahuellamiento

PROFUNDIDAD MAXIMA FINAL	
MAC-2	12.64 mm
ASTM-3515	8.81 mm

Ilustración 18: Profundidad Final de Ahuellamiento



3.1. Discusión

En la comprobación de la variable independiente, Mezcla asfáltica convencional con gradación MAC-02 y ASTM-3515, se ha realizado una comparación, para saber cuál es resistente ante la deformación permanente.

De los dos ensayos realizados se ha logrado determinar que uno de ellos es el que se puede considerar como satisfactorio, por cuanto cumple con los parámetros establecidos con la norma AASHTO T-324.

Respecto a la variable dependiente: resistencia ante la deformación permanente ensayo rueda cargada de Hamburgo, la deformación máxima promedio permisible para considerar que la mezcla cumple con las expectativas de desempeño en cuanto a susceptibilidad a la humedad y deformaciones permanentes será de 12.5 mm a 20,000 ciclos, sin presentar desprendimiento del agregado durante la prueba.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES:

- Se trabajó con dos mezclas asfálticas, una con la granulometría MAC-02 cuyo porcentaje de vacíos son de 6.7%, densidad máxima teórica 2474 kg/m³ y otra con granulometría ASTM 3515 cuyo porcentaje de vacíos son de 6.8%, densidad máxima teórica 2491 kg/m³.
- El número de pases obtenidos en el ensayo de Rueda de Hamburgo para MAC-02 la prueba se detuvo automáticamente en las 5704 pasadas de la rueda, la condición de profundidad máxima de Ahuellamiento fue alcanzada y para ASTM 3515 la prueba finalizó con las 20 000 pasadas de la rueda, la profundidad máxima de Ahuellamiento fue 8.81 mm, concluimos que la mezcla asfáltica ASTM 3515 cumple con la norma AASHTO T-324, queda demostrado que la gradación ASTM 3515 en relación con MAC-02 presenta un buen desempeño al Ahuellamiento, baja resistencia al desprendimiento.
- En los resultados finales la mezcla MAC-02 obtuvo una profundidad máxima de 12.64 mm y la gradación ASTM-3515 obtuvo una profundidad máxima de 8.81 mm.

4.2. RECOMENDACIONES:

- Se recomienda emplear diseños con gradación ASTM-3515, por presentar una mejor resistencia ante la deformación permanente, ya que en la actualidad las redes viales de la ciudad de Tarapoto se deterioran con mayor facilidad a causa de las múltiples condiciones a las que son sometidas durante su operación, esto genera que las vías necesiten constantes y costosos mantenimientos, para mitigar este problema, es recomendable y necesario pensar seriamente en realizar pavimentos a base de mezclas ASTM.
- Los diseños de mezclas asfálticas no deben ser meramente de carácter volumétrico como los que en la actualidad se realizan sino que deben ser complementados con ensayos de desempeño (resistencia a la deformación permanente y resistencia a la fatiga) que nos permitan verificar el comportamiento real de la mezcla asfáltica, lo cual garantizará un diseño correcto.
- Para garantizar un buen desempeño en las mezclas asfálticas al Ahuellamiento y a la humedad es necesario incluir el ensayo de Rueda de Hamburgo como parte del proceso de diseño de una mezcla asfáltica para garantizar mejor adhesión del asfalto con el agregado y mayor duración de las mezclas asfálticas.

CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica incorporando geomallas de botellas recicladas para mejorar la transitabilidad en el sector Tarapotillo – 2018*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto. Perú.
- Aguilar (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Perú.
- Bauselas (2005). *SPSS: Instrumento de Análisis de Datos Cuantitativos*. (Artículo Científico).Universidad de León. España.
- Casafranca (2016). *Estudio de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS y su influencia en la resistencia a las deformaciones permanentes en la carretera Pucallpa – Tingo María entre el Km. 5 y 15. 2016* .(Tesis de pregrado). Universidad Privada Cesar Vallejo. Lima – Perú.
- Corbacho (2019). *Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco.2019*. (Tesis de pregrado). Universidad San Antonio de Abad del Cuzco. - Perú.
- De la Cruz y Porras (2015). *Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente diseñadas por la metodología Marshall, con ensayo de la rueda cargada de Hamburgo, para el proyecto de rehabilitación de la carretera Dv. Imperial – Pampas*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma-Lima. Peru.

- Hernández y Ramírez (2016). *Análisis de la influencia del grado de compactación de una mezcla asfáltica en su deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia. Colombia.
- Leiva y Pérez (2017), en la investigación denominada “*Modelo de deformación permanente para la evaluación del pavimento*”, presentado a la Revista de Ingeniería y Construcción (RIC).
- MTC (2013). *Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras. EG - 2000*. (Manual). Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Perú.
- Rivero (2018). “*Diseño de una mezcla asfáltica en caliente mediante Metodología Superpave, con incorporación del 25% de pavimento asfáltico reciclado, más ensayos de rueda de Hamburgo y módulos de rigidez*”, (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María – Valparaíso. Chile.
- Rondón y Reyes (2009). *Deformación permanente materiales granulares en pavimentos flexibles: Estado del conocimiento. (Artículo Científico)*. *Revista Técnica. Edición Especial desde la página 140 – 151*.
- Vidal y Ossa (2011). *Modelación y análisis de susceptibilidad a la deformación permanente de mezclas asfálticas*. (Artículo Científico). Universidad EAFIT, Medellín. Colombia.

CAPÍTULO VI: ANEXOS



Imagen 1: Agregados componentes de la mezcla asfáltica.



Imagen 2: Briquetas de diseño.



Imagen 3: Ensayo Rice (Máxima Densidad Teórica).

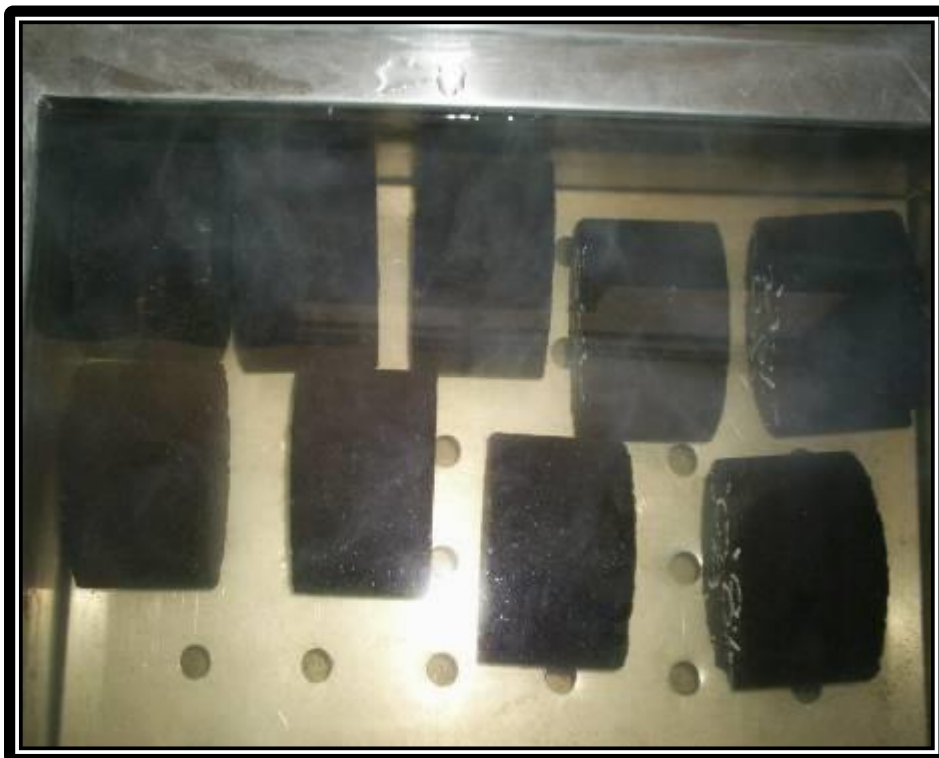


Imagen 4: Briquetas en baño maría para ensayo Marshall.