

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**INCORPORACION DE ADITIVO ADHERENTE EN LA
MEZCLA ASFALTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS
PROPIEDADES REOLOGICAS DEL ASFALTO EN
CALIENTE**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

BACH. DE LA CRUZ FERNANDEZ, EDUARDO

Asesor:

ING. ORDOÑEZ CAMPOSANO, VLADIMIR

**Línea de Investigación Institucional: Transporte
y urbanismo**

Huancayo – Perú

2023

Ing. Vladimir Ordoñez Camposano

Asesor

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera

Decano

Ing. Pautrat Egoavil Henry Gustavo

Jurado

Ing. Córdova Zorrilla Nataly Lucía

Jurado

Ing. Rando Porras Olarte

Jurado

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza

Secretario Docente

DEDICATORIA

Dedico mi tesis con todo mi amor y cariño a mis padres por darme todo su apoyo y por creer en mi capacidad, aunque hayamos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

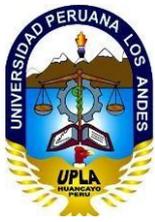
Bach. De La Cruz Fernández, Eduardo

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional

Bach. De La Cruz Fernández, Eduardo



UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DEJA:

CONSTANCIA N° 0169

Que, el (la) bachiller: EDUARDO, DE LA CRUZ FERNANDEZ, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA CIVIL, presentó la tesis denominada “INCORPORACION DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFALTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE”, la misma que cuenta con 175 Páginas, ha sido ingresada por el SOFTWARE – TURNITIN FEEDBACK STUDIO obteniendo el 26% de similitud.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Huancayo 30 de mayo del 2022



Dr. Santiago Zevallos Salinas
Director de la Unidad de Investigación

INDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	5
INDICE	6
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Descripción de la realidad problemática	14
1.2. Delimitación del problema.....	15
1.2.1. Espacial.....	15
1.2.2. Temporal.....	15
1.2.3. Económica	15
1.3. Formulación del problema	15
1.3.1. Problema general	15
1.3.2. Problemas específicos.....	15
1.4. Justificación.....	16
1.4.1. Justificación práctica o social	16
1.4.2. Justificación científica o teórica	16
1.4.3. Justificación metodológica	17
1.5. Objetivos	17
1.5.1. Objetivo general.....	17
1.5.2. Objetivos específicos	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18

2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.1.1. Antecedentes nacionales	18
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	20
2.2. Bases teóricas o científicas.....	23
2.3. Marco conceptual	51
CAPÍTULO III	53
HIPÓTESIS	53
3.1. Hipótesis.....	53
3.1.1. Hipótesis general.....	53
3.1.2. Hipótesis específicas.....	53
3.2. Variables	53
3.2.1. Definición conceptual de las variables	53
3.2.2. Definición operacional de la variable	54
3.2.3. Operacionalización de variables	54
CAPÍTULO IV	56
METODOLOGÍA	56
4.1. Método de investigación	56
4.2. Tipo de investigación	56
4.3. Nivel de la investigación.....	57
4.4. Diseño de la investigación	57
4.5. Población y muestra	57
4.5.1. Población	57
4.5.2. Muestra	57
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
4.7. Técnica de procesamiento y análisis de datos	58
4.8. Aspectos éticos de la investigación.....	61

CAPÍTULO V	62
RESULTADOS.....	62
5.1. Descripción de resultados	62
CAPÍTULO VI	80
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
6.1. Discusión de resultados con antecedentes.....	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	89
Anexo N°01: Matriz de consistencia	90
Anexo N°02: Matriz de operacionalización de variables	93
Anexo N°03: Matriz de operacionalización de instrumento.....	95
Anexo N°04: Instrumento de investigación y constancia de su aplicación.....	97
Anexo N°05: Fotografía de la aplicación del instrumento.....	194

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Poca estabilidad.....	33
Tabla 2. Mezcla muy permeable	35
Tabla 3. Mala trabajabilidad.....	36
Tabla 4. Mala resistencia a la fatiga.	37
Tabla 5. Resistencia al deslizamiento.....	38
Tabla 6. Composición general de aditivos químicos.....	40
Tabla 7. Características físicas del aditivo AR-RED RADICOTE.....	40
Tabla 8. Solubilidad del aditivo AR-RED RADICOTE.	41
Tabla 9. normas que corresponden al comportamiento reológico	45
Tabla 10 . Operacionalización de variables.....	55
Tabla 11: Combinación granulométrica de materiales.....	62
Tabla 12: Análisis granulométrico del material teóricamente combinado.....	63
Tabla 13: Análisis Granulométrico del material combinado físicamente.	65
Tabla 14: Requisitos de agregados gruesos y finos.....	66
Tabla 15: Propiedades reológicas de los diseños de mezcla asfáltica.....	67
Tabla 16: Contraste de peso específico.	68
Tabla 17: Contraste de estabilidad.	69
Tabla 18: Contraste de flujo.	70
Tabla 19: Contraste de vacíos.	72
Tabla 20: Contraste de Vacíos llenos.	73
Tabla 21: Contraste de V. M. A.	74
Tabla 22: Deflexiones de mezcla convencional.	76
Tabla 23: Deflexiones de mezcla convencional.	77
Tabla 24: Contraste de las deflexiones características.	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producto y temperaturas típicas de la destilación de crudo de petróleo.....	25
Figura 2. La unión de a molécula de asfalto y el agregado.....	39
Figura 3. Ubicación del promotor de adherencia.....	41
Figura 4. Enlace químico de las aminas.....	42
Figura 5. Clasificación de la reología.....	44
Figura 6. Modelo de experimentación para la deducción de la fórmula de la viscosidad.....	48
Figura 7: Efectos sobre los parámetros reológicos del incremento en el contenido de agua, superfluidificante y aire intencionalmente incorporado.....	49
Figura 8. Juego de tamices.....	59
Figura 9. Proceso de pesado de una briqueta de asfalto.....	60
Figura 10: Curva Granulométrica de los materiales pétreos y del material combinado.....	64
Figura 11: Curva Granulométrica del material combinado físicamente.....	65
Figura 12: Contraste de peso específico.....	68
Figura 11: Variación en peso específico.....	69
Figura 14: Contraste de estabilidad.....	70
Figura 15: Variación en estabilidad.....	70
Figura 16: Contraste de flujo.....	71
Figura 17: Variación en flujo.....	71
Figura 18: Contraste de vacíos.....	72
Figura 17: Variación en vacíos.....	73
Figura 18: Contraste de Vacíos llenos.....	73
Figura 21: Variación en Vacíos llenos.....	74
Figura 22: Contraste de V. M. A.....	75
Figura 23: Variación en V. M. A.....	75
Figura 24: Deflexiones de mezcla convencional.....	77
Figura 25: Deflexiones de mezcla convencional.....	78
Figura 26: Contraste de las deflexiones características.....	79

RESUMEN

En la presente tesis se ha planteado como problema general: ¿Cómo interviene el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?, siendo el objetivo general: Evaluar el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente. Y con la Hipótesis general: El aditivo adherente mejora las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

Se aplica una metodología para un método de la investigación es Científico, de tipo de investigación es Aplicado, de nivel Explicativo y con un diseño Experimental para una población que está constituida por 130 briquetas de mezclas asfálticas en caliente. Teniendo como tema de estudio el analizar las dosificaciones del aditivo adherente concernientes a la granulometría de los agregados.

PALABRAS CLAVES: Aditivo adherente, mezcla asfáltica, propiedad reológica.

ABSTRACT

In this thesis, the general problem has been raised: How does the adherent additive intervene in the asphalt mix and its impact on the rheological properties of hot asphalt? The general objective is: Evaluate the adherent additive in the asphalt mix and its incidence on the rheological properties of hot asphalt. And with the General Hypothesis: The tackifier additive improves the rheological properties of hot asphalt.

A methodology is applied for a research method that is Scientific, of the type of research is Applied, of Explanatory level and with an Experimental design for a population that is made up of 130 hot mix asphalt briquettes. Having as subject of study to analyze the dosages of the adherent additive concerning the granulometry of the aggregates.

KEY WORDS: Adherent additive, asphalt mix, rheological property.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: “Incorporación de aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente”, nace de la problemática que existe hoy en día donde la construcción de vías de comunicación en nuestra época se ha vuelto una necesidad muy importante para el desarrollo de una sociedad, y de un país; por lo que estas carreteras se han construido con mezclas asfálticas en caliente y frío, ya sea por el diseño empleado o por el tipo de proceso constructivo establecido.

Se debe evaluar el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

La investigación para su mayor comprensión consta de cinco capítulos, analizados y distribuidos de la siguiente manera:

Capitulo I.-En este capítulo se muestra la descripción de la realidad problemática, la formulación y justificación del problema, así como los objetivos.

Capitulo II.-En este capítulo se presentan los antecedentes nacionales e internacionales de la investigación, las bases teóricas que sustentan la investigación sustentando las dos variables y el marco conceptual.

Capitulo III.-En esta sección se muestran el planteamiento de las hipótesis, la definición operacional de variables, la definición conceptual de las variables y la matriz de operacionalización.

Capitulo IV.-La metodología empleada en la investigación, así como el nivel, diseño y tipo de investigación, la población y muestra. Además, técnicas, instrumentos y el procesamiento de la información.

Capitulo V.-En este acápite se presenta una descripción de los resultados en función a los objetivos plateados, la descripción del diseño tecnológico y así como la contrastación de la hipótesis.

En el Capítulo VI. -Se desarrolla la discusión de los resultados, matriz de consistencia, referencias conclusiones, recomendaciones y anexos que sustentan la investigación.

Bach. De La Cruz Fernández, Eduardo

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La construcción de vías de comunicación en nuestra época se ha vuelto una necesidad muy importante para el desarrollo de una sociedad, y de un país; estas carreteras se han construido con mezclas asfálticas en caliente y frío, ya sea por el diseño empleado o por el tipo de proceso constructivo establecido.

En nuestra región de Junín según la publicación del 31/12/2018 de la Red Vial Nacional que ha clasificado por el tipo de superficie en la región, se ha asfaltado 757.00 km de pavimento flexible, siendo el 95% con mezclas asfálticas en Caliente y el 5% con mezclas asfálticas en frío.

Actualmente vías como la carretera central el tramo de ingreso a la ciudad de Huancayo ha tenido que ser refaccionada por presentar una serie de patologías, generando una incomodidad para el transeúnte, como para los transportistas. Dicha incomodidad fue transcrita en el diario El Correo en la publicación de 16/05/2016 con título Huancayo: La Ciudad de los huecos donde el titular de la Dirección regional de Transportes y telecomunicaciones (DRTC)

– Huancayo José Castillo Cárdenas manifestó: “El diseño de las capas de las pistas debe depender de una investigación previa sobre el tránsito que soportará la vía. Debe

de cumplir ciertas normas, para que no se hunda ni rompa fácilmente el pavimento”. Sobre el análisis de la construcción de las vías de tránsito determino que se debe buscar alternativas para poder garantizar la durabilidad y serviciabilidad de las superficies de rodadura.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Espacial

La delimitación de la investigación está determinada para las condiciones del distrito de Huancayo, provincia de Huancayo, departamento de Junín. Con muestras de agregados extraídos de la cantera de Pilcomayo, se plantea bajo las condiciones de sistema de tráfico de la ciudad universitaria.

1.2.2. Temporal

La presente investigación se desarrolló entre los meses de julio del 2021 hasta el mes de julio del 2022.

1.2.3. Económica

Para los casos de ensayos y proceso de obtención de datos fue financiado por el investigador completamente financiado por el investigador.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo interviene el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo interviene en la estabilidad el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?
2. ¿De qué manera varía el flujo el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?
3. ¿Cómo interviene en la deflexión el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación práctica o social

Según Méndez Álvarez, (2020) “Se considera cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo.”

La justificación práctica permitirá evaluar el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas de asfalto en caliente.

El uso de relleno mineral en la mezcla asfáltica en frío, presenta ventajas ya que al incorporar esta captura el agua excedente propio de sus propiedades químicas, es de uso comercial y su uso es muy variado en la industria de la construcción ya que permite:

1. Mejorar la plasticidad de la mezcla.
2. Retener el agua.
3. Mejorar la adherencia.
4. Comprimir mejor el cuerpo compactado

1.4.2. Justificación científica o teórica

Según Méndez Álvarez, (2020) “En la investigación hay una justificación teórica cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados o hacer epistemología del conocimiento existente”.

Esta investigación se ha realizado con el fin de poder una alternativa en la industria de la construcción el cual implementara nuevos métodos que podrán garantizar una estructura de mayor durabilidad que podrá mejorar el comportamiento de la mezcla asfaltada en su mayor grado de compactación siendo la asimilación de cargas dentro de los parámetros establecidos y bajo las condiciones reales de tráfico.

1.4.3. Justificación metodológica

Según Bernal (2010), “La justificación metodológica se da cuando se realiza un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable. Esto propone buscar nuevos métodos o técnicas para generar conocimientos.” (pág. 26).

La justificación metodológica está basada en el diseño de una mezcla asfáltica convencional en caliente para luego incorporar el aditivo adherente en diferentes dosificaciones, con el fin de poder analizar las propiedades de la mezcla asfáltica, para lo cual se seguirá los estudios óptimos en el laboratorio y será llevado a una prueba experimental con un tramo evaluado.

El planteamiento de estructuras de envergaduras considerables para nuestra ciudad será evaluado mediante estándares científicos, situaciones reales y con estándares óptimos para poder lograr ser empleados en otras construcciones posteriores.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar la estabilidad el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.
2. Evaluar la variación del flujo con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.
3. Determinar la deflexión para el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Garia Rojas & Inga López (2020), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Variación de las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo Marshall entre las mezclas asfálticas tibias producidas con diferentes tecnologías y las mezclas asfálticas en caliente”, el cual fija como **objetivo general:** se determinara la variación de estabilidad, fluencia y relación de estabilidad entre fluencia al utilizar tecnologías de las mezclas asfálticas tibias en base a las mezclas asfálticas en caliente, empleando la **metodología:** La investigación es de método cuantitativo, descriptivo y no experimental, obteniendo como **resultado:** la menor variación de fluencia respecto a las mezclas asfálticas que se produjeron con las diferentes tecnologías es de 0% el resultado es así ya que se utiliza la mezcla la asfáltica tibia con zeolita de 0.09% a una temperatura de 140°C, la variación de estabilidad es de 0.72% se da cuando se usa mezcla asfáltica tibia con Genaminin a 121°C de temperatura, finalmente **concluyo:** que la variación promedio de las propiedades mecánicas superan el 15%.

Flores Gonzales & Guillermo (2019), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente”, el cual fija como **objetivo general:** se analizará el comportamiento de las mezclas asfálticas con la adición de tensoactivos para poder demostrar sus ventajas con la ayuda de los ensayos que se realizaran en el laboratorio de lima, empleando la **metodología:** La investigación es aplicada, cuantitativa descriptiva y experimental, obteniendo como **resultado:** las mezclas asfálticas caliente se realizan a una temperatura de 150°C a comparación de las mezclas asfálticas tibias con la adición de tensoactivos podrá realizarse con una temperatura de 135° por tal esa reducción de temperatura tendrá un impacto en la disminución de emisiones de las gases toxicas ya que siendo este en de los beneficios de las mezclas durante su proceso de producción, finalmente **concluyo:** las mezclas asfálticas tibias, con los tensoactivos en estudio, nos permiten trabajar las mezclas a temperaturas menores de compactación, 120°C a 125°C, cubriendo así mayores distancias de transporte que las mezclas asfálticas en caliente no podrían satisfacer, siendo ese otro beneficio de las mezclas asfálticas tibias durante la compactación.

Mamani Mamani (2018), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Incidencias de la adición de Zeolita natural a la mezcla asfáltica en su comportamiento mecánico”, el cual fija como **objetivo general:** se determinara la incidencia de la mezcla modificada con la incorporación de zeolita natural respecto a su comportamiento mecánico en las mezclas asfálticas, empleando la **metodología:** La investigación es aplicada, cuantitativa descriptiva y experimental, obteniendo como **resultado:** después de realizar la evaluación de la zeolita natural en el proceso de espumado, usa 0.3%, 06% y 0.9% del peso de la mezcla y logra disminuir la temperatura de mezclado y consistencia indica que no existe variaciones significativas en el desempeño de la mezcla asfáltica., finalmente **concluyo:** que la transformación de la mezcla asfáltica con la incorporación de la zeolita natural no incide significativamente en su

comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, no incide en su estabilidad y fluencia Marshall.

Peña Anccasi & Aramayo Pinazo (2019), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo”, el cual fija como **objetivo general:** hallar el porcentaje de la adición de cenizas volantes que provienen de termoeléctrica de Ilo para para que pueda aumentar el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente, empleando la **metodología:** cuantitativa, con un tipo de investigación aplicada con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** después de realizar la medición referente a los parámetros de Marshall de la estabilidad y flujo se ve un aumento de 18%,16% y 16.25% respecto a sus resistencia mecánica diferencia de la mezcla asfáltica en caliente sin adicionar ceniza volante, finalmente **concluyo:** se recomienda usar las cenizas volantes en una dosis de 0.75% para que pueda aumentar el desempeño mecánico frente a deformaciones permanentes.

Estrada Escalante (2017) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28”, el cual fija como **objetivo general:** se evaluara el desempeño de las mezclas asfálticas convencionales PEN 85/100 Plus y con polímeros de tipo SBS PG 70-28 para poder obtener el desempeño de cada una de las mezclas, empleando la **metodología:** cuantitativa, con un nivel correlacional con el método hipotético y deductivo, obteniendo como **resultado:** que la mezcla asfáltica con adición de polímeros ofrece una mayor estabilidad con un menor nivel de flujo, finalmente **concluyo:** al adicionar polímeros en la mezcla asfáltica convencional presenta mejordesempeño mecánico e incrementa su vida útil.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Franco Lozano, León Zambrano, & Ruiz Ruiz (2015), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Estudio de la incidencia del Elvaloy en las

propiedades reológicas del concreto asfáltico y del asfalto de la planta de Barrancabermeja”, el cual fija como **objetivo general:** Se estudiara la incidencia del Elvaloy en las propiedades reológicas del concreto asfaltico hecho con un asfalto de la planta de barranca, empleando la **metodología:** La investigación es de tipo aplicada; el diseño es transversa, obteniendo como **resultado:** se ve que existe una mejora considerable en la capacidad de resistencia de la mezcla asfáltica cuando se utiliza el asfalto modificado , finalmente **concluyo:** que es importante necesario tomar los análisis en el laboratorio con la de la viscosidad en diferentes temperaturas lo cual nos ayudara hallar los componentes elásticos y la viscosidad en temperaturas distintas, de tal forma se tendrá una convicción en el comportamiento de dicho tipo de asfalto en las vías colombiana.

Wulf RodrigueZ (2008), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero”, el cual fija como **objetivo general:** analizar y diferenciar entre el asfalto convencional y el asfalto modificado con polímeros con la utilización del ensayo Marshall, empleando la **metodología:** cuantitativa, con un tipo de investigación aplicada con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** respecto a la estabilidad e influencia se demostró que las mezclas con asalto modificado presentaron mejores comportamiento a diferencia de las mezcla asfálticas convencionales, finalmente **concluyo:** que los asfaltos con polímeros tienen una capacidad mayor de poder mantener su forma a consecuencia de presiones que fueron sometidas.

Rodríguez Cepeda. (2016), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Análisis de desempeño de mezclas asfálticas tibias”, el cual fija como **objetivo general:** modificar el asfalto mediante el uso de aceite crudo de palma (ACP), para fabricar mezclas asfálticas tibias y establecer su desempeño en laboratorio y compararlas con las mezclas asfálticas en caliente, empleando la **metodología:** cuantitativa, con un tipo de investigación aplicada con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** después de realizar los ensayos de viscosidad y el control

del asfalto se asume que el porcentaje óptimo para poder determinar una mezcla tibia es de 1%, finalmente **concluyo:** que a utilización de aceite crudo sirve como reductor de viscosidad del asfalto siempre en cuando el aceite cumpla con los parámetros de calidad.

Infante Ataurima & Vásquez Alarcón (2016), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA Y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas”, el cual fija como **objetivo general:** estudiar el comportamiento mecánico de los dos tipos de mezclas asfálticas: las convencionales y con la adición de polímeros SBS Y EVA, empleando la **metodología:** cuantitativa, con un tipo de investigación aplicada con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** que al agregar un 4% de polímero SBS incrementara la estabilidad del pavimento y al utilizar el mismo porcentaje con el polímeros EVA no se obtienen los mismo resultados, finalmente **concluyo:** se recomienda utilizar el polímero EVA ya que aporta mejores características en las propiedades mecánicas como el incremento de estabilidad y reduce el agrietamiento.

Icaza Preciado & Mera Intriago (2018), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas”, el cual fija como **objetivo general:** evaluación de efecto que ocasionara empleando agentes rejuvenecedores, empleando la **metodología:** tipo de investigación aplicada con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** evidenció que al emplear asfaltos con rejuvenecedores el comportamiento a la fatiga de la mezcla mejoró notablemente, finalmente **concluyo:** la mezcla donde se empleó como rejuvenecedor el Sylvaroad fue la de mejor desempeño.

2.2. Bases teóricas o científicas

2.2.1. Mezcla asfáltica

Para Kraemer, y otros (2004) las mezclas asfálticas admiten normalmente el nombre de aglomerados, por lo que están compuestas por una mezcla de agregados y un ligante hidrocarbonado, de tal modo que algunos quedan tapados por una película sucesiva de éste. Se realizan de una manera mecánica en algunos centrales puntuales o en movimientos, se desplazan luego a la obra y es por ello que se llegan a desplegar y se compactan. En la actualidad se utilizan en los pavimentos de carreteras, también en calles, en infraestructuras con tráfico, aeropuertos, áreas industriales y pistas deportivas. Los pavimentos de mezclas bituminosas en la actualidad son rodaduras más adquiridas por los usuarios, por lo que llegan a observar sus cuales de seguridad y bienestar. Algunos avances en el estudio de los tipos, formulación y algunas características de las mezclas son fundamentales y logran usarse en diferentes espesores, diferentes características climáticas o distintos terrenos.

De acuerdo con Fajardo Cachay & Vergaray Huamán (2014) las mezclas asfálticas presentan una estructura de pavimentación por lo que contiene al asfalto y al árido, en la cual son combinados o mezclados en partes exactas, en la cual algunos alusivos de los componentes, por el cual desarrollan las propiedades físicas de la mezcla asfáltica y normalmente, la ejecución de la misma, así como la estructura de pavimento terminado. Se presentan dos métodos de diseño comúnmente usados para hallar las proporciones adecuadas de asfalto y árido, en una mezcla asfáltica en caliente, estos son el método marshall (AASHTO T 245 o ASTM D 15559) y el método Hveen (AASHTO T 246 y T247 o ASTM D 1560 y D1561). Por lo que cada método presenta características y ventajas parciales, diferente de ellos, en la cual logran ser utilizados con resultados agradables. Las mezclas asfálticas se fabrican en algunas plantas que son estables o se encuentran en movimiento por lo que se desplazan luego de la obra, donde se despliegan y se compactan. El objetivo de dichas mezclas

asfálticas es el de tapar todas las partículas de los áridos con una cantidad menor a la del producto asfáltico, para lograr ser utilizados en pavimentos asfálticos, por lo que el deber de las mezclas asfálticas será el de suministrar un área de rodamiento cómoda, económica y segura a los usuarios de algunas vías de comunicación de tal manera de transportar las suficientes cargas causadas por el tráfico, a la superficie base para que logren ser sostenidas por esta.

2.2.1.1. Componentes de una mezcla asfáltica

a) Asfalto

De acuerdo con Asphalt Institute, (1982) el asfalto es un material cementante de color negro de consistencia sólido y semisólido dependiendo de las temperaturas ambientales. En Estados Unidos utilizan asfalto que son producidos por refinerías modernas de petróleo.

El asfalto es un material viscoso y pegajoso, se puede adherir rápidamente a los agregados, también es un excelente material que sirve para impermeabilización y no es afectado por los ácidos, álcalis sales por lo tanto resiste a diferentes daños químicos Asphalt Institute (1982).

Como nos manifiesta Forero Bernal, García Medina, & Martines Torres (2015), el asfalto se deriva del petróleo se podrá encontrar de dos maneras en los yacimientos naturales y en los subproductos de destilación de determinados crudos de petróleo. El material es viscoso y de color negro combinado con arena o gravilla sirve para:

- ✓ La pavimentación de las carreteras
- ✓ Carpetas
- ✓ Superficies de rodamiento
- ✓ Impermeabilización de estructuras
- ✓ Relleno de juntas de los pavimentos de concreto hidráulico

a) Refinación de Petróleo

Teniendo en cuenta a Asphalt Institute (1982) el crudo de petróleo este refinado por la destilación, por el cual en el proceso diferentes elementos son desintegradas fuera del crudo como se muestra en la siguiente imagen:

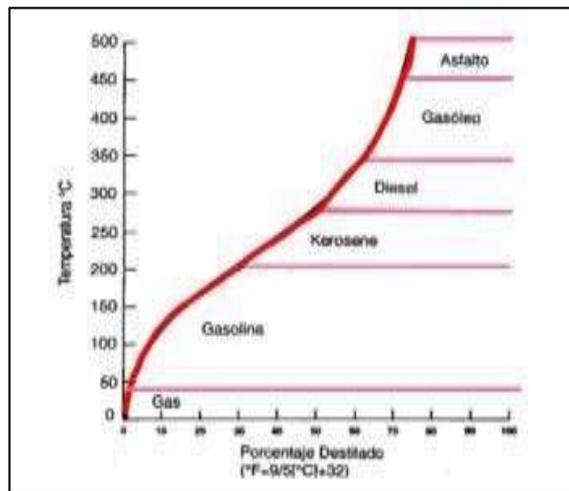


Figura 1. Producto y temperaturas típicas de la destilación de crudo de petróleo.

Fuente: Asphalt Institute (1982)

b) Refinado del asfalto

Los refinadores de crudo deberán controlar las propiedades del asfalto para que puedan cumplir algunos requisitos, eso se obtiene realizando la combinación de diferentes clases de crudo de petróleo antes de realizar el proceso, con el fin de presentar características que solicita el usuario. En conclusión, para poder tener la obtención de asfalto con características específicas se utiliza el crudo del petróleo (1982, pág. 11).

Clasificación del asfalto

a) Cemento asfáltico

Es un cemento asfáltico con flujo o sin flujo que es fabricado dependiendo a la calidad y consistencia para poder utilizarlo en pavimentos asfálticos (1982, pág.253).

b) Asfalto diluido

El asfalto diluido es el resultado del cemento asfáltico que fue licuado al combinarlo con solventes del petróleo (1982, pág. 253).

c) Emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica se refiere a la emulsión de cemento asfáltico y del agua que comprende una pequeña dosis de agente emulsionante. es un sistema variado que tiene dos fases inmiscibles de tal manera que el agua crea la fase continua de emulsión la discontinuidad está formado por pequeños glóbulos de asfalto (1982, pág. 253).

Propiedades químicas del asfalto

El asfalto está compuesto por hidrocarburos y con otros elementos como azufre, oxígeno y nitrógeno; el asfalto cuando está disuelto es un solvente como el heptano que se separa en dos partes:

a) Asfaltenos

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano, dan color y dureza al asfalto después de ser separado de los máltenos son similares al polvo grueso de grafito (1982, pág. 17).

b) Maltenos

Se disuelve en el heptano, son de color ámbar o pardo oscuro, se refieren a líquidos viscosos que están compuestos de resinas y aceites, pero los aceites son de color más claro que las resinas (1982, pág. 17).

Propiedades físicas del asfalto

a) Durabilidad

La durabilidad es la disposición que podrá retener un asfalto cada una de sus características originales después de haber sido expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento (1982, pág. 17)

b) Cohesión y adhesión

La cohesión es la capacidad del asfalto mantenerse firmemente y la adhesión es la capacidad de adherirse en el agregado para obtener una combinación de pavimento (1982, pág. 17).

c) Susceptibilidad a la temperatura

Se puede decir que todos los asfaltos son termoplásticos ya que depende de la temperatura para presentarse en estado líquido o sólido, es importante conocer su susceptibilidad por tal es recomendable saber en qué se utilizara (1982, pág. 18).

d) Endurecimiento y envejecimiento

El asfalto tiende a endurecerse durante el proceso de ejecución, dicho endurecimiento es provocado por el proceso de exudación ya que ocurre más en as temperatura altas y en películas delgadas (1982, pág.20).

2.2.1.2. Características de la mezcla asfáltica

Teniendo en cuenta a Franco Lozano, León Zambrano, & Ruiz Ruiz (2015) nos menciona que las mezclas asfálticas que son hechas en el laboratorio podrán ser estudiadas para comprobar la eficacia y el funcionamiento con la adición de algunos productos que son incorporados, dichas mezclas nos presentaran las siguientes características:

a) Densidad de la mezcla

La densidad de la mezcla es una característica muy importante ya que depende de la densidad para poder obtener un uso más duradero por tal cuando se realiza el estudio de la densidad en el laboratorio se obtendrá una referencia de cómo controlar dicha densidad del pavimento acabado (2015, pág. 28).

b) Vacíos con aire

Como menciona Franco Lozano, León Zambrano, & Ruiz Ruiz (2015) los espacios vacíos como su mismo nombre lo dice son espacios de aire que existe entre los agregados que están cubiertos con asfalto, después son sometidas a compresión, es conveniente que las mezclas contengan una cierta cantidad de % de vacíos ya que cuando exista una compactación adicional con el tráfico que se presentara permitirá que el asfalto fluya. El porcentaje de espacios se determinará dependiendo a la durabilidad ya que si se excede eso podrá tener consecuencias ya que se formará un canal por donde el cual entrará agua y aire que al final ocasionará una oxidación y deterioro más rápido.

c) Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en los agregados son espacios de aire que están ubicados en las mezclas de asfalto, incluidas los espacios que están llenos de asfalto, dichos vacíos están representados por espacios disponibles que ayudaran a determinar el volumen efectivo del asfalto (2015, pág. 28).

d) Contenido de asfalto

La cantidad de asfalto será determinado exactamente en el laboratorio para después ser controlada de una forma estricta al momento de la producción del asfalto, el contenido de asfalto también dependa de las características del agregado tanto en la granulometría y la absorción ya que mientras más fino sea se

tendrá una mayor superficie para cubrir ya que se utilizará mayor cantidad de asfalto en el caso de la absorción los ensayos que se realizaran deberán ser ensayos cuidadosos a las fuentes del material Franco Lozano, León Zambrano, & Ruiz Ruiz (2015).

e) Flujo

Según el Diseño de mezclas asfálticas (2015) el flujo es medido en centésimas de pulgada que representa la deformación de la briqueta, la deformación se indica por la deformación de la disminución del diámetro vertical, las mezclas que tienen valores bajos respecto a la influencia y los valores altos respecto a la estabilidad son considerados demasiados frágiles y rígidas para un pavimento en servicio; los que obtienen valores altos en la influencia se considera plásticos y por ende tienen tendencia en deformarse por el tránsito.

2.2.1.3. Tipos de mezcla asfáltica

De acuerdo con Kraemer, y otros (2004) menciona lo siguiente:

a) Mezclas asfálticas en caliente

Son aquellas en las que están compuestas por el tipo más difundido, en las que se llegan a aplicar en las vías urbanas de igual manera en las autopistas, en las carreteras convencionales y en algunos aeropuertos; por otra manera se usan en las capas de rodadura como en algunas capas inferiores de los firmes. Para tal diversidad de usos se presenta de igual manera dentro de la familia de mezclas, los subtipos con distintas propiedades. Por lo que se producen en betunes asfálticos, aunque en algunas situaciones se requiere al uso de los ligantes cambiados. Las secciones del ligante de acuerdo a la granulometría y al uso de la mezcla se aproximan del 3% al 6% por encima de la masa del árido. Algunas mezclas asfálticas en caliente son las más usadas para las capas de rodadura son aquellas mezclas cerradas (2004).

b) Mezclas asfálticas en frío

Se definen como aquellas mezclas en la cual son realizadas con emulsiones asfálticas, en la cual presentan su fundamental campo de uso en la construcción y en el mantenimiento de las carreteras secundarias. Se describen por su trabajabilidad a causa de la realización durante semanas, el cual se prioriza en que el ligante sostenga un extenso periodo en la cual presenta una viscosidad baja mediante el cual se utilizan unas emulsiones de asfalto fluidificado: Al ascender la viscosidad es demasiado lento en las provisiones, debido a que solamente endurece el terreno, logrando que sea factible el acopio. Pero luego de la puesta en obra en una capa de espesor limitado, el endurecimiento es indefinidamente demasiado rápido en las capas ya desplegadas a causa de la evaporación del fluidificante. Se presenta un conjunto de mezclas e frío, por lo que la realiza con una emulsión de rotura lenta, en la cual no tenga un tipo de fluidificante, sin embargo, es poco aplicable, por lo que se llegan a compactarse o juntarse luego de haber fracturado o roto la emulsión. Según el procedimiento de la incrementación paulatina de las resistencias llega a la maduración de la emulsión con la siguiente incrementación de la cohesión de la mezcla (2004).

c) Mezclas porosas o drenantes

Son aquellas en la cual se aplican en capas de rodadura fundamentalmente en las autopistas y en diferentes vías de tránsito rápido, en la cual se producen con asfaltos cambiados en secciones que van desde el 4.5% al 5% de la masa del agregado; adicionado con asfaltos normales en la cual se usan en las vías urbanas, en las vías secundarias o hasta en capas de base bajo los pavimentos de hormigón. Usadas como aquellas mezclas en caliente para tráfico de una alta intensidad y como rodadura en grosores de 4 cm, por lo cual se llega a que el agua de lluvia recaiga por encima de la calzada y se logre desocupar de forma veloz debido a la infiltración. (2004)

d) Micro-aglomerados

Se definen por ser aquellas mezclas con dimensión máxima del árido pétreo menor a 1cm por lo que llega a usarse en capas de pequeño grosor; en este tipo de mezcla asfáltica los micro aglomerados en frío son conocidas como las lechadas asfálticas más gruesas y los micro aglomerados en caliente son menor a 3cm por lo cual son utilizados en varios procedimientos superficiales. En la actualidad son aplicables de manera necesaria para algunas zonas urbanas, al llegar a ampliarse en algunas capas de pequeño espesor y así no se llegan a ocasionar los problemas que llegaran a presentar o tener relación con la elevada de los bordillos o con el gálibo de las obras de paso. Existen micro aglomerados con dimensiones rugosas en la cual presentan áridos pétreos de mucha calidad y asfaltos cambiados que son aplicables en las vías con elevada velocidad de circulación. (2004)

e) Masillas

Son aquellas mezclas en la cual presentan secciones muy elevadas con polvo mineral y de ligante de forma que si existe el árido grueso se encuentra disperso en la masilla en la cual se llegan a formar por aquellos. Este tipo de mezcla no se realiza por rozamiento interior y su resistencia que es causada por la cohesión en la cual se facilita la viscosidad de la masilla. Algunas proporciones de asfalto son elevadas a causa que se presenta una gran área adecuada de la materia mineral. Por ello la alteración de temperatura que se llega a tener una estructura de este tipo, es fundamental endurecer la masilla y descender su vulnerabilidad térmica a través de asfaltos duros, en la cual se cuida la calidad del polvo mineral y va perfeccionando el ligante con incrementos de fibra. Algunos asfaltos son juntados de este tipo, en la cual se presenten mezclas de buena calidad, sin embargo, para su uso se justifica de manera

singular en los tableros de puentes, algunas aceras, en las vías urbanas y en países con climas fríos y húmedos (2004).

f) Mezclas de elevado módulo

Se caracteriza debido a que se produce en caliente, por lo que fundamentalmente algunas mezclas de elevado módulo para capas de base se llegan a realizar con asfaltos demasiados duros. De tal manera que se cambian en algunos contenidos asfálticos en el 6% de la masa de los áridos pétreos, la proporción de polvo mineral es muy elevado que varía entre el 8% al 10%. Algunas mezclas con alto módulo de elasticidad y una resistencia a la fatiga, además relativamente alto. Se usan en algunas capas de espesores que varían entre 8 y 15cm al igual para los restablecimientos como para la construcción de áreas nuevas de carretera con tráfico pesados de intensidad media o elevada. Kraemer, y otros (2004)

2.2.1.4. Propiedades en mezclas asfálticas

En la mezcla asfáltica para Fajardo Cachay & Vergaray Huamán (2014) se trabaja excelente a causa a que son diseñadas, originadas y ubicadas en situ de obra, de tal modo que se llega a obtener algunas propiedades necesarias. Existen diferentes propiedades en la cual ayudan a la excelente calidad de pavimentos de mezclas asfálticas, por lo que dentro de ellas existen lo siguiente:

a) Estabilidad

Esta propiedad se presenta en la mezcla asfáltica debido a que su capacidad para soportar los desplazamientos y alteración bajo las cargas secuenciales; el pavimento constante es aquella que sostiene las formas que se encuentra bajo las cargas secuenciales; por otro lado, el pavimento inconstante se llega a realizar por los canales, corrugaciones y otras señas en la cual describan diferentes modificaciones en la mezcla. La estabilidad presenta algunos requisitos por los que solo se llegan a tener en cuenta luego de la evaluación completa del tránsito, debido a que algunos contenidos

de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad llegan ser lo bastante elevadas para ordenar correctamente el tránsito conjeturado, sin embargo, son bajas de lo que exijan algunas especificaciones de tránsito. Valores muy elevados de estabilidad, llegan a elaborar un pavimento muy rígido, y es por ello que son menos durable que lo deseado. La estabilidad de la mezcla, es aquella que se somete a la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de árido se relaciona con las propiedades del árido, al igual que la forma y dimensión superficial. La cohesión nace de la capacidad del ligante del asfalto. El grado adecuado de fricción y cohesión interna en la mezcla asfáltica, se llega a producir de las partículas del árido en la cual se muevan unas respecto a otras, a través de las fuerzas que son provocadas por el tráfico. (pág. 34)

Tabla 1: Poca estabilidad.

Causa	Efecto
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ahuellamiento, exudación y ondulaciones.
Exceso de agregado fino de dimensión media en la mezcla	Mínima resistencia mediante la compactación y luego dificultosa para la compactación
Árido redondeado con o sin pocas áreas chancadas.	Canalización y ahuellamiento.

Fuente: “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET” – Navarro Jiménez, José Martín – 2017.

b) Durabilidad

Es aquella propiedad del pavimento en la que su habilidad para soportar los factores, como por ejemplo de la descomposición del árido, modificaciones en las propiedades de asfalto y división de las películas de asfalto, por lo que los factores logran ser la respuesta de la acción del clima, el tránsito o alguna mezcla de ambos. En lo general, la durabilidad de la mezcla llega a estar perfeccionada en diferentes maneras: la primera que es utilizando la máxima cantidad adecuada de asfalto, utilizando una proporción compacta de árido

que soporta a la división, diseñando y compactando la mezcla de tal manera que logre obtener una mayor impermeabilidad. La máxima cantidad del asfalto posible asciende la durabilidad, debido a que las películas gruesas de asfalto no envejecen o endurecen demasiado rápido, es por ello que como lo realizan las películas finas. Es por ello que el asfalto conserva por demasiado tiempo sus propiedades principales. También, el mayor contenido considerable de asfalto sella activamente un buen porcentaje de espacios interrelacionados en el pavimento, llegando a realizar de manera complicada la penetración del aire y del agua. Ciertamente se logra tener un porcentaje adecuado de vacíos en el pavimento para acceder la ampliación del asfalto en los climas cálidos. (págs. 35-36)

c) Impermeabilidad

Es aquella propiedad del pavimento por lo cual es la resistencia al paso del aire y agua hacia su parte interior. Está propiedad se relaciona con el contenido de los vacíos de la mezcla compactada de tal manera que, en la gran parte de las disputas sobre vacíos en las partes de diseño de mezcla, por lo cual presenta relación con la impermeabilidad. El contenido de vacíos es aquella que indica el paso potencial de aire y agua mediante un pavimento por lo que la naturaleza de los vacíos es muy fundamental que su cantidad. El grado de impermeabilidad se realizar por la dimensión de los vacíos, por lo que no es fundamental si están o no relacionados, y es por ello que la entrada que presenta el área del pavimento. La impermeabilidad es fundamental para la durabilidad de las mezclas compactadas, por lo que las mezclas asfálticas son utilizadas en la construcción de carreteras, presentan algún grado de impermeabilidad. Esto es admisible, cuando la permeabilidad se encuentre en el rango de los límites distinguidos. (pág. 37)

Tabla 2. Mezcla muy permeable

Causas	Efectos
Poco contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto ocasionaran, de forma temprana un envejecimiento y una descomposición de la mezcla.
Elevado contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire logran entrar de forma fácil en el pavimento, logrando ocasionar la descomposición de la mezcla y oxidación.
Compactación impropia	Procederá en vacíos elevados en el pavimento por lo que manejará la infiltración del agua y la baja estabilidad.

Fuente: “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET” – Navarro Jiménez, José Martín – 2017.

d) Trabajabilidad

Es aquella propiedad en la cual está detallada por la facilidad en la que una mezcla de pavimentación llega a ser ubicada y compactada. Algunas de las mezclas presentan una excelente trabajabilidad debido a que son fáciles de ubicar y compactar; los que presentan mala trabajabilidad son complicados de colocar y compactar. La trabajabilidad llega a ser perfeccionada, cambiando algunos parámetros de la mezcla, el tipo de áridos y la granulometría. (pág. 38)

Tabla 3. Mala trabajabilidad.

Causas	Efectos
Exceso de áridos gruesos.	Difícil de compactar.
Baja temperatura de mezcla.	Mezcla poco durable, área desapacible, complicado de compactar.
Exceso de agregado fino de tamaño medio.	La mezcla se mueve bajo los compactadores y se sostiene blanda
Poco contenido de relleno mineral.	Mezcla blanda, con elevado grado de permeabilidad.
Elevado contenido de relleno mineral.	Mezcla demasiado viscosa, complicado de usar, poco durable.

Fuente: “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET” – Navarro Jiménez, José Martín – 2017.

e) **Flexibilidad**

Es aquella propiedad en que la capacidad del pavimento asfáltico se adecua sin que tenga fallas, a desplazamiento y asentamientos proporcionados de la subrasante. La flexibilidad es aquella que es considerable en todo pavimento asfáltico, debido a que todas las subrasantes se asientan o se extiendan. Una mezcla de granulometría abierta con elevado contenido de asfalto en lo general es demasiado flexible que una mezcla de poco contenido de asfalto, por lo que existen ocasiones de los requerimientos de flexibilidad en la cual entran en disidencia con algunos requisitos de equilibrio, tal sea el caso en el que se llegue buscar la estabilidad de los mismos. (pág. 40)

f) **Resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga del pavimento es aquella resistencia a la flexión consecutiva bajo las cargas de tránsito, por lo que se comprueba por medio de la investigación que los vacíos se encuentran en relación con el contenido de asfalto y la viscosidad, presentan un efecto deseable de la resistencia a la fatiga. El

porcentaje de los vacíos en el pavimento asciende debido al diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento descende, de tal manera que el pavimento que presenta asfalto se va envejeciendo y endureciendo de manera considerable por lo que tiene una mínima resistencia a la fatiga. (págs. 40-41)

Tabla 4. Mala resistencia a la fatiga.

Causas	Efectos
Poco contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos elevados de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falla de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor no adecuado para el pavimento	Exceso de flexión continua por el agrietamiento por fatiga

Fuente: “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET” – Navarro Jiménez, José Martín – 2017.

g) Resistencia al deslizamiento

Es aquella habilidad del área del pavimento de disminuir el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, en particular cuando el área se encuentra mojada. Para obtener una excelente resistencia al deslizamiento, el neumático llega a sostener contacto con las partículas de árido en vez de rodar sobre una película de agua en el área de pavimento. La resistencia al deslizamiento se mide en la superficie con una rueda normalizada en pocas condiciones cautelosas de humedad en el área del pavimento, y a una viscosidad de 65 km/hr. El área desapacible y áspera del pavimento, llega a tener una máxima resistencia al deslizamiento que un terreno liso; por lo que la mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un

árido de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 3/8” a 1/2”. También tiene un área áspera, los áridos llegan a sostener el pulido bajo el tránsito, los áridos calizos son muy capaces al pulido que los áridos silíceos. Las mezclas que no son estables tienden a no presentar una forma adecuada o a exudar por lo que presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (pág. 41)

Tabla 5. Resistencia al deslizamiento.

Causas	Efectos
Demasiado asfalto.	Exudación, baja resistencia al deslizamiento.
Árido mal proporcionado o con mala forma.	Pavimentos lisos, posibilidad de hidropelante.
Árido pulido en la mezcla.	Baja resistencia al deslizamiento
Espesor no adecuado para el pavimento	Exceso de flexión continua por el agrietamiento por fatiga

Fuente: “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET” – Navarro Jiménez, José Martín – 2017.

2.2.2. Aditivo adherente en la mezcla asfáltica

De acuerdo con Tacca Cutipa & Supo Pacori (2018) los aditivos adherentes son también conocidos como mejoradores de adherencia en la estabilidad, flujo y la relación que existe entre la estabilidad y el flujo Marshall de mezclas asfálticas en caliente por lo cual son diseñadas con el método Marshall, logrando usarse áridos.

Según BITUCOTE Plus (2013) nos dice que en la vida de un pavimento asfáltico es muy importante por eso debe existir una buena adhesión entre el agregado y el asfalto. En muchos casos se da el desprendimiento en la superficie y eso es a causa de la mala adhesión que tiene la mezcla asfáltica.

Desde el punto de vista de Rojas Ruales, Bonifaz García, Curco Arrieta, & Byron (2016) los aditivos mejoradores adherentes son productos químicos que cuando son adheridos al mezcla asfáltica para poder mejorar las propiedades

de adherencia entre el asfalto y el agregado con el fin de lograr una mejor durabilidad a la carpeta asfáltica, los adherentes deben adherirse cuando la mezcla está en estado líquido con la ayuda de un instrumento mecánico que por medio de la agitación para que pueda transcurrir por toda la mezcla asfáltica o también mediante las especificaciones.

Como plantea Rebollo, Gonzales, Bisio, & Botaso (2008) el aditivo de adhesión es un elemento tensoactivo que después de ser adicionado a un ligante se podrá tener una mejor adherencia.

Morea, Marcozzi, & Castaño (2012) nos comenta que existen una variedad de aditivos una parte de ellos cambian el comportamiento reológico mientras otros son los que conservan las propiedades reológicas, para poder determinar la dosificación del aditivo que se agregara se debe realizar ensayos para evaluar la efectividad de cada uno de los aditivos también nos menciona que la cantidad óptima varía de un 0.3% a 0.6%.

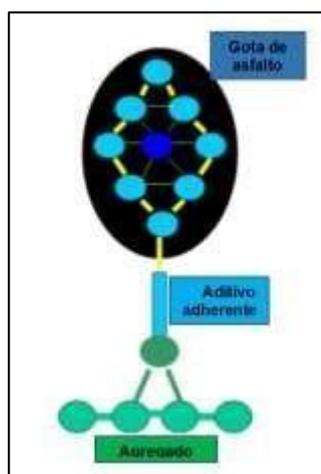


Figura 2. La unión de a molécula de asfalto y el agregado.

Fuente: (Metodología para la evaluación de la eficiencia de aditivos promotores de adhesión, 2003)

Teniendo en cuenta a Gutiérrez (2003) respecto a los aditivos adherentes nos dice que son sustancias que disminuyen o cambian la energía del enlace en la parte exterior de la gota del asfalto ya que tiene un contiene una molécula a fin al asfalto y la otra que es a fin al agregado y así reducirá la energía de enlace entre el asfalto y agregado. Los agentes líquidos contienen tensoactivos catiónicos onde la parte de a fin del agregado contiene una carga positiva por lo

tanto estos productos son producto de la reacción del ácido graso con amoniaco, mientras tanto que la otra parte es un tensoactivo aniónico, donde resulta que la parte a fin del agregado es negativa.

Tabla 6. Composición general de aditivos químicos.

Parte compatible con asfalto	Cadena 20 carbonos (R20)	Cadena 20 carbonos (R18)	Cadena 20 carbonos (R12)	Cadena 20 carbonos (R10)	Mezclas de los anteriores
Parte combatible con el agregado	Aminas	Carbonillos	Oxidrillos	Imidazolinias	Amidas

Fuente: (Metodología para la evaluación de la eficiencia de aditivos promotores de adhesión, 2003)

2.2.2.1. Aditivo mejorador de adherente

(Ferrer) nos explica que el aditivo AR-RED Radicote es un elemento compuesto orgánico que deriva de las amino grasas es diseñado para poder ser adherido a productos bituminosos en estado líquido como: Cut-Bac RC-250 o MC 30 cuando se encuentran a temperatura de 40°-90°, en caso de los asfaltos semisólidos de temperatura de 140° y 180° que sirven para la construcción de pavimentos, con la finalidad de poder mejorar su comportamiento.

Tabla 7. Características físicas del aditivo AR-RED RADICOTE.

Características físicas	
Aspecto	Pasta
Color Gardner	12-14
Propiedad física a 25C°	Pasta
Punto de fusión	30-50
Punto de inflamación	>200C°
Gravedad específica	0.83-0.90
Dosificación	0.4-5% del peso asfalto para un TSR >80%
Prueba mecánica	Ensayo Lotman Modificado AASHTO T-283 (complete con congelamiento de 18C° y 60C° calentamiento)

Fuente: (Aplicaciones Asfálticas S.R.L.)

Tabla 8. Solubilidad del aditivo AR-RED RADICOTE.

Solubilidad	
Agua a 25C°	Insoluble
Gasolina a 25C°	Soluble
Alcohol Isopropílico a 25C°	Soluble

Fuente: (Aplicaciones Asfálticas S.R.L.)

2.2.2.2. Clasificación de los mejoradores adherentes

Como nos menciona Botasso, Rebello, & Soengas (2008) a continuación, se presenta la clasificación de los promotores de la adherencia:

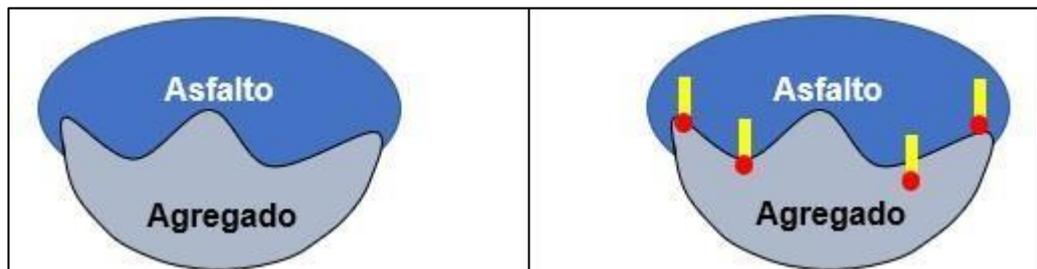


Figura 3. Ubicación del promotor de adherencia.

Fuente: (Evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica en caliente, nivel I-II con aditivos mejoradores de adherencia y asfalto modificado tipo SBS, 2013)

a) Los surfactantes iónicos

Tensoactivos aniónicos

Están compuestos por una cadena de alquílica en línea o ramificada que recorre desde 10 a 14 átomos de carbono, mientras al otro extremo se ubica un anión Botasso, Rebello, & Soengas (2008).

Tensoactivos catiónicos

Esta formada por una larga cadena de sales de amínico o también llamadas sales de alquilaminas dicha cadena está conformada por un conjunto de hidrofóbico mientras que en el extremo se encuentra un catión que está a base de nitrógeno

tetravalente con forma de sales amónicas Botasso, Rebello, & Soengas (2008).

Tensoactivos anfóteros

Su molécula está constituida por un conjunto de catiónicos y aniónicos, son elementos que se encuentran estables en el sistema ácidos y alcalinos, estos organizadores proceden dependiendo del lugar donde se encuentran por ejemplo el medio ácido son catiónicos y los básicos son aniónicos, el protagonista de este grupo es las betainas y los derivados de imidiazolinas Botasso, Rebello, & Soengas (2008).

b) Los surfactantes no iónicos

Como nos manifiesta Botasso, Rebello, & Soengas (2008), el conjunto de los hidrofóbicos esta formado por una cadena extensa están constituidos por solubilizan tés como etéreos o grupos hidroxilos, los que confirman este grupo son los que derivan de polioxietilenados, polioxipropilenados y anhídridos del sorbitan; las aminas son sustancias orgánicas nitrogenadas que derivan del amoniaco donde se sustituyó 1,2 o 3 átomos que son de hidrogeno por hidrocarbonadas por lo tanto resultan variedades de aminas como:

- Las primarias
- Las secundarias
- Las terciarias

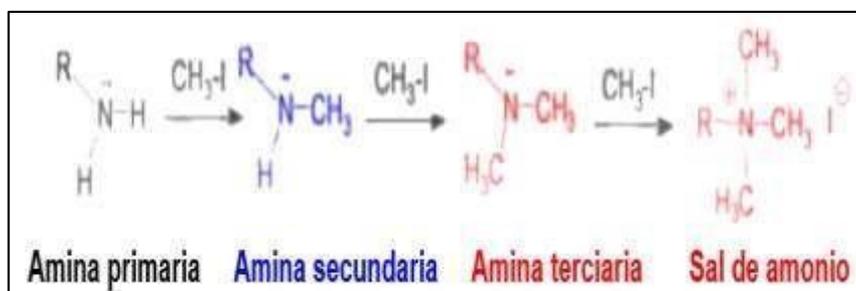


Figura 4. Enlace químico de las aminas.

Fuente: (metodología para la evolución en la incorporación de promotores de adherencia en cementos asfáltico)

2.2.3. Reología

La reología es aquella ciencia en la cual estudia la deformación y el flujo de algunos elementos con el uso de una carga por lo que los antecedentes históricos de la reología son normalmente separados de la mecánica del medio continuo de acuerdo con Aguilar Raya, Esteban Arizapana, & Jheferson (2015) nos menciona lo siguiente:

2.2.3.1. Propiedades reológicas de los materiales asfálticos

Así como la reología es parte de la física por lo cual estudia la relación con respecto al esfuerzo y la deformación de estos materiales por los que son capaces de brotar logrando ser una parte de la mecánica de medios continuos por lo que la reología mide aquella deformación de algunos cuerpos que no llegan ser sólidos ni líquidos por ello los cuerpos intermedios entre algunos sólidos elásticos y de líquido viscoso.

2.2.3.2. Características reológicas del asfalto

La reología se le conoce como una de la propiedad más fundamental de algunos productos asfálticos por lo que esto se da conocer a la variación de algunas propiedades del flujo mediante el periodo de la utilidad de la carga en la cual considera a la propiedad fundamental como por ejemplo la viscosidad. Esta viscosidad se altera con la temperatura ya sea en mayor o menor grado y su estudio es fundamental y de interés práctico debido a que todas las utilidades del asfalto se logra cambiar su viscosidad a través del calentamiento. A temperaturas elevadas el asfalto se considera como aquel fluido viscoso ya que algunas temperaturas bajas de servicio se considera un componente sólido incrementado con propiedades elásticas con el fin de llegar a conocer algunas características del flujo de asfalto en diferentes temperaturas por lo que se usan en la actualidad con monogramas y curvas que tienen relación con las propiedades importantes del asfalto.

2.2.3.3. Propiedades reológicas y comportamiento en servicio

Como se nombra la reología es la rama de la mecánica en la cual verifica el comportamiento de la materia mediante el periodo de uso de la carga por lo que, a través del estudio de las propiedades de flujo y deformación, así como la viscosidad la ductilidad y la fragilidad considerando obtener una relación entre el estado coloidal de los cementos asfálticos y su composición química. Aguilar Raya, Esteban Arizapana, & Jheferson (2015)

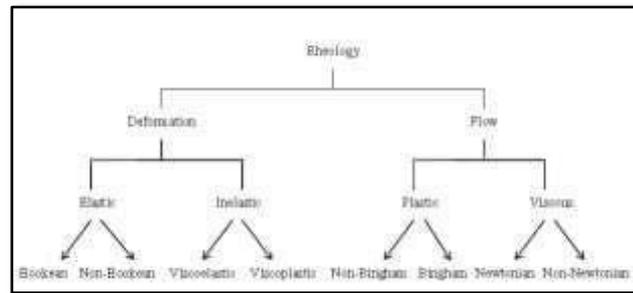


Figura 5. Clasificación de la reología.

Fuente: Sahin and Gulum. 2006.

2.2.3.4. Comportamiento reológico

Empleando las palabras de Flores Gonzales & Guillermo (2019) que la reología es el análisis de la deformación y el flujo de los elementos, la deformación del pavimento va de la mano con la reología del ligante asfáltico. Como ya se mencionó anteriormente la reología del ligante varía dependiendo a temperatura por tal se mostrarán dos consideraciones importantes:

Para poder utilizar algún aglutinante en el asfalto, antes se deberá estudiar las propiedades reológicas y revisar que este dentro del rango de temperaturas (2019, pág. 24).

Para realizar la comparación de ligantes asfálticos se deberá medir las propiedades reológicas a una temperatura común (2019, pág. 24).

Las propiedades que tiene relación con el comportamiento reológico son dos y serán evaluadas con las siguientes normas:

Tabla 9. normas que corresponden al comportamiento reológico

MTC E 304-2016	Penetración de materiales asfáltica
MTC E 306-2016	Ductilidad de materiales bituminoso
ASTM D4402	Viscosidad por el Viscosímetro Rotacional para el asfalto

Fuente: Flores Gonzales-2019.

2.2.4. Propiedades reológicas

De acuerdo con Cárdena & Fonseca (2009) las propiedades reológicas son aquellas que se sujetan de algunas relaciones en las que existen algunos elementos por lo cual se diferencian con respecto al origen de algunos crudos de petróleo por lo que el comportamiento reológico del ligante presenta un gran predominio significativo en algunas propiedades de la mezcla asfáltica incrementada con agregado tales como el ahuellamiento, fatiga y susceptibilidad térmica y es por ello detalla el comportamiento reológico del asfalto procedente del complejo industrial de Barrancabermeja y del asfalto cambiado incrementada con material que se recicla tales como el poliestireno difundido y el grano de caucho de llanta reciclado con control de granulometría por lo que se desarrollaron mediciones de viscosidad a distintas temperaturas que se varían en el 2°C, a partir de los siguientes datos se plantearon muchas fórmulas matemáticas por lo cual detallan el comportamiento de la viscosidad en algunas conclusiones del mezclado y compactación por lo que se obtiene algunos resultados por lo que se logran en el mejor ajuste en algunas situaciones.

Además, según el comportamiento reológico del ligante presenta una influencia en algunas propiedades de las mezclas asfalto incrementado con agregado tales como el ahuellamiento y susceptibilidad térmica, algunas de las propiedades reológicas tenemos a las más importantes del asfalto como un material tal como nos menciona Gonzales Gonzales (2015) estas son:

Consistencia o Viscosidad

Manejan algunos criterios de mezcla.

Se tiene que a temperatura intermedia penetración a 25°C: Por lo que la base para la clasificación de los asfaltos por penetración es: CA 40/50, CA 60/70, CA 85/100, CA 120/150.

Para temperaturas de poco punto de fragilidad fraass.

Susceptibilidad térmica que presenta consistencia del asfalto incrementando la temperatura

Índice de penetración.

Trabajabilidad

Relación viscosidad con respecto a la temperatura.

Seguridad

Punto de inflamación Cleveland (vaso abierto-COC).

Durabilidad - Envejecimiento

Valores tras TFOT/RTFOT. Gonzales Gonzales (2015)

2.2.4.1. Propiedades reológicas del asfalto

Según Cusi Ramos & Duran Egoavil (2021) algunas de estas propiedades dependen de algunas proporciones de los componentes por lo que se encuentran estables en su composición, en donde muchas de ellas se detallan de la siguiente manera, estas son:

a) Consistencia

De acuerdo como menciona Flores Gonzales & Guillermo (2019) el ensayo que se realiza para evaluar la consistencia es el ensayo de penetración y según eso se podrá clasificar, el resultado se expresa por la profundidad en unidad de decimas de milímetro el ensayo consiste en que una aguja penetrara verticalmente a la muestra donde ya antes fueron fijadas el peso, tiempo y temperatura.

Existe una relación entre la penetración y la viscosidad en los elementos newtonianos que tienen igual viscosidad en cualquier valor de la tensión cortante.

$$\eta = 5.3 * \frac{10^9}{P^{1.93}}$$

Para:

η es la viscosidad en poises

P es la penetración en decimas de milímetro

Cuando el elemento no es newtoniano la viscosidad aparente o consistencia del material no están en función a la tensión cortante por tal con la penetración solo no se podrá hallar las características reológicas, aunque no haya ninguna relación de viscosidad y penetración como se podrá mostrar en la siguiente formula (2019, pág. 25):

$$\eta = 1.58 * \frac{10^{10}}{P^{1.16}}$$

b) El punto de ablandamiento

Empleando las palabras de Flores Gonzales & Guillermo (2019) el punto de ablandamiento evaluara la temperatura en que el asfalto obtiene una fluidez, por tal la temperatura es solo un valor relativo ya que no se puede determinar el estado de los asfaltos no se sabe si son líquidos o solidos perfectos, sino que se le conoce como elementos viscosos.

El método que se utilizara para determinar el punto de ablandamiento es el de anillo y bola; y consiste en que el anillo se ocupa de un elemento liquido deja enfriar hasta una temperatura ambiente para después enrasarlo con una espátula caliente, se pasara a ubicar un disco de acero para después sumergirlo en un recipiente con agua para calentarse por minuto a 5°C; en conclusión el punto de ablandamiento se trata de la temperatura que marca el termómetro colocado en el agua en el momento que la bola, arrastrando el resultado asfaltico llega a una placa ubicada a 25mm por abajo de la probeta (2019, pág. 26).

c) Índice de penetración

Como afirma Flores Gonzales & Guillermo (2019),el índice de determinación nos da idea térmica del ligante ya que cuando el valor de IP es bajo, la susceptibilidad será alto. En el caso del diseño de las mezclas de asfalto en caliente en caso de la resistencia de deformación, temperaturas de

las mezclas y la compactación corresponden a una viscosidad de asfalto. La gráfica de penetración y la temperatura, se podrá determinar mediante la temperatura que fue tomada del nomograma de Heukelom para alcanzar la viscosidad respectiva

d) Viscoelasticidad

La viscosidad de los líquidos asfálticos se determina en relación a su temperatura por lo tanto la viscosidad se trata de la resistencia que aguanta el fluido a la deformación después de estar controlado a la acción de cualquier fuerza dentro de un determinado tiempo (2019, pág. 27).

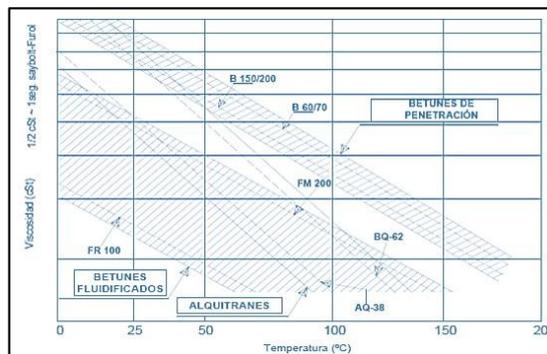


Figura 6. Modelo de experimentación para la deducción de la fórmula de la viscosidad.

Fuente: Caracterización del asfalto.

e) Punto de inflamación y llama

Como señala Flores Gonzales & Guillermo (2019), la mezcla asfáltica cuando se encuentra a temperatura extrema se vitaliza, a ello se le conoce como punto de inflación, por tal deberá ser probada y a la vez controlado; dicha prueba se evalúa según la norma peruana de punto de inflación.

f) Adhesión y cohesión

La adhesión se define como aquella propiedad que presenta la capacidad del asfalto para juntarse con los áridos en una mezcla de pavimentos, por otro lado, la cohesión presenta la capacidad que el asfalto contiene al sostener constantes algunos fragmentos de los áridos de una mezcla asfáltica en el pavimento finalizado. Cusi Ramos & Duran Egoavil (2021)

g) Endurecimiento por envejecimiento

Cusi Ramos & Duran Egoavil (2021) describe que es aquel que es ocasionado por el proceso de oxidación por el que se lleva a cabo con simplicidad a temperaturas muy elevadas y en algunas películas delgadas de los asfaltos por lo que el endurecimiento más rígido se realiza cuando el asfalto se encuentra en elevadas temperaturas y en algunas películas delgadas a través de un procedimiento de recubrimiento de algunos de los fragmentos de áridos, si el asfalto es calentado y después dejarlo que se enfríe por lo que sus moléculas se reacomoden y se elaboran una estructura de tipo gel con lo largo del tiempo por lo que el asfalto continuará endureciéndose constantemente.

h) Pureza

En el cemento asfáltico está compuesto por una gran parte por bitumen es por ello que es un componente soluble en su totalidad por el bisulfuro de carbono y es por ello que el 99.5% de los asfaltos refinados por lo que son solubles en bisulfuro de carbono y es por ello que presentan impurezas y estas son inactivas por lo que el cemento asfáltico que no contiene agua y humedad debido a que estas tienen daño durante un tiempo de la refinería pero si el componente asfáltico tiene agua o humedad esta se vuelve espumosa al ser calentado por temperaturas máximas al 100 °C, es por ello que la pureza del cemento asfáltico se encuentra descrita por qué no se encuentra la humedad y es por ello que entre menos agua o impurezas tenga, será mejor la calidad. Cusi Ramos & Duran Egoavil (2021)

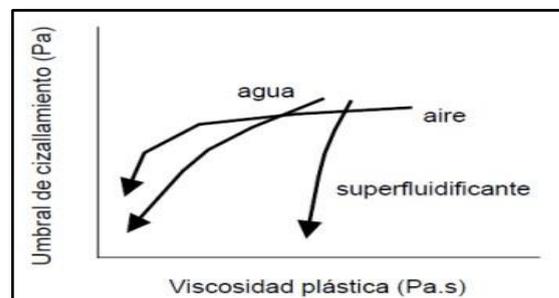


Figura 7: Efectos sobre los parámetros reológicos del incremento en el contenido de agua, superfluidificante y aire intencionalmente incorporado.

Fuente: Evaluación de las propiedades reológicas de los hormigones con la combinación del CBQ-VTC y el superplastificante comercial SX32.

Desde el punto de vista de Forero Bernal, García Medina, & Martines Torres (2015) la reología es una de las propiedades más importantes ya que hace referencia de la variación de las propiedades de flujo a través del tiempo de estudio de una carga que incluye la propiedad de la viscosidad, cuando existe altas temperaturas el asfalto se porta como un fluido viscoso pero en altas temperaturas se porta como solido que tiene propiedades elásticas, por tal es importante estudiar la viscosidad ya que en todas las veces que se utiliza el asfalto se tiene que realizar calentar para poder modificarla.

2.3. Marco conceptual

- a) Adhesividad:** Según Montejo Fonseca (2018, pág. 45) Es la resistencia al desplazamiento o la separación del ligante la cual está en contacto con los agregados, bajo las condiciones de los agentes exteriores.
- b) Agregados pétreos de gradación cerrada:** Según Castañeda Siete, Escobar Aguilar, & López Lemus (2011, pág. 87) Agregados uniformemente graduados y distribuidos desde un tamaño máximo hasta el polvo mineral, el cual contiene una buena cantidad para poder reducir los vacíos al ser compactados de dimensiones pequeñas.
- c) Asfalto:** De acuerdo con Asphalt Institute (1982) el asfalto es un material cementante de color negro de consistencia sólido y semisólido
- d) Cemento asfáltico:** Según Méndez Pinilla (2018, pág. 148) Es el ligante denso que en la temperatura de ambiente se puede encontrar como semisólido, de consistencia viscosa y de color variable que se encuentra entre color negro – oscuro, ya que dicha obtención es del crudo del petróleo por un proceso de destilación.
- e) Cohesividad:** Según Paredes Matta (2009, pág. 166) Es la resistencia a la rotura de una masa ligante ya que en el caso de las emulsiones es inicialmente bajo la cual va aumentando en relación a la pérdida de agua ya que en un tiempo breve tiende a poder alcanzar un cemento asfáltico base.
- f) Contenido de asfalto:** La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlar con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una 37 mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado. Rodríguez Ore (2018, pág. 97)
- g) Deformación elástica crítica:** Según Montejo Fonseca (2018, pág. 195) Es la deformación horizontal la cual por la tensión de las fibras interiores en las capas asfálticas y la deformación vertical por la compresión sus valores son excedidos produciendo agrietamientos y ahuellamientos.
- h) Durabilidad:** La durabilidad es la disposición que podrá retener un asfalto cada una de sus características originales después de haber sido expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento Asphalt Institute (1982)

- i) Mezcla asfáltica:** Según Kraemer, y otros (2004) las mezclas asfálticas admiten normalmente el nombre de aglomerados, por lo que están compuestas por una mezcla de agregados y un ligante hidrocarbonado
- j) Propiedades reológicas:** De acuerdo con Cárdena & Fonseca (2009) las propiedades reológicas son aquellas que se sujetan de algunas relaciones en las que existen algunos elementos por lo cual se diferencian con respecto al origen de algunos crudos de petróleo.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El aditivo adherente mejora las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

3.1.2. Hipótesis específicas

1. La estabilidad mejora con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y las propiedades reológicas del asfalto en caliente.
2. La variación del flujo se reduce con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.
3. La deflexión disminuye con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

a) Variable independiente (X)

Aditivo adherente en la mezcla asfáltica

Según Bonifacio Vergara & Sánchez Bernilla (2015) Es un aditivo en estado líquido que se usa como agente modificador de asfaltos para mejorar la

adherencia y estabilidad asfalto-pétreo. Funciona para mezclas asfálticas en frío y caliente.

b) Variable dependiente (Y)

Propiedades físico – mecánicas en las mezclas asfálticas en caliente

Según Bonifacio Vergara & Sánchez Bernilla (2015) Es la ciencia que estudia las deformaciones y el flujo de la mezcla asfáltica en frío cuando es sometido a carga.

3.2.2. Definición operacional de la variable

Conjunto de procedimientos que describen las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales, las cuales indican la existencia de un concepto teórico de mayor o menor grado.

Trata de señalar claramente cómo se van a manipular o medir las variables.

a) Variable independiente (X)

Aditivo adherente en la mezcla asfáltica

El aditivo adherente en la mezcla asfáltica se operacionaliza mediante sus tres dimensiones: D1: Viscosidad D2: Dosificación, D3: Adherencia, D4: Contenido sólidos. A su vez estas dimensiones están operacionalizadas de acuerdo con los siguientes indicadores.

b) Variable Dependiente (Y)

Propiedades reológicas del asfalto en caliente

La variable VD 2: Propiedades reológicas del asfalto en caliente se operacionaliza mediante cuatro dimensiones las cuales presenta, D1: Estabilidad, D2: Flujo, D3: Deflexión. A su vez estas poseen un indicador.

3.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 10. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
Variable Independiente: Aditivo adherente en la mezcla asfáltica	Es un aditivo en estado líquido que se usa como agente modificador de asfaltos para mejorar la adherencia y estabilidad asfalto-pétreo. Funciona para mezclas asfálticas en frío y caliente.	El aditivo adherente en la mezcla asfáltica se operacionaliza mediante sus tres dimensiones: D1: Viscosidad D2: Dosificación, D3: Adherencia, D4: Contenido sólidos. A su vez estas dimensiones están operacionalizadas de acuerdo con los siguientes indicadores.	Viscosidad	Viscosímetro	Viscosímetro de Saybolt	N·s/m ²	NUMÉRICA (cuantitativa)
			Dosificación	Contenido de dilución	Ensayo de Recubrimiento	Porcentaje	NUMÉRICA (cuantitativa)
			Adherencia	Contenido de dilución	Ensayo de adherencia	Porcentaje	NUMÉRICA (cuantitativa)
			Contenido Sólidos	Porcentaje de sólidos suspendidos	Ensayo de contenido de ligante	Porcentaje	NUMÉRICA (cuantitativa)
Variable Independiente: Propiedades reológicas del asfalto en caliente	Es la ciencia que estudia las deformaciones y el flujo de la mezcla asfáltica en frío cuando es sometido a carga.	La variable VD 2: Propiedades reológicas del asfalto en caliente se operacionaliza mediante cuatro dimensiones las cuales presenta, D1: Estabilidad, D2: Flujo, D3: Deflexión. A su vez estas poseen un indicador.	Estabilidad	Resistencia a mezclas Bituminosas	Ensayo Marshall	Kg	NUMÉRICA (cuantitativa)
			Flujo	Deformación de las mezclas bituminosas	Ensayo Marshall	Pulg.	NUMÉRICA (cuantitativa)
			Deflexión	Medida de la deflexión empleando viga Benkelman	Ensayo de la viga Benkelman	cm ²	NUMÉRICA (cuantitativa)

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Método de investigación

Según Ccanto Mallma (2010), menciona que es de método científico debido a “La cual rechaza o elimina aquel procedimiento que trate de manipular la realidad en forma caprichosa”.

Este método de investigación permitió hacer un diagnóstico comparativo de los resultados del análisis del aditivo adherente y como mejora en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.

Según estas consideraciones en la presente investigación se aplicó el *método científico*.

4.2. Tipo de investigación

Según Carrasco Díaz (2006), la investigación aplicada se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad. se debe llevar a cabo de manera cuidadosa y organizada. Uno de los propósitos de esta investigación es resolver problemas en el caso de la investigación Aplicada (p.43).

Según estas consideraciones en la presente tesis desarrollada se aplicó una investigación de tipo aplicada ya que presenta unas características que resuelven este problema de forma práctica, valiendo los materiales que puedan optimizar los procesos en la producción.

Según estas consideraciones, la presente investigación fue de *tipo aplicado*

4.3. Nivel de la investigación

La investigación recae en un nivel de investigación explicativo ya que, según Sabino, (1992) Son aquellos trabajos donde nuestra preocupación se centra en determinar los orígenes o causas de un determinado conjunto de fenómenos. Su objetivo, por lo tanto, es conocer por qué suceden ciertos hechos, analizando las relaciones causales existentes o, al menos, las condiciones en que ellos se producen. (p. 35)

Se llevó a cabo iniciando con las pruebas o ensayos necesarios para la evaluación del aditivo adherente, para después al obtener los resultados ser evaluado mediante una comparación de estos mismos con los parámetros ya establecidos para que sean viables. Bajo este análisis la investigación corresponde al *nivel explicativo*.

4.4. Diseño de la investigación

La investigación recae en un nivel de investigación Experimental, puesto que, se asocia variables para predecir su comportamiento se ha pretendido establecer las causas de los fenómenos Fernández Collado & Baptista Lucio (2014, pág. 128)

El diseño metodológico por naturaleza del estudio es *experimental*.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Valderrama Aparicio (2013, pág. 182), la población es el “conjunto finito o infinito de elementos, seres o cosas, que tienen atributos o características comunes, susceptibles de ser observados”.

La presente investigación se desarrollará para 130 briquetas de mezclas asfálticas en caliente.

4.5.2. Muestra

Según Carrasco Díaz (2016), “la muestra se define como un fragmento que representa parte de la población de manera que los resultados que son obtenidos en la muestra se generalicen a todos los elementos estudiados”

Se evaluó el comportamiento 48 briquetas a diferentes dosificaciones de aditivo adherente con proporciones concernientes a la granulometría de los agregados.

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Arias (2006) son las distintas formas de obtener la información, el mismo autor señala que los instrumentos son medios materiales que se emplean para recoger y almacenar datos (p. 146).

Las técnicas a utilizar desde el inicio del proyecto de investigación son: la observación y la recolección de datos.

Los datos serán recopilados utilizando los siguientes instrumentos:

Hoja o ficha de registro de datos.

Cuaderno de campo

4.7. Técnica de procesamiento y análisis de datos

4.7.1. Procesamiento de la información

Para pasar por el procesamiento de datos se emplea la codificación, tabulación, tablas y graficas. De esta forma es necesario realizar un análisis y la interpretación de los resultados que se obtienen con los instrumentos. Escobar Vicuña, y otros (2015)

Seguido a esto se presenta el procesamiento de los ensayos que se realizaron para llegar a los objetivos planteados:

4.7.1.1. Análisis granulométrico de agregados (NTP 400.012)

a) Herramientas, materiales y/o equipos

Para llevar a cabo el ensayo de granulometría es necesario un conjunto de tamices, balanzas electrónicas, bandejas, cucharon de metal, horno para el secado de muestras.

b) Procedimiento

- En primera mano es necesario tomar muestra del lugar del agregado a emplear y nos debemos asegurar si estas no presentan humedad. En caso no cuenten con estas características es necesario secarlas a una temperatura ambiente o en caso contrario secarlas en una cocina a fuego lento evitando quemar la muestra o en un horno a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, de forma seguida se enfriará a temperatura ambiente evitando así accidentes en el proceso de tamizado.
- Se debe de tomar una cantidad de muestra de entre 300 a 500 gr para el proceso de tamizado previo pesado para guía de peso de muestra inicial.

- De esta forma se realiza el proceso de tamizado por el conjunto de tamices, contando con el fondo y la tapa, este proceso se realiza al agitar de forma permanente y en un grado de inclinación de las muestras.
- De forma seguida se pesarán las muestras retenidas en cada tamiz para calcular de esta forma la curva granulométrica.



Figura 8. Juego de tamices

Fuente: “Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz N° 200”, por Simeon Cañas (2015)

4.7.1.2. Análisis del ensayo Marshall en mezcla asfáltica

Este ensayo se basa en el proceso de medición de la resistencia a efecto de deformación plástica de las probetas cilíndricas de la mezcla asfáltica ante cargas sobre un manto lateral, empleando el aparato Marshall. Este ensayo consiste en la fabricación de cilindros las que están sometidas a la Prensa Marshall para determinarla la estabilidad y la deformación.

a) Herramientas, materiales y/o equipos

Para este ensayo es necesario emplear la maquina Marshall con una capacidad mínima de 28 KN), moldes de compactación de un diámetro $< 101.6 \pm 0.1$ mm en una altura de 80 mm, el martillo de compactación de 4.515 ± 15 gr y un sujetador.

b) Procedimiento

- Dispones de agregados y emulsión asfáltica
- Las probetas se fabricarán en un recipiente o mezcladora hasta obtener una mezcla asfáltica homogénea, donde el árido tienen que estar completamente recubierto por mezcla asfáltica.

- Las probetas serán preparadas en moldes, para que luego sean compactadas asegurando que se apliquen 75 impactos para cada una de las caras en un tiempo no mayor a los 90 s.



Figura 9. Proceso de pesado de una briqueta de asfalto

Fuente: “Método de ensayo Marshall – Mezcla asfáltica”, por Valdés, (2020)

- Luego de pasar por el proceso de compactación estas pasaran por un proceso de enfriado, cuando estas probetas ya estén frías se pasarán a desmoldar y se determinaran los espesores en un promedio de 4 mediciones determinar la densidad real de las probetas de mezcla asfáltica se compactada por medio de la masa de la probeta pasada por aire en condición seca, saturando así la superficie seca y sumergida del agua.
- Para el acondicionamiento del ensayo, las probetas se sumergieron al ser apoyadas en una cara plana en baño de agua fría por al menos 30 – 40 min manteniéndose a una temperatura de 60 ± 1 °C.
- La mordaza del ensayo debe de ser acondicionado de entre 21 °C a 38°C.
- Luego de este proceso las probetas son extraídas del baño de agua y son secadas de forma superficial, transcurrido este proceso se someterá a una carga constante de 50 ± 1 mm/min hasta llegar a producir una falla, obteniendo así los parámetros de estabilidad a una carga máxima y la fluencia a una carga máxima.

4.8. Aspectos éticos de la investigación

“Una investigación de tipo cuantitativa presenta aspectos éticos en los que se llega a conservar el bienestar de las personas, animales y objetos que quedan dentro del rango de estudio y de afectación, cumpliendo los protocolos y métodos para el proceso de obtención de datos en la investigación” según lo señala Espinoza, (2020)

De esta forma en la presente tesis se tienen en cuenta estos aspectos técnicos salvaguardado la seguridad de los involucrados en la investigación respecto a los aspectos éticos, sin llegar a realizar alguna modificación resaltante en el ambiente que perjudique al medio ambiente. Además, no se llegó a transgredir la propiedad de derecho de autores que se mencionaron en la investigación, de forma intelectual te tesis se presenta en un contexto intelectual abarcando el derecho de propiedad de la obra del autor.

Desde otro punto de vista hay un respeto hacia la reserva de información al tratarse de personalidades que desarrollaron investigaciones en su debido momento.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Descripción de resultados

En este capítulo se expone detalladamente los todos resultados obtenidos de procesos, métodos y ensayos realizados en la presente investigación. Desde el diseño de la mezcla asfáltica en caliente para la determinación de las dosificaciones optimas de la mezcla hasta los ensayos a las briquetas con la mezcla patrón y las mezclas modificadas con el aditivo mejorador de adherencia.

5.1.1. Gradación para Mezcla Asfáltica

Para alcanzar la gradación que corresponda al huso granulométrico MAC, se realizó la combinación de materiales provenientes de la cantera de Pilcomayo. Los materiales pétreos provenientes de la cantera son grava de $\frac{3}{4}$ ", grava chancada de $\frac{3}{4}$ ", arena triturada, triturada natural y arena fina. En este caso la gradación corresponde al MAC-2, debido a que el tamaño máximo que presentan los agregados gruesos es igual a $\frac{3}{4}$ ".

Consecuentemente, en la siguiente tabla se presenta los valores obtenidos del análisis granulométrico realizado a cada material, así como su porcentaje de contribución para lograr la combinación granulométría que satisface el huso granulométrico en indicado en la sección de mezclas asfáltica en caliente de la EG-2013 Especificaciones técnicas generales para la construcción del manual de carreteras.

Tabla 11: Combinación granulométrica de materiales.

Tamiz	Porcentaje de contribución	Combinación
-------	----------------------------	-------------

	Ag. N°1 (11 %)	Ag. N°2 (34 %)	Ag. N°3 (19 %)	Ag. N°4 (14 %)	Ag. N°5 (22 %)	
1''	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4''	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	88.5	65.0	100.0	100.0	100.0	86.8
3/8''	76.0	49.8	100.0	100.0	100.0	80.3
N°4	0.8	26.2	79.7	100.0	100.0	60.1
N°8	0.3	11.2	50.5	100.0	100.0	49.4
N°10	0.2	8.0	44.4	99.7	99.5	47.0
N°16	0.2	2.1	34.0	85.0	76.5	35.9
N°30	0.2	0.2	23.0	65.0	55.5	25.8
N°40	0.2	0.2	16.8	56.8	47.1	21.6
N°50	0.2	0.2	12.0	39.0	39.2	16.4
N°80	0.2	0.2	8.4	11.4	29.8	9.6
N°100	0.2	0.2	6.0	8.0	26.6	8.2
N°200	0.1	0.1	2.0	2.7	19.1	5.0

De los ensayos realizados, según la norma NTP 400.012 Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, obteniéndose que el tamaño máximo del Ag. N°1 y N°2 corresponden al tamiz de ¾'', del agregado N°3 corresponde al tamiz ¾'', y por último de los agregados N°4 y N°5 corresponden al tamiz N°8. Asimismo, podemos apreciar que los agregados tienen un aporte del 11%, 34%, 19%, 14% y 22% respectivamente a los agregados N°1 al N°5.

Tabla 12: Análisis granulométrico del material teóricamente combinado.

Tamiz	Límites		Combinación
	Inferior	Superior	
1''	100	100	100.0
3/4''	100	100	100.0
1/2"	80	100	86.8
3/8''	70	88	80.3
N°4	51	68	60.1
N°10	38	52	47.0
N°40	17	28	21.6
N°80	8	17	9.6
N°200	4	8	5.0

Según el análisis de combinación de agregados se generó la curva granulométrica que se muestra en la siguiente figura con contraste de los límites del huso granulométrico de la gradación MAC-2 que se muestra en la tabla anterior.

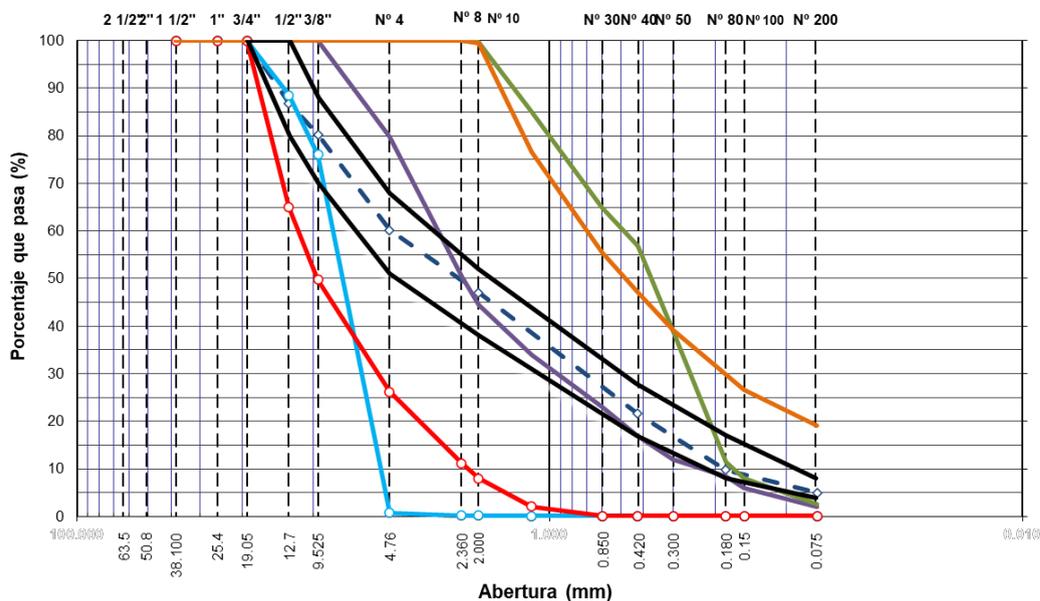


Figura 10: Curva Granulométrica de los materiales pétreos y del material combinado

De esta manera se puede apreciar el desarrollo de las curvas granulométricas de los agregados, así como también de la combinación propuesta si los límites del huso mencionado.

a) Material combinado

Consecuentemente, según el análisis de combinación de materiales se procedió a combinar los materiales de forma física. Realizándose el ensayo de análisis granulométrico por tamizado (NTP 400.012), en cual indico una granulometría semejante a lo planificado. Lo que se muestra también en la siguiente figura que presenta la curva granulométrica correspondiente.

De esta forma podemos indicar que los agregados propuestos y la combinación determinada, son cálculos válidos para conformar la gradación para mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 13: Análisis Granulométrico del material combinado físicamente.

Tamiz	% Pasante acumulado	MAC-2	
		Mínimo	Máximo
1"	100.0	100	100
3/4"	100.0	100	100
1/2"	86.1	80	100
3/8"	80.8	70	88
N°4	61.0	51	68
N°8	42.0		
N°10	40.6	38	52
N°16	32.0		
N°30	24.0		
N°40	19.1	17	28
N°50	14.5		
N°80	9.2	8	17
N°100	8.1		
N°200	5.3	4	8

Asimismo, en la figura se aprecia claramente que la curva granulométrica tiene comportamiento de forma natural. En contraste a las curvas de los límites del huso granulométrico.

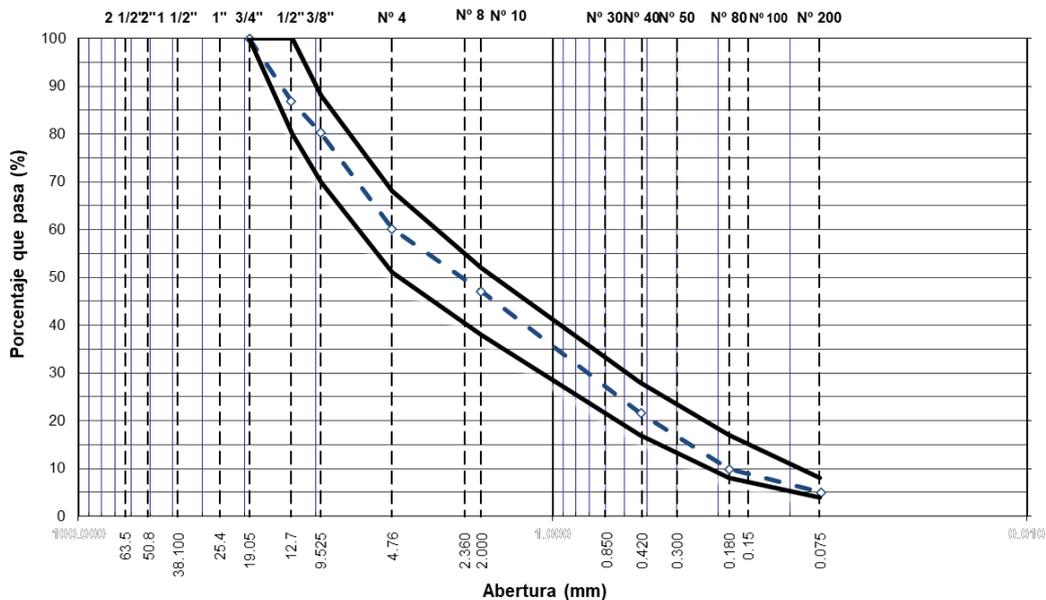


Figura 11: Curva Granulométrica del material combinado físicamente.

b) Requisitos para agregados gruesos y finos

Del material combinado, la norma EG-2013 indica que se deben de satisfacer ciertos requisitos de calidad tanto para el agregado grueso y fino. Por lo que se realizaron los ensayos necesarios para determinar el cumplimiento de estos materiales. Los cuales de detallan en la siguiente tabla.

Tabla 14: Requisitos de agregados gruesos y finos.

Agregados gruesos	Resultado	Requisito
Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)	3.72%	15% máx.
Abrasión los Ángeles (MTC E 207)	17.30%	35% máx.
Partículas chatas y alargadas (MTC E 223)	0.80%	10% máx.
Absorción (MTC E 206)	0.88%	1.0% máx.
Agregados finos	Resultado	Requisito
Equivalente de Arena (MTC E 114)	58.00%	70% máx.
Índice de plasticidad, malla N° 40 (MTC E 111)	NP	NP
Índice de plasticidad, malla N° 200 (MTC E 111)	NP	NP
Durabilidad al sulfato de Magnesio (MTC E 209)	3.69%	18% máx.
Sales Solubles (MTC E 209)	0.12%	0.5% máx.
Absorción (MTC E 205)	1.52%	0.5% máx.

Según la tabla mostrado podemos afirmar que los agregados gruesos y finos, del material pétreo propuesto para la mezcla asfáltica en caliente cumplen con éxito los requisitos establecidos, puesto que cumple con los mínimos y máximos determinados, a excepción de la absorción del agregado fino que indica un valor de 1.52% siendo el límite máximo 0.50%, sin embargo, este valor puede ser aceptado si es que se asegura las propiedades de durabilidad, según lo menciona la normal EG-2013, este caso es al cual se acoge nuestro agregado.

5.1.2. Mezcla asfáltica en caliente

Subsiguientemente, se procedió a determinar el óptimo contenido de concreto asfáltico para la mezcla mediante el método de Marshall. Con la finalidad de elaborar briquetas que serán afectadas con el aditivo mejorador de adherencia, para luego cuantificar el comportamiento de sus propiedades mediante los ensayos pertinentes.

a) Diseño de mezcla, método Marshall

De esta forma se obtuvieron los diseños de mezcla asfáltica (convencional, +0.4% aditivo adherente, +0.5 aditivo adherente), los cuales nos indican que el contenido de cemento asfáltico es 5.9% para la gradación de agregados planteada. Asimismo, en la tabla siguiente se presentan la cuantificación de las propiedades reológicas de las mezclas asfálticas diseñadas.

Tabla 15: Propiedades reológicas de los diseños de mezcla asfáltica.

Mezcla asfáltica	Contenido de Asfalto	Propiedades reológicas					
		Peso específico	Estabilidad	Flujo	V.M.A	Vacíos	Vacíos llenos
Convencional	5.9	2.400	1041	2.9	15.1	3.4	77.6
+0.4% adherente	5.9	2.407	1050	3.2	14.8	3.1	79.2
+0.5% adherente	5.9	2.406	1090	3.3	14.8	3.3	79.1

La tabla muestra que la mezcla asfáltica convencional presenta un peso específico de 2.400 gr/cm³, una estabilidad de 1041 kg, un flujo de 2.9 mm, un V.M.A. de 15.1%, y por ultimo los vacíos y vacíos llenos de 3.4% y 77.6% respectivamente. Por otro lado, la mezcla asfáltica con +0.4% de aditivo adherente presenta un peso específico de 2.407 gr/cm³, una estabilidad de 1050 kg, un flujo de 3.2 mm, un V.M.A. de 14.8%, y por ultimo los vacíos y vacíos llenos de 3.1% y 79.2% respectivamente. Finalmente, la mezcla asfáltica con +0.5% de aditivo adherente presenta un peso específico de 2.406 gr/cm³, una estabilidad de 1090 kg, un flujo de 2.3 mm, un V.M.A. de 14.8%, y por ultimo los vacíos y vacíos llenos de 3.3% y 79.1% respectivamente.

b) Contraste de propiedades reológicas

En los párrafos siguientes se describen el contraste de valores que cuantifican las propiedades reológicas individualmente, estos valores están presentados en tablas y figuras para su correcto entendimiento. Esto tiene el fin de realizar el análisis comparativo entre los especímenes de mezclas asfálticas trabajados.

Tabla 16: Contraste de peso específico.

Mezcla asfáltica	Peso específico	
	Resultado	Variación
Convencional	2.400	0.00%
+0.4% adherente	2.407	+0.29%
+0.5% adherente	2.406	+0.25%

En la tabla anterior se indica que el uso de aditivo mejorador de adherencia en la mezcla asfáltica producen que el peso específico se incremente levemente. Los valores que presentan las mezclas con 0.4% y 0.5% de aditivo adherente son 2.407 gr/cm³ y 2.406 gr/cm³ respectivamente. Con respecto a la mezcla convencional que presento 2.400 gr/cm³.

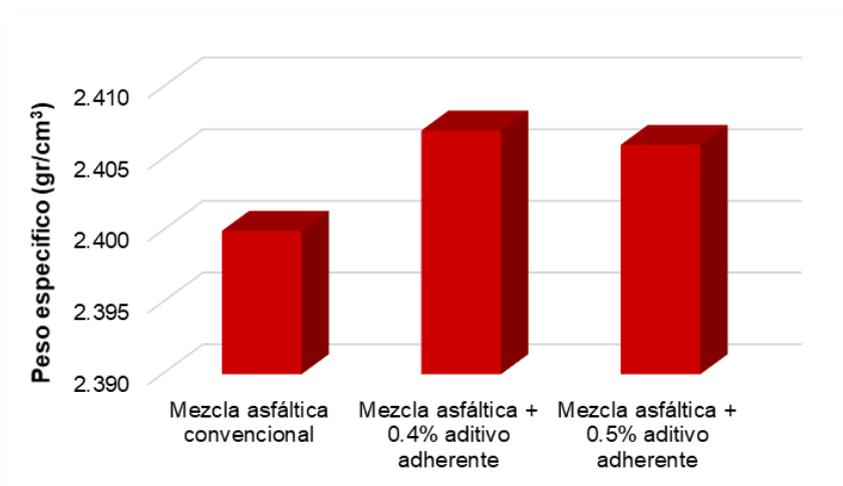


Figura 12: Contraste de peso específico.

Seguidamente se distingue con claridad en la siguiente figura. Puesto que el gráfico de barras de las mezclas asfálticas que incorporan una dosis de aditivo mejorador de adherencia están por sobre la mezcla asfáltica convencional.

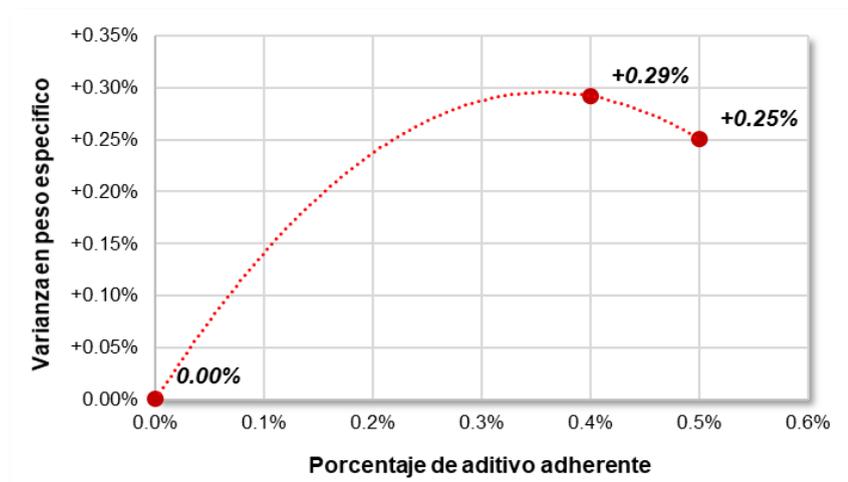


Figura 13: Variación en peso específico.

Además, en la figura anterior se muestra el comportamiento de la varianza en el peso específico, siendo esta +0.29% y +0.25% de las mezclas modificadas con respecto a la mezcla convencional. Con lo que se puede afirmar que el uso del aditivo mejorador de adherencia provoca una mejor densificación de la mezcla.

Tabla 17: Contraste de estabilidad.

Mezcla asfáltica	Estabilidad	
	Resultado	Variación
Convencional	1041	0.00%
+0.4% adherente	1050	+0.86%
+0.5% adherente	1090	+4.71%

De la misma forma, el contraste de estabilidad entre los especímenes con la diferencia del uso de aditivo mejorador de adherencia en la dosificación. Entonces, se indica los valores de 1050 kg y 1090 kg correspondiente a los especímenes con 0.4% y 0.5% de aditivo adherente mientras que el espécimen de mezcla convencional indica un valor menor a los anteriores, 1041 kg. Todos estos especímenes presentan una estabilidad que cumple con el requerimiento mínimo según norma.

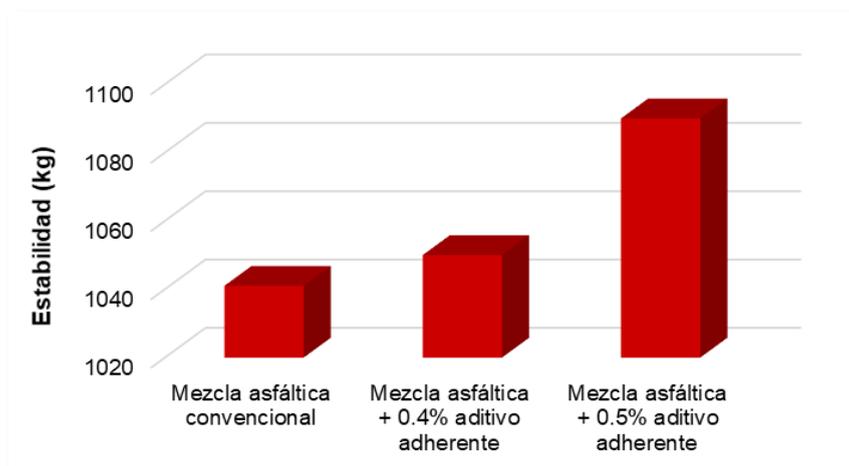


Figura 14: Contraste de estabilidad.

Consecuentemente la anterior figura nos muestra los valores alcanzados. De esta forma se aprecia que el aditivo aumenta la estabilidad donde el espécimen con dosis de 0.5% muestra una variación mínima.

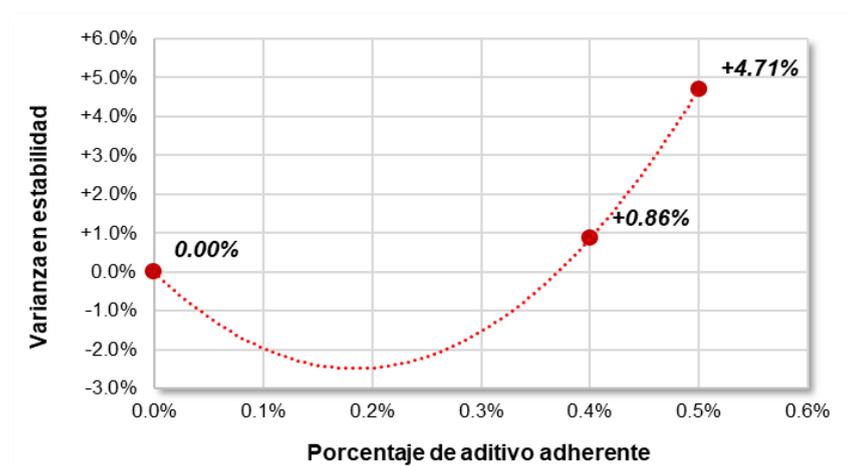


Figura 15: Variación en estabilidad.

Asimismo, en la figura se indica que +0.86% y +4.71% son las variaciones que se generan por el uso del aditivo mejorador de adherencia.

Tabla 18: Contraste de flujo.

Mezcla asfáltica	Flujo	
	Resultado	Variación
Convencional	2.9	0.00%
+0.4% adherente	3.2	+10.34%
+0.5% adherente	3.3	+13.79%

Con relación al flujo, la tabla anterior muestra los valores de 3.2 mm para la muestra con 0.4% de aditivo adherente y 3.3 mm para la muestra con 0.5% de aditivo adherente. Mientras tanto la muestra convencional presentó 2.9 mm.

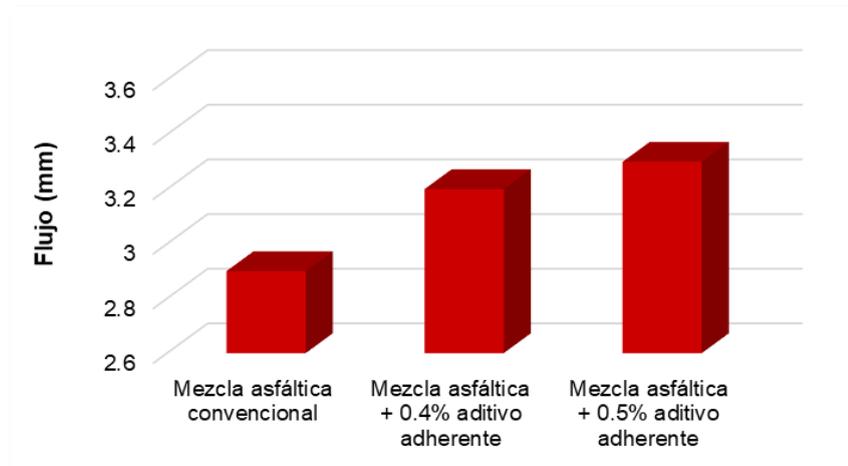


Figura 16: Contraste de flujo.

Igualmente, la figura fabricada con el fin representar los valores alcanzados, muestra con claridad la influencia del aditivo sobre el flujo, elevando los valores. Lo que se traduce en una pérdida en la resistencia a la deformación que tiene la mezcla asfáltica, sin embargo, los valores obtenidos no sobrepasan el límite máximo indicado (4 milímetros).

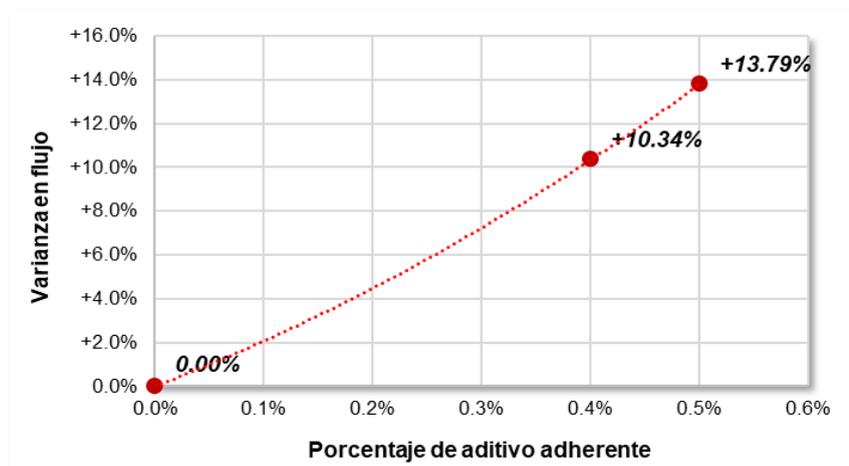


Figura 17: Variación en flujo.

Además, se graficaron los valores de variación en el flujo, en relación de la mezcla convencional. En ese sentido +10.34% y +13.79% son los valores obtenidos respectivamente a las mezclas con aditivo mejorador de adherencia, que muestran una pérdida en la rigidez de la mezcla asfáltica.

Tabla 19: Contraste de vacíos.

Mezcla asfáltica	Vacíos	
	Resultado	Variación
Convencional	3.4	0.00%
+0.4% adherente	3.1	-8.82%
+0.5% adherente	3.3	-2.94%

Seguidamente se hizo el contraste del porcentaje de vacíos según los datos de la tabla anterior, la presencia de vacíos fue de 3.4% en la mezcla convencional. Mientras que la presencia de vacíos en las mezclas con aditivo mejorador de adherencia fue de 3.1% y 3.3%. Estos valores cumplen con los límites establecidos para un diseño MAC, puesto que los vacíos deben de representar más 3% sin embargo no pueden ser mayores al 5%.

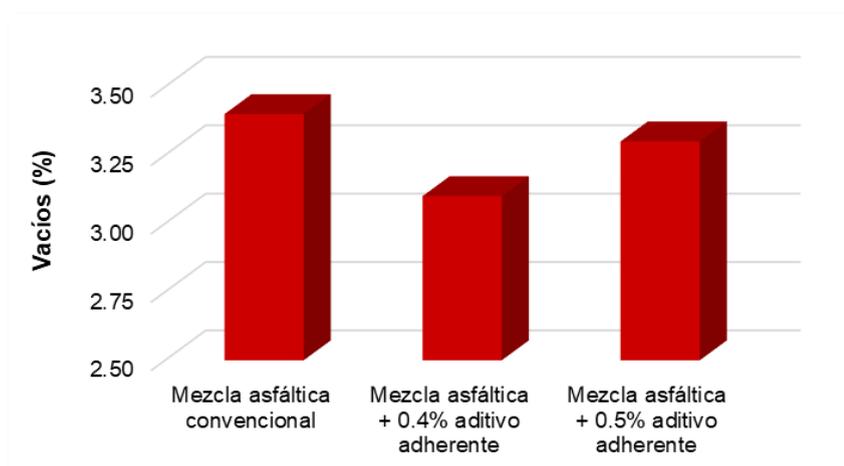


Figura 18: Contraste de vacíos.

De la misma forma, se elaboró la figura anterior que grafica los valores obtenidos ordenándolos en barras, observándose una tendencia de perdida de presencia de vacíos en el espécimen con 0.4% de aditivo, por otro lado, el espécimen con 0.5% de aditivo invierte la tendencia elevándose estos vacíos con respecto al anterior.

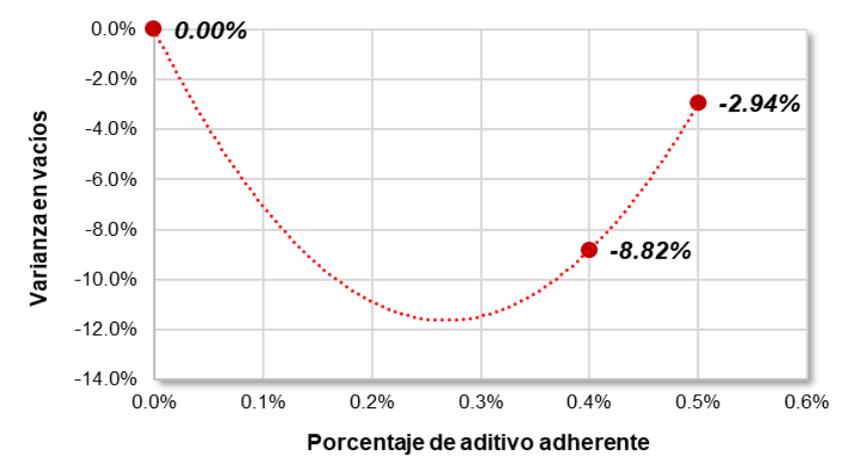


Figura 19: Variación en vacíos.

Esta conducta se denota con claridad en la figura anterior que grafica los valores de variación de los vacíos entre los especímenes trabajados.

Tabla 20: Contraste de Vacíos llenos.

Mezcla asfáltica	Vacíos llenos	
	Resultado	Variación
Convencional	77.6	+0.00%
+0.4% adherente	79.2	+1.93%
+0.5% adherente	79.1	+2.06%

Asimismo, la presencia de los vacíos llenos con asfalto alcanzó los siguientes valores, 77.6% para la mezcla convencional y para las mezclas con aditivo 79.2% y 79.1%, ambos valores por encima del convencional.

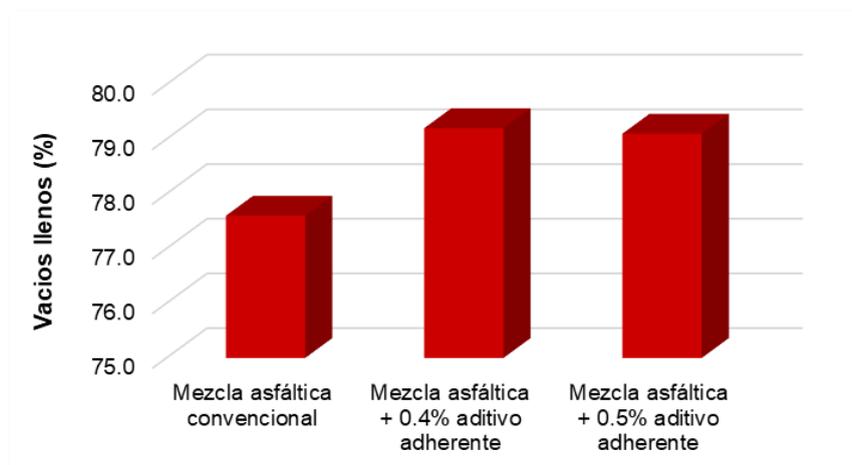


Figura 20: Contraste de Vacíos llenos.

Los valores mostrados en la tabla anterior expresados mediante gráficos nos indican que el uso del aditivo mejorador de adherencia aumenta la presencia de vacíos llenos con cemento asfalto.

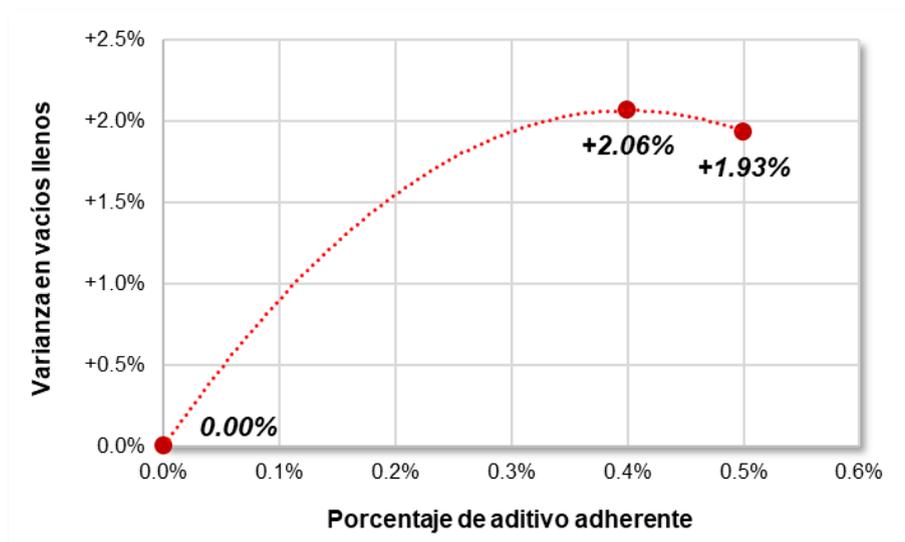


Figura 21: Variación en Vacíos Llenos

Finalmente, la figura anterior que grafica la variación de los vacíos llenos con asfalto, nos muestra una tendencia ascendente sin embargo esta se invierte en la dosis de 0.5% de aditivo. Lo que nos indica que los vacíos llenos de asfalto influido por el uso de aditivo tienen una tendencia de curva.

Tabla 21: Contraste de V. M. A.

Mezcla asfáltica	V.M.A.	
	Resultado	Variación
Convencional	15.1	0.00%
+0.4% adherente	14.8	-1.99%
+0.5% adherente	14.8	-1.99%

Por último, el contraste de la propiedad de V.M.A. indica que todos los valores están por encima del mínimo de 14% (según tamaño máximo). Siendo el V.M.A. igual a 15.1% en el espécimen de mezcla convencional y 14.8% para ambos casos en los especímenes de mezcla con aditivo en 0.4% y 0.5%.

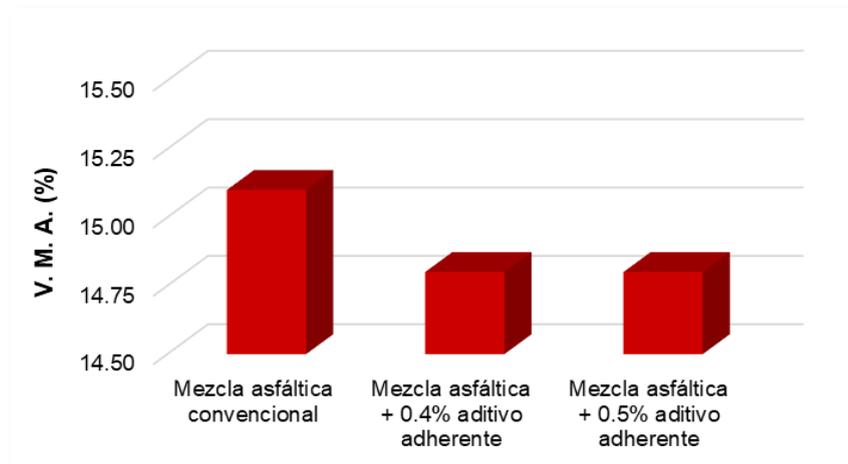


Figura 22: Contraste de V. M. A.

Además, el gráfico elaborado con los valores presentados se muestra en la figura anterior. Esta denota que el V.M.A. disminuye levemente. No obstante, esta disminución no compromete el desarrollo de esta cualidad. Puesto que sigue con el cumplimiento satisfactorio de la norma.

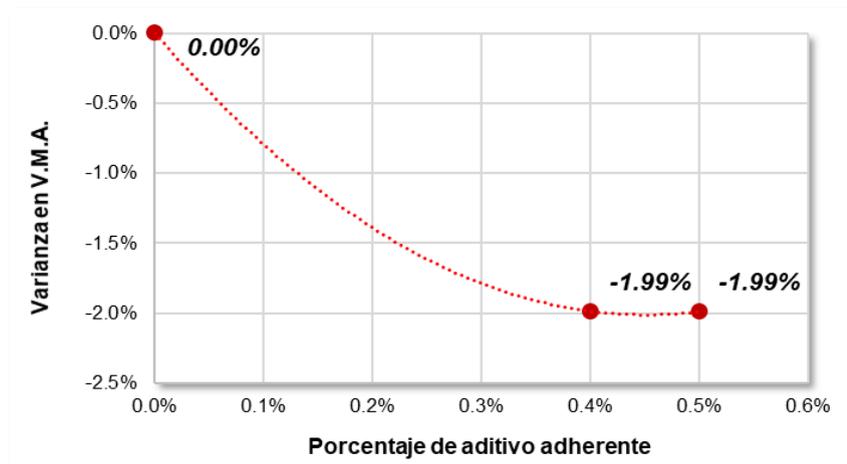


Figura 23: Variación en V. M. A.

Finalmente, en concordancia con la tabla, las variaciones en el V.M.A. son en ambos casos igual a 1.99% en relación a la convencional. Estos valores como disminución indica que la influencia del aditivo mejorador de adherencia sobre el V.M.A. no es drástica.

5.1.3. Tramo de prueba de pavimento

Asimismo, se realizó el ensayo para determinar la deflectometría del pavimento de mezcla asfáltica convencional y con aditivo, mediante el ensayo de la viga Benkelman obteniéndose los valores que se exponen en los siguientes párrafos.

a) Deflexiones máximas obtenidas

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla, mostrándose como deflexiones máximas valores que oscilan entre 760.0 μm y 400.0 μm , de las 21 lecturas realizadas se determinó que la deflexión característica es igual a 706.6 μm . Y que según la carga vehicular la deflexión admisible es igual a 979.4 μm .

Tabla 22: Deflexiones de mezcla convencional.

Punto de ensayo	Deflexión Máxima
N° 01	640.0 μm
N° 02	760.0 μm
N° 03	600.0 μm
N° 04	560.0 μm
N° 05	600.0 μm
N° 06	600.0 μm
N° 07	640.0 μm
N° 08	560.0 μm
N° 09	480.0 μm
N° 10	400.0 μm
N° 11	600.0 μm
N° 13	640.0 μm
N° 14	480.0 μm
N° 15	680.0 μm
N° 16	600.0 μm
N° 17	560.0 μm
N° 18	520.0 μm
N° 19	440.0 μm
N° 20	520.0 μm
N° 21	560.0 μm
Deflexión Característica	706.6 μm
Deflexión Admisible	979.4 μm

Consecuentemente en la figura siguiente se grafica el desarrollo de las deflexiones máximas y su contraste con la deflexión característica (D_c) y la deflexión admisible (D_{adm}). Observándose que la D_c es menor que la D_{adm} , por lo que se puede indicar que el pavimento conformado con mezcla asfáltica convencional se comporta de buena manera ante las cargas vehiculares.

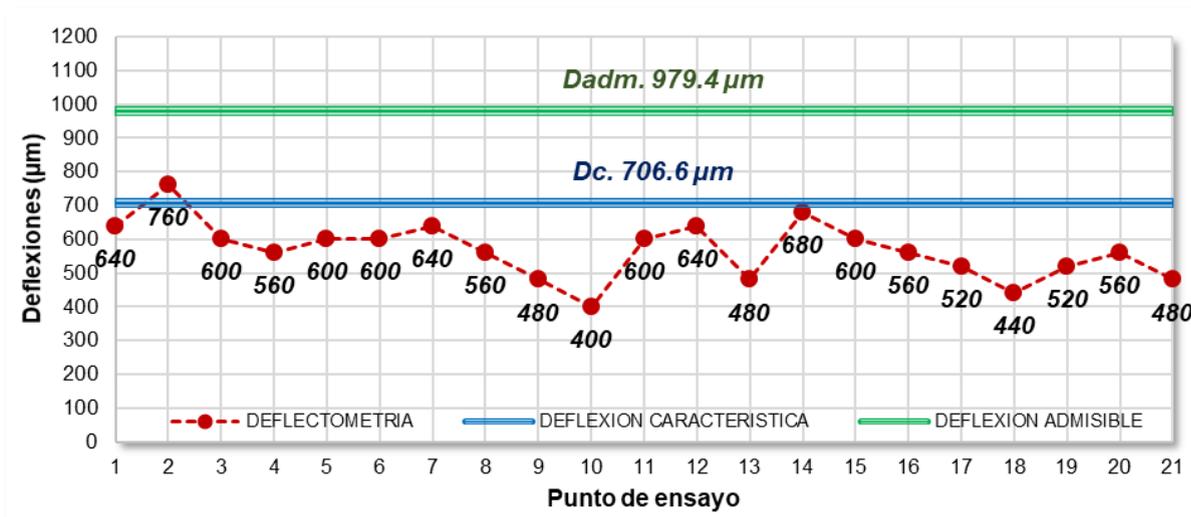


Figura 24: Deflexiones de mezcla convencional.

De la misma manera en la siguiente tabla se muestra las deflexiones máximas correspondientes a la mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia al 0.5%, obteniéndose los valores que fluctúan entre 360.0 µm y 560.0 µm, de las 21 lecturas realizadas se determinó que la deflexión característica es igual a 706.6 µm. Y que según la carga vehicular la deflexión admisible es igual a 979.4 µm.

Tabla 23: Deflexiones de mezcla convencional.

Punto de ensayo	Deflexión Máxima
N° 01	440.00 µm
N° 02	480.00 µm
N° 03	440.00 µm
N° 04	480.00 µm
N° 05	440.00 µm
N° 06	480.00 µm
N° 07	440.00 µm
N° 08	360.00 µm
N° 09	520.00 µm
N° 10	440.00 µm
N° 11	520.00 µm

N° 13	480.00 μm
N° 14	480.00 μm
N° 15	520.00 μm
N° 16	440.00 μm
N° 17	480.00 μm
N° 18	560.00 μm
N° 19	520.00 μm
N° 20	400.00 μm
N° 21	440.00 μm
<hr/>	
Deflexión Característica	530.9 μm
<hr/>	
Deflexión Admisible	979.4 μm
<hr/>	

Asimismo, la figura posterior muestra el progreso de las deflexiones máximas y su contraste con la deflexión característica (D_c) y la deflexión admisible (D_{adm}). Notándose que la D_c no se acerca a la D_{adm} , lo que se traduce en un correcto comportamiento estructural del pavimento de mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia al 0.5% ante las cargas vehiculares.

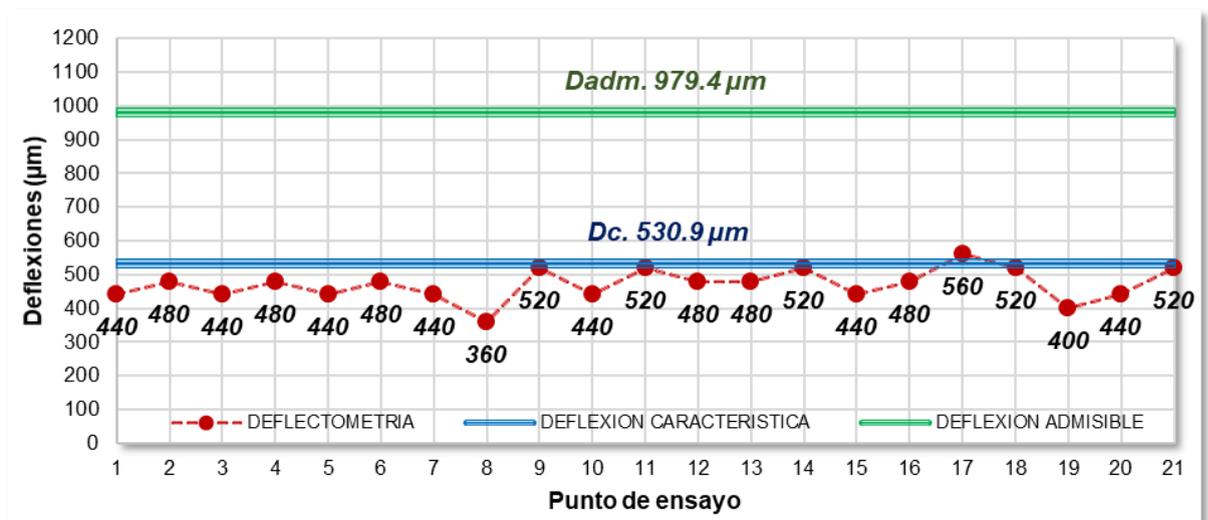


Figura 25: Deflexiones de mezcla convencional.

En ese sentido las 2 mezclas asfálticas presentan un buen comportamiento ante las cargas vehiculares, puesto que no superan a la deflexión admisible en ningún caso (pavimento mezcla convencional y pavimento de mezcla con aditivo mejorador de adherencia al 0.5%).

b) Contraste de las deflexiones características

Consecuentemente, se realizó el contraste de las deflexiones características obtenidas, presentándose la tabla N° 17 que muestra que la muestra convencional indica 706.6 μm , mientras que al utilizar el aditivo mejorador de adherencia en 0.5%, la deflexión característica se reduce en un 24.87% indicando 530.9 μm . En ese sentido, ambos valores cumplen con no sobrepasar la deflexión admisible, lo que supone un buen desempeño estructural ante el tráfico previsto.

Tabla 24: Contraste de las deflexiones características.

Mezcla asfáltica	Deflexión Característica	Variación
Convencional	706.6 μm	0.00%
+0.5% adherente	530.9 μm	-24.87%
Deflexión Admisible	979.4 μm	-

De igual forma, en la figura siguiente se presenta en columnas, los valores alcanzados como deflexiones características, notándose el desarrollo de estas.

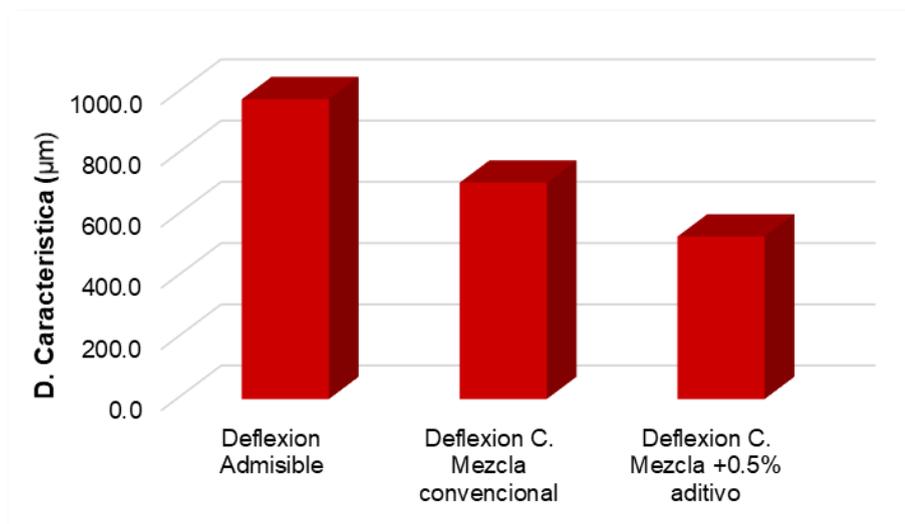


Figura 26: Contraste de las deflexiones características.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Discusión de resultados con antecedentes

Según los ensayos ejecutados se determinó que agregados propuestos de la cantera de Pilcomayo, deben de tener la participación que se muestra en la tabla N° 12, puesto que esta combinación granulométrica indicada en la tabla N° 14 y la figura N° 9 cumple con la gradación MAC-2, y también con los requerimientos de calidad como partículas gruesas y finas, como lo indica la tabla N° 15. Consecuentemente, según el método Marshall se estableció que el óptimo contenido de cemento asfáltico PEN 85-100 es de 5.9%, ya que este diseño cumple con todos los requisitos ha determinado que el diseño de una mezcla asfáltica en caliente, tanto en sus propiedades mecánicas físico-mecánicas y sus propiedades volumétricas, mostrado de forma resumida en la tabla N° 16. Este diseño fue afectado con el aditivo mejorador de adherencia en las proporciones de 0.4% y 0.5%. Estas mezclas asfálticas también sometidas a ensayo Marshall indico que cumple con los requerimientos indicados en sus propiedades físico-mecánicas y propiedades volumétricas, de la misma forma estas se muestran en la tabla N° 16.

Seguidamente, se realizó el análisis del contraste de las propiedades de las mezclas asfálticas. Los valores obtenidos como estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y las mezclas modificadas con aditivo se exponen en la tabla N° 18, mostrando una

estabilidad para la muestra convencional de 1041 kg, mientras que en los especímenes con +0.4% y 0.5% de aditivo adherente, se presenta una variación positiva en la estabilidad de +0.86% y +4.71% respectivamente (estabilidad igual a 1050 kg y 1090 kg). Por lo que podemos afirmar que el aditivo mejorador de adherencia tiene repercusión directa y favorable con la propiedad físico-mecánica de la estabilidad, ya que se presencia una tendencia ascendente lo que se traduce en un aumento cuantitativo. Además, la estabilidad expresada en kilogramos debe de ser mayor a 815 kg, entonces no solo el espécimen convencional cumple con este requerimiento, sino que los especímenes con aditivo cumple con gran comodidad el mismo.

De igual forma se realizó el análisis de la propiedad físico-mecánica de la fluencia, los datos obtenidos de los especímenes de las mezclas asfálticas propuestas se muestran en la tabla N° 19, siendo el flujo igual a 2.9 mm para el espécimen convencional, mientras que los especímenes con +0.4% y +0.5% de aditivo adherente presentaron un flujo igual a 3.2 mm y 3.33 mm, lo que representa una variación positiva de +10.34% y +13.79% respectivamente. Teniendo en cuenta, que el flujo expresado en milímetros debe de presentar un valor entre 2 y 4, es decir que el flujo de la mezcla convencional presenta casi un valor promedio, mientras que las mezclas con aditivos presentan un valor mayor pero que no se acerca tanto al límite superior. De esta forma podemos inferir la influencia del aditivo mejorador de adherencia sobre esta propiedad, lo que genera en el flujo la tendencia a incrementarse, lo que se traduce en que resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica se reduce, o en otros términos que la mezcla pierde rigidización.

Sin embargo, en la tabla N° 25 se puede observar que la mezcla asfáltica convencional obtuvo una deflexión característica igual a 706.6 μm , que al agregar aditivo mejorador adherencia en 0.5% la deflexión característica es igual a 530.9 μm , lo que representa una reducción del 27.87%. Entonces, ambas mezclas asfálticas no presentan deflexiones tales que incumplirían con la deflexión admisible. Esto se puede traducir, en que el efecto del aditivo mejorador de adherencia provoca que la mezcla asfáltica tenga un mejor desenvolvimiento ante el tráfico previsto, durante su etapa de servicio. Sin embargo, al reducirse las deflexiones podemos inferir que la mezcla asfáltica con aditivo tiene la posibilidad de trabajar de forma optima con un trafico mayor al previsto en comparación a la mezcla asfáltica convencional, o que incrementaría su vida útil si el tráfico se mantiene, debido a la mayor resistencia a las cargas que proporciona el aditivo mejorador de

adherencia. Asimismo, se puede indicar que el aditivo mejorador de adherencia mantendría un buen comportamiento de la mezcla asfáltica ante climas adversos, especialmente en zonas frías o lluviosas. Estos resultados coinciden con lo obtenido en la investigación de Flores Gonzales & Guillermo (2019), que concluyo que los tensoactivos permiten alcanzar los mismos resultados que una mezcla asfáltica convencional al trabajar con unas temperaturas menores de compactación. Lo que se puede relacionar con su utilización en zonas de climas de bajas temperaturas.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el uso de aditivo adherente dentro de la dosificación de la mezcla asfáltica en caliente convencional en una dosis de 0.5%, provoca cambios propicios y significativos en las propiedades reológicas de la mezcla.
2. La propiedad físico-mecánica de la estabilidad de la mezcla asfáltica se eleva al incorporarse el aditivo adherente dentro de la dosificación, presentando una estabilidad de 1090 kg lo que significa una variación del +4.71% en relación a la mezcla convencional, en el espécimen con +0.5% de aditivo.
3. La propiedad físico-mecánica del flujo de la mezcla asfáltica se incrementa al utilizarse el aditivo adherente en la dosificación, mostrando un flujo igual al 3.3 mm lo que significa una variación del 13.79% con respecto a la mezcla convencional, en el espécimen con +0.5% de aditivo.
4. La deflexión de la mezcla asfáltica se reduce cuando se emplea el aditivo mejorador de adherencia, puesto que en el espécimen con +0.5% de aditivo esta se reduce un 24.87%, mostrando una D_c igual a 530.9 μm en relación a la mezcla convencional que presento una D_c igual a 706.6 μm ,

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar el análisis de las propiedades reológicas de una mezcla asfáltica en caliente, cuando a diferencia de esta investigación los agregados no aseguran las condiciones de durabilidad.
2. Se recomienda profundizar la investigación de las aplicaciones favorables del aditivo mejorador de adherencia, como en tratamientos superficiales o diferentes tecnologías de pavimentos.
3. Se recomienda que para los agregados provenientes de la cantera Pilcomayo, utilizar la dosificación que se indica en la tabla N° 12, así como también el diseño de mezcla asfáltica según el método Marshall mostrando en la tabla N° 16.
4. Se recomienda tener como bibliografía el Manual MTC EG-2013 Especificaciones técnicas generales para la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar Raya, G., Esteban Arizapana, A., & Jheferson, S. R. (21 de Enero de 2015). <https://es.slideshare.net/rodrigoarroyo92351/expo-diapos-reologia-del-asfalto>.
Obtenido de <https://es.slideshare.net/rodrigoarroyo92351/expo-diapos-reologia-del-asfalto>.
2. Alvarez Risco, A. (2020). Justificación de la Investigación. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, 3.
3. Asphalt Institute. (1982). Evaluación de la Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente.
4. BITUCOTE Plus, . (2013). Aditivo mejorador de adherencia para asfalto.
5. Bonifacio Vergara, W. M., & Sánchez Bernilla, J. A. (2015). Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región Lambayeque. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
6. Botasso, G., Rebello, O., & Soengas, C. (s.f.). Metodología para la evolucion en la incorporacion de promotores de adherencia en cementos asfalticos. Rio de Janeiro-Brasil: Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.
7. Carrasco Díaz, S. (2006). Metodología de la investigación científica. Lima: San Marcos.
8. Castañeda Siete, C. A., Escobar Aguilar, G. A., & Lopez Lemus, L. A. (2011). Aplicación del método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada. Ciudad universitaria: El salvador.
9. Ccanto Mallma, G. (2010). Metodología de la investigación científica en ingeniería civil. Lima: Gerccantom.
10. Cusi Ramos, J. C., & Duran Egoavil, M. R. (2021). "Determinación del grado de desempeño-SUPERVAVE de cementos asfálticos en control de fallas de pavimentos flexibles, carretera Huancavelica-Santa Inés". Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica , Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Huancavelica.
11. Del Canto, E., & Silva Silva, A. (2013). Metodología cuantitativa: abordaje desde la complementariedad en ciencias sociales. Costa Rica: Ciencias.
12. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniera Civil, Caracas.
13. Diseño de mezclas asfalticas,. (2015). Biblioteca Universudad de Piura , Piura.
14. Estrada Escalante, V. R. (2017). Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG

- 70 -28. Tesis para optar el título profesional Ingeniero Civil, Universidad Andina del Cusco, Cusco-Perú.
15. Fajardo Cachay, L. E., & Vergaray Huamán, D. (2014). "Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezcla asfáltica. Tesis de Pregrado, USMP, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima.
 16. Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación.
 17. Ferrer, J. C. (s.f.). Aplicaciones Asfálticas S.R.L. Lima: Ficha técnica AR-RED Radicote.
 18. Flores Gonzales, R. K., & Guillermo, R. P. (2019). Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionado tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente. Universidad Ricardo Palma, Lima.
 19. Forero Bernal, J. A., Garcia Medina, J. P., & Martines Torres, M. J. (2015). Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento asfáltico 80/100 modificado por vía húmeda con adición de corcho. Universidad la Gran Colombia, Bogotá.
 20. Franco Lozano, M., Leon Zambrano, H., & Ruiz Ruiz, J. E. (2015). Estudio de la incidencia del Elvaloy en las propiedades reológicas del concreto asfáltico y del asfalto de la planta de Barrancabermeja. Tesis para optar el título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
 21. Garia Rojas, J. C., & Inga Lopez, R. D. (2020). Variación de las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo Marshall entre las mezclas asfálticas tibias producidas con diferentes tecnologías y las mezclas asfálticas en caliente. Tesis para optar el título de Ingeniero civil, Universidad Ricardo Palma, Lima.
 22. Giraldo Huertas, J. J. (2016). Manual para los seminarios de Investigación en Psicología.
 23. Gonzales Gonzales, T. A. (2015). REOLOGIA DE ASFALTOS 60/70 MODIFICADOS CON RESIDUO DE CERAMICA. Tesis Pregrado, Universidad de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá.
 24. Gutierrez, A. (2003). Metodología para la evaluación de la eficiencia de aditivos promotores de adhesión. México D.F.: Tercer congreso Mexicano del Asfalto.
 25. Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la Investigación.
 26. Icaza Preciado, K. A., & Mera Intriago, W. A. (2018). Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas. Tesis

para optar el título de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.

27. Infante Ataurima, C. A., & Vasquez Alarcon, D. H. (2016). Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA Y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad de Señor de Sipan, Pimentel.
28. Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romada, M. G., Sánchez Blanco, V., & Del Val, M. Á. (2004). "Ingeniería de Carreteras" (Vol. II). Madrid.
29. Méndez, C. (2012). Inducción en la Investigación. Obtenido de Justificación de la Investigación.
30. Montejo Fonseca, A. (2018). Ingeniería de Pavimentos. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
31. Morea, F., Marcozzi, R., & Castaño, G. (2012). Rheological properties of asphalt binders with chemical tensoactive additives in Warm Mix Asphalts. *Construction and Building Materials*.
32. Rebollo, R., Gonzales, R., Bisio, A., & Botaso, G. (2008). Nueva metodología para la valoración de la adherencia arido. Argentina: 1° Congreso Argentino de aridos.
33. Rodríguez Cepeda., J. A. (2016). Análisis de desempeño de mezclas asfálticas tibias. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas , Ecuador.
34. Rodríguez Ore, E. (2018). Influencia de la fibra de caucho reciclado en la estabilidad y fluencia en mezcla asfáltica en frío. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
35. Rojas Ruales, F., Bonifaz García, H., Curco Arrieta, C., & Byron, L. L. (s.f.). Influencia de aditivos mejorador de adherencia en la resistencia de hormigones asfálticos diseñados con agregados provenientes de las canteras de Pintag y Guayllabamba. Ecuador .
36. Sabino, C. (1992). El proceso de la investigación. Caracas: Panamericana.
37. Salazar, A., & Delgado, H. (2013). Evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica en caliente, nivel I-II con aditivos mejoradores de adherencia y asfalto modificado tipo SBS. Mexico.
38. Tacca Cutipa, C. R., & Supo Pacori, W. D. (2018). Efecto de mejoradores de adherencia en la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas. 11.

39. Toxement, E. G. (2016). MICROSÍLICE.
40. Valderrama Aparicio, P. F. (2013). MODELO PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A LOS COSTES GLOBALES EN FASE DE POSTCONSTRUCCIÓN EN EDIFICIOS PLURIFAMILIARES DESTINADOS A ARRENDAMIENTO.
41. Vergara Polo, B. D. (2016). Influencia de los aditivos plastificantes tipo a sobre la compresión, peso unitario y asentamiento en el concreto. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, Trujillo.
42. Wulf RodrigueZ, F. A. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Tesis para optar el titulo de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile.

ANEXOS

Anexo N°01: Matriz de consistencia

Anexo 1 – Matriz de consistencia

INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema general:</p> <p>¿Cómo interviene el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Evaluar el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El aditivo adherente mejora las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Aditivo adherente en la mezcla asfáltica</p>	Viscosidad	Viscosímetro.	<p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Según el origen: Científico Según el método: Inductivo</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Según la orientación: Aplicada Según el enfoque: Cuantitativo</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Explicativo</p> <p>CUANDO: 2020</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Según el propósito del estudio: Experimental.</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA:</p> <p>POBLACIÓN. P1: La presente investigación se desarrolló para 130 briquetas de mezclas asfálticas en caliente.</p> <p>MUESTRA:</p>
				Dosificación	Contenido de dilución	
				Adherencia	Contenido de dilución	
				Contenido Solidos	Porcentaje de solidos suspendidos	
<p>Problemas específicos:</p> <p>a) ¿Cómo interviene en la estabilidad el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?</p> <p>b) ¿De qué manera varía el flujo el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>a) Determinar la estabilidad el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p> <p>b) Evaluar la variación del flujo con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a) La estabilidad mejora con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p> <p>b) La variación del flujo se reduce con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Propiedades reológicas del asfalto en caliente</p>	Estabilidad	Resistencia a mezclas Bituminosas	
				Flujo	Resistencia a mezclas Bituminosas	

Anexo 1 – Matriz de consistencia

<p>c) ¿Cómo interviene en la deflexión el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente?</p>	<p>reológicas del asfalto en caliente. c) Determinar la deflexión para el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p>	<p>c) La deflexión disminuye con el aditivo adherente en la mezcla asfáltica y su incidencia en las propiedades reológicas del asfalto en caliente.</p>		<p align="center">Deflexión</p>	<p align="center">Medida de la deflexión empleando viga Benkelman</p>	<p>M1: Se evaluó el comportamiento a diferentes dosificaciones de aditivo adherente con proporciones concernientes a la granulometría de los agregados.</p>
---	---	---	--	---------------------------------	---	---

Anexo N°02: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
1: Variable Independiente Polímero en polvo	De acuerdo con Wulf Rodriguez, (2008) son aquellas sustancias de elevado peso molecular compuesta por la unión de	El polímero en polvo se operacionaliza mediante sus tres dimensiones: D1: Dosificación, D2: Peso específico, D3: Cloruro y	Dosificación	Masa/ Volumen
	cientos de miles de moléculas pequeñas nombradas monómeros conocidos como compuestos químicos con moléculas simples.	sulfatos. A su vez estas dimensiones están operacionalizadas de acuerdo con los siguientes indicadores.	Peso específico	Absorción
			Cloruro y sulfatos	Sales solubles
2: Variable Dependiente Propiedades físico – mecánicas en las mezclas asfálticas en caliente	Según Merizalde Aguirre, y otros, (2020) son aquellas que dan a conocer el	La variable VD 2: Propiedades físico mecánicas en las mezclas asfálticas en caliente se	Gradación	Granulometría
	comportamiento de las mezclas asfálticas comunes en caliente, por lo	operacionaliza mediante cuatro dimensiones las cuales presenta, D1: Gradación, D2: Desgaste, D3:	Desgate	Cántabro
	que al ser mezcladas con una sustancia que es el polímero, se obtiene un porcentaje para está mezcla.	Resistencia, D4: Deformación. A su vez estas poseen un indicador.	Resistencia	Estabilidad
			Deformación	Flujo

Anexo N°03: Matriz de operacionalización de instrumento

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
Variable Independiente: Aditivo adherente en la mezcla asfáltica	Viscosidad	Viscosímetro	Viscosímetro de Saybolt	N·s/m ²	NUMÉRICA (cuantitativa)
	Dosificación	Contenido de dilución	Ensayo de Recubrimiento	Porcentaje	NUMÉRICA (cuantitativa)
	Adherencia	Contenido de dilución	Ensayo de adherencia	Porcentaje	NUMÉRICA (cuantitativa)
	Contenido Sólidos	Porcentaje de sólidos suspendidos	Ensayo de contenido de ligante	Porcentaje	NUMÉRICA (cuantitativa)
Variable Independiente: Propiedades reológicas del asfalto en caliente	Estabilidad	Resistencia a mezclas Bituminosas	Ensayo Marshall	Kg	NUMÉRICA (cuantitativa)
	Flujo	Deformación de las mezclas bituminosas	Ensayo Marshall	Pulg.	NUMÉRICA (cuantitativa)
	Deflexión	Medida de la deflexión empleando viga Benkelman	Ensayo de la viga Benkelman	cm ²	NUMÉRICA (cuantitativa)

Anexo N°04: Instrumento de investigación y constancia de su aplicación

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : P'sj. GRAU N°211 - CHILCA
Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)

RUC : 20606529229
E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
geotest.v@gmail.com.

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

GRAVA CHANCADA

3/4"



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

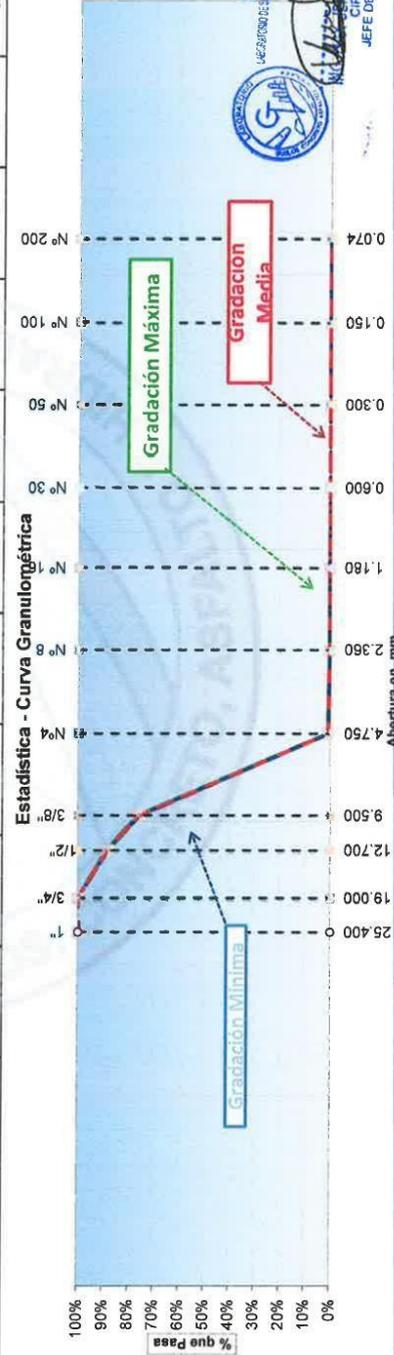
E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com / geotest.v@gmail.com
FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.
RUC : 20606529229

(Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av. Ferrocaril cruce con Av. Leoncio Prado)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA	
Título:	"INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE."
Testista:	DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO
Cantera:	PILCOMAYO
Material:	GRAVA
	Hecho por: A.Y.G. Fecha: JULIO 2021

RESUMEN DE ENSAYOS DE LA GRAVA CHANCADA

Estadísticas	Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
Abertura de tamices	25.400	19.000	12.700	9.500	4.760	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.074
N° de ensayos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Máximo	100.0	100.0	88.9	76.4	0.9	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
Mínimo	100.0	100.0	88.1	75.6	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
Xp Promedio	100.0	100.0	88.5	76.0	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
Desviación Estándar	0.0	0.0	0.6	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Varianza	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coefficiente Variación	0.0	0.0	0.6	0.7	17.7	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



GEO TEST V. S.A.C.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
 CAROLINA BELIZ SULCARAY
 CIP N° 24312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)
 CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

RUC : 20606529229
 E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com.
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 (MTC E107 - ASTM C136 - AASHTO T88)

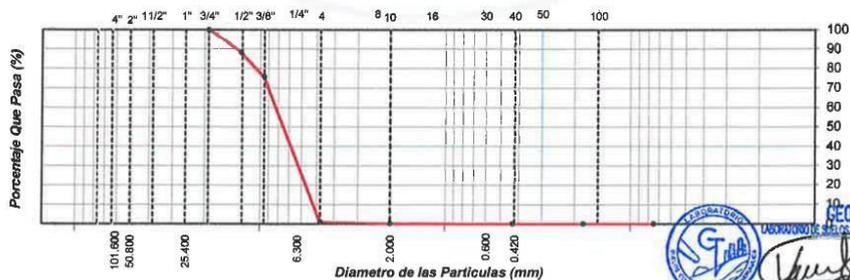
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

TÍTULO: "INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE."
 TESISTA: DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO
 CANTERA: PILCOMAYO
 MATERIAL: GRAVA CHANCADA DE 3/4"
 HECHO POR: A.Y.G.
 FECHA: JULIO 2021

Muestra: Agregado Grueso M02 Tamaño Máximo: 3/4"
 Peso Inicial Seco: 6300.0 g

TAMIZ	PESO	%	% RETENIDO	%	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
PULGADAS	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A
4"	101.60					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05				100.0	
1/2"	12.70	749.0	11.9	11.9	88.1	
3/8"	9.525	786.0	12.5	24.4	75.6	
1/4"	6.300					
Nº 4	4.760	4705.2	74.7	99.1	0.9	
Nº 8	2.380	44.1	0.7	99.8	0.2	
Nº 10	2.000	0.8	0.0	99.8	0.2	
Nº 16	1.190	0.8	0.0	99.8	0.2	
Nº 20	0.840					
Nº 30	0.600	1.0	0.0	99.8	0.2	
Nº 40	0.425	0.8	0.0	99.8	0.2	
Nº 50	0.300	0.5	0.0	99.8	0.2	
Nº 80	0.180	0.8	0.0	99.8	0.2	
Nº 100	0.150	0.6	0.0	99.8	0.2	
Nº 200	0.075	6.0	0.1	99.9	0.1	
< Nº 200	FONDO	4.4	0.1	100.0		

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES :



GEO TEST V S.A.C.
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)
 CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

RUC : 20606529229
 E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com.
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

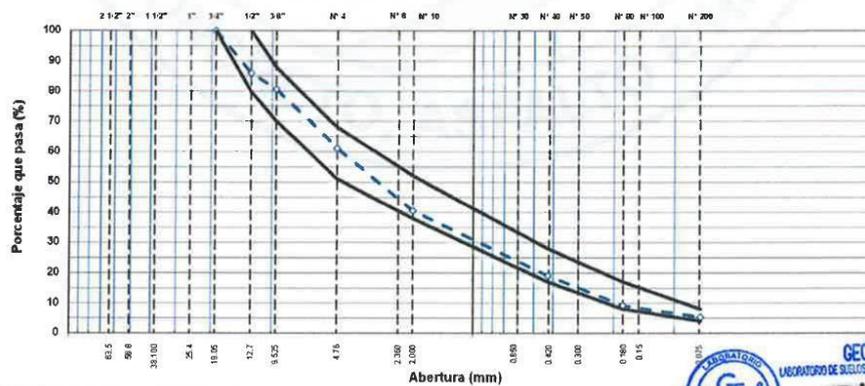
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 (MTC E107 - ASTM C136 - AASHTO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

TÍTULO: "INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE."
TESISTA: DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO
CANTERA: PILCOMAYO
MATERIAL: GRAVA Y ARENA
HECHO POR: A.Y.G.
FECHA: JULIO 2021

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC. MAC - 2	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MÁXIMO	3/4"
1 1/2"	38.100						Peso inicial de la muestra	65000.0 gr
1"	25.400						Peso Fracción	888.0 gr
3/4"	19.050				100.0	100		
1/2"	12.700	9035.0	13.9	13.9	86.1	80 - 100		
3/8"	9.525	3445.0	5.3	19.2	80.8	70 - 88		
1/4"	6.300						COMBINACION DE AGREGADOS	
N°4	4.750	12870.0	19.8	39.0	61.0	51 - 68	Grava chancada de 3/4"	19.0 %
N°8	2.360	269.4	19.0	58.0	42.0		Gravilla chancada de 1/2"	35.0 %
N°10	2.000	19.9	1.4	59.4	40.6	38 - 52	Arena Chancada 1/4"	11.0 %
N°16	1.190	122.0	8.6	68.0	32.0		Arena Natural 1/4"	14.0 %
N°20	0.840						Povillo	21.0 %
N°30	0.600	113.4	8.0	76.0	24.0		Muestra #	01
N°40	0.425	69.6	4.9	80.9	19.1	17 - 28		
N°60	0.300	65.1	4.6	85.6	14.5			
N°80	0.180	75.2	5.3	90.8	9.2	8 - 17		
N°100	0.150	15.6	1.1	91.9	8.1			
N°200	0.074	39.7	2.8	94.7	5.3	4 - 8		
< 200	-	75.2	5.3	100.0				

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

GEO TEST V S.A.C.
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.

DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)
CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

RUC : 20606529229
E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
geotest.v@gmail.com.
FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.



**DISEÑO
POR
MÉTODO DE MARSHALL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)

RUC : 20606529229
 E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

TÍTULO: "INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE"

TESISTA: DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO

MATERIAL: GRAVA Y ARENA

CANTERA: APATA

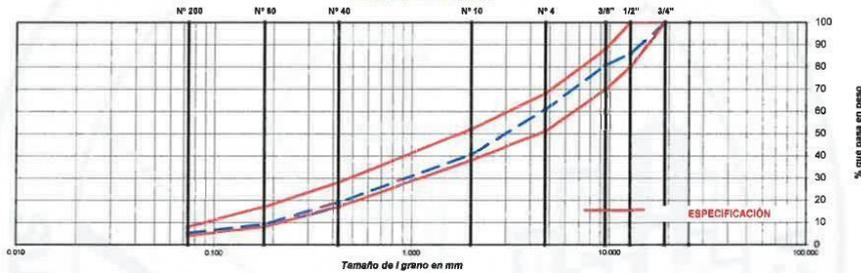
HECHO POR: A.Y.G.

FECHA: JULIO 2021

Diseño C. A. 5.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO		
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 60	N° 80	N° 200	<N°200	Peso Met. S.Lavar	gr.
ABERTURA EN mm	19.050	12.700	9.625	4.750	2.000	0.425	0.18	0.074			Peso Met. Lavado	gr.
PESO RETENIDO	gr.	9035.0	3445.0	12670.0	289.3	304.9	140.3	55.3	75.2		Peso Met. Lav+Filtro	gr.
RETENIDO PARCIAL	%	13.9	5.3	19.8	20.4	21.5	9.9	3.9	5.3		Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%	13.9	19.2	39.0	59.4	80.9	90.8	94.7	100.0		Peso Inicial de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	86.1	80.8	61.0	40.6	19.1	9.2	5.3		Peso final de Filtro	gr.
ESPECIFICACIÓN	%	100	80 - 100	70 - 88	61 - 88	38 - 62	17 - 28	8 - 17	4 - 8		Peso de Filler	gr.
ASFALTO LÍQUIDO											FRACCIÓN	%
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr.
												865.0
												65000.0

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0	6.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	37.05	37.05	37.05	37.05	
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	57.95	57.95	57.95	57.95	
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.015	1.015	1.015		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.645	2.645	2.645		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.688	2.688	2.688		
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE						
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1228.2	1235.9	1235.4		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1230.0	1238.4	1238.3		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	708.8	714.5	714.8		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	521.2	523.9	523.5		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.					
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Po parafina)	c.c.					
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	521.2	523.9	523.5		
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.368	2.368	2.368	2.368	
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.483	2.483	2.483		
18 VACÍOS (17-18)*100/17	%	6.1	6.0	6.0	6.0	3 - 6
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)((26)+(3/7)+(4/8))	%	2.659	2.659	2.659		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(16/19)	%	16.8	16.7	16.7	16.7	Min. 14
21 VACÍOS LLENOS CON C.A. 100*(20-19)/20	%	67.7	68.1	68.3	68.0	
22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)((100/17)-(1/8))		2.688	2.688	2.688	2.688	
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*(5*(22-19))/(22*19)	%	0.414	0.414	0.414	0.414	
24 CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23)/(2+3+4)/100	%	4.61	4.61	4.61	4.61	
25 FLUJO	mm	2.0	2.1	2.1	2.1	2 - 4
26 LECTURA DEL EQUIPO		8.488	8.398	8.664		
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	863	856	873		
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00		
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	863	856	873	864	Min. 815
30 ESTABILIDAD FLUJO	Kg/cm	4315	4078	4187	4183	1700 - 4900

OBSERVACIONES:

Grava Chancada 01	11%
Grava Chancada 02	34%
Arene chancada	19%
Arene natural	14%
Arene fina	22%
Aditivo mejorador de adherencia	0.0%
Cemento asfáltico	PEN 85 - 100



GEO TEST V S.A.C.
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)

RUC : 20606529229
E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

TÍTULO: "INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE"

TESISTA: DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO

MATERIAL: GRAVA Y ARENA

CANTERA: APATA

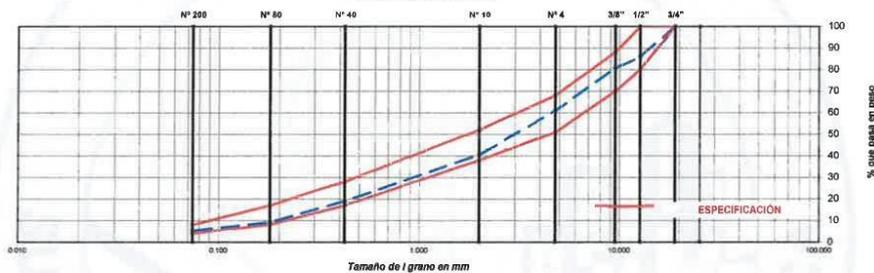
HECHO POR: A.Y.G.

FECHA: JULIO 2021

Diseño C. A. 6.0%

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO	
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200	<N°200	Peso Mat. S/Lavar	gr.
ABERTURA EN mm	18.060	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074			
PESO RETENIDO	gr.	9035.0	3445.0	12870.0	289.3	304.9	140.3	55.3	75.2	Peso Mat. Lav+Filtro	gr.
RETENIDO PARCIAL	%	13.9	5.3	19.8	20.4	21.5	9.9	3.9	5.3	Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%	13.9	19.2	39.0	59.4	80.9	90.8	94.7	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	86.1	80.8	61.0	40.6	19.1	9.2	5.3	Peso final de Filtro	gr.
ESPECIFICACIÓN	%	100	80 - 100	70 - 88	61 - 68	38 - 62	17 - 28	8 - 17	4 - 8	Peso de Filler	gr.
ASFALTO LIQUIDO										FRACCIÓN	%
TRAMO ASFALTADO										Metros Lineales:	666.0
										PESO TOTAL	65000.0

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	8.0	8.0	8.0	8.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	36.66	36.66	36.66	36.66	
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	57.34	57.34	57.34	57.34	
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.015	1.015	1.015		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.645	2.645	2.645		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.668	2.668	2.668		
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE						
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1238.5	1234.7	1235.3		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1239.3	1235.2	1237.5		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	722.5	721.2	722.6		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c	518.8	514.0	514.9		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.					
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c					
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c	516.8	514.0	514.9		
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c	2.398	2.402	2.399	2.399	
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.475	2.475	2.475		
18 VACÍOS (17-16)*100/17	%	3.2	3.0	3.1	3.1	3 - 6
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((26)+(3/7)+(4/8))		2.659	2.659	2.659		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(16/19)	%	15.3	15.1	15.2	15.2	Min. 14
21 VACÍOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	78.2	80.4	79.7	79.8	
22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.726	2.726	2.726		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.932	0.932	0.932		
24 CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23)*(2+3+4)/100	%	5.12	5.12	5.12		
25 FLUJO	mm	3.1	3.1	3.0	3.1	2 - 4
26 LECTURA DEL EQUIPO		10.425	10.645	10.329		
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1063	1085	1053		
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00		
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1063	1086	1063	1067	Min. 815
30 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3429	3600	3510	3480	1700 - 4200

OBSERVACIONES:
 Grava Chancada 01 11%
 Grava Chancada 02 34%
 Arena chancada 19%
 Arena natural 14%
 Arena fina 22%
 Aditivo mejorador de adherencia 0.0%
 Cemento asfáltico PEN 86 - 100



GEO TEST V. S.A.C.
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

Servicios de Ensayos de Laboratorio, Investigaciones y Campo, de Acuerdo a Normativas y Exigencias Técnicas en las Especialidades de Mecánica de Suelos, Concreto, Asfalto e Hidráulica Aplicado en Obras Civiles

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)
 CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

RUC : 20606529229
 E-MAIL : labgeotesty02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com.
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

DENSIDAD MAXIMA TEÓRICA RICE
 MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

TESIS: "INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE"

TESISTA: DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO

MATERIAL: GRAVA Y ARENA

CANTERA: APATA

HECHO POR : A.Y.G.

FECHA : JULIO 2021

ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5	6
Cemento Asfáltico	%	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	5.90
Peso del material	gr	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00
Peso del agua + frasco Rice	gr	8053.00	8051.00	8051.00	8052.00	8052.00	8053.00
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	9553.00	9551.00	9551.00	9552.00	9552.00	9553.00
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8949.00	8950.00	8945.00	8941.00	8938.00	8949.00
Volumen del material	cc	604.00	601.00	606.00	611.00	614.00	604.00
Peso Especifico Máximo	gr/cc	2.483	2.496	2.475	2.455	2.443	2.483
Temperatura de ensayo	°C	25	25	25	25	25	25
Grava Chancada 01	%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
Grava Chancada 02	%	34%	34%	34%	34%	34%	34%
Arena chancada	%	19%	19%	19%	19%	19%	19%
Arena natural	%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Arena fina	%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
Tiempo de ensayo	Min.	15	15	15	15	15	15
Factor de Corrección							

OBSERVACIONES: _____


GEO TEST V S.A.C.
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA
GEO TEST V. S.A.C.



DIRECCIÓN : Psj. GRAU N°211 - CHILCA
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)

RUC : 20606529229
E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

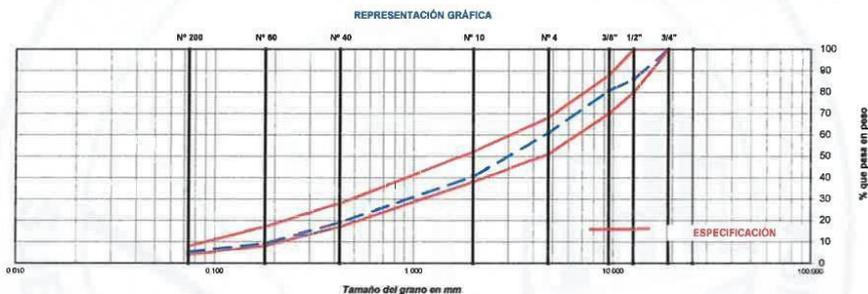
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

TÍTULO: "INCORPORACIÓN DE ADITIVO ADHERENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO EN CALIENTE"
TESISTA: DE LA CRUZ FERNANDEZ EDUARDO
MATERIAL: GRAVA Y ARENA
CANTERA: APATA

HECHO POR: A.Y.G.
FECHA: JULIO 2021

Diseño C. A. 5.5 %

ENSAYO GRANULOMÉTRICO										LAVADO ASFÁLTICO		
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200	<N°200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm	19.050	12.700	9.825	4.750	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.	9035.0	3445.0	12870.0	289.3	304.9	140.3	55.3	75.2	Peso Mat. Lav + Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		13.9	5.3	19.8	20.4	21.5	9.9	5.3	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%								100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	86.1	80.6	61.0	40.6	19.1	9.2	5.3	Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACIÓN	%	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	Peso de Fíber	gr.	
ASFALTO LÍQUIDO										FRACCIÓN	%	
TRAMO ASFALTADO											866.0	
											PESO TOTAL	gr.
											65000.0	



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	36.86	36.86	36.86	36.86	
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	57.65	57.65	57.65	57.65	
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.015	1.015	1.015		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.645	2.645	2.645		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.668	2.668	2.668		
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE						
9 PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	gr	1235.6	1228.5	1235.5		
10 PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1238.4	1231.3	1238.4		
11 PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	gr	724.7	721.2	722.6		
12 VOLUMEN DE LA BRQUETA (10-11)	c.c.	513.7	510.1	515.8		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr					
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/10 parafina)	c.c.					
15 VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPAMIENTO (12-14)	c.c.	513.7	510.1	515.8		
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.406	2.408	2.388	2.403	
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.504	2.504	2.504		
18 VACÍOS (17-16)*100/17	%	3.9	3.8	4.3	4.0	3 - 5
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(26)+(3/7)+(4/8))		2.659	2.659	2.659		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(16/19)	%	14.5	14.4	14.9	14.6	Min. 14
21 VACÍOS LLENOS CON C.A. 100*(20-19)/20	%	72.8	73.4	70.8	72.3	
22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/17)-(1/5))		2.738	2.738	2.738		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*(22-19)/(22*19)	%	1.101	1.101	1.101		
24 CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	4.46	4.46	4.46		
25 FLUJO	mm	2.6	2.6	2.6	2.6	2 - 4
26 LECTURA DEL EQUIPO		10.326	10.252	10.188		
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1053	1045	1040		
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00		
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1053	1045	1040		
30 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	4212	4019	4007		

OBSERVACIONES:
 Grava Chancada 01 11%
 Grava Chancada 02 34%
 Arena chancada 19%
 Arena natural 14%
 Arena fina 22%
 Aditivo mejorador de adherencia 0.5%
 Cemento asfáltico PEN 85 - 100

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

Servicios de Ensayos de Laboratorio, Investigaciones y Campo, de Acuerdo a Normativas y Exigencias Técnicas en las Especialidades de Mecánica de Suelos, Concreto, Asfalto e Hidráulica Aplicado en Obras Civiles



Q&M EXACTITUD PERÚ S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-008-2022

Página 3 de 4

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	60,4	0,3
Mínima Temperatura Medida	59,5	0,3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,3	0,3
Desviación de Temperatura en el Espacio	0,6	0,3
Estabilidad Medida (±)	0,15	0,24
Uniformidad Medida	0,8	0,3

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX : Temperatura máxima.
T.MIN : Temperatura mínima.
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "**desviación de temperatura en el tiempo**" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "**desviación de temperatura en el espacio**" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

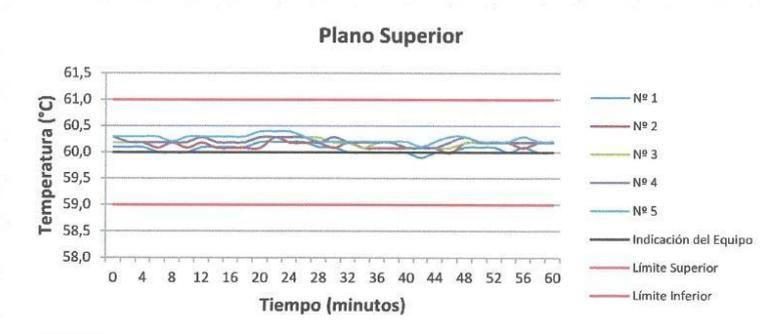
Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isothermo : 0,06 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ DTT.

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO TEMPERATURA DE TRABAJO: 60 °C \pm 1 °C





Q&M EXACTITUD PERÚ S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LF-002-2022

Página 2 de 2

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	18,6 °C	18,7 °C
Humedad Relativa	62 %HR	62 %HR

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Patrón utilizado	Certificado de calibración
Celda de carga calibrado a 50 tnf con incertidumbre del orden de 0,5 %	INF-LE 003-22 B

7. OBSERVACIONES

- (*) Indicado en una etiqueta adherida al equipo.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO".
- El equipo tiene una celda de carga de 5t, Marca: KELI, Modelo: LFSC-A y Serie: 5W30576

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia				Exactitud	Incertidumbre U (k=2)
%	F_i (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	F_3 (kN)	q (%)	(%)	
10	5,000	5,00	5,00	5,00	0,00	0,01	
20	10,000	10,00	10,00	10,01	-0,03	0,07	
30	15,000	15,00	14,99	15,00	0,02	0,04	
40	20,000	20,00	20,01	20,00	-0,02	0,03	
50	25,000	25,01	25,01	25,01	-0,04	0,01	
60	30,000	30,01	30,01	29,99	-0,01	0,04	
70	35,000	35,01	35,01	35,00	-0,02	0,02	
80	40,000	40,00	40,01	40,00	-0,01	0,02	
90	45,000	45,01	45,01	45,00	-0,01	0,02	
100	50,000	50,06	50,05	50,05	-0,11	0,01	
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0			

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0,00 %
---	--------

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar

la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC019 - T - 2022

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SNM/INDECOPI tomado como referencia el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" Segunda edición - diciembre 2012 de INDECOPI/SNM.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de temperatura de METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C.
Av. Palmeras N° 5535, Los Olivos - Lima



8. Condiciones Ambientales

	Mínimo	Máximo
Temperatura	20,5 °C	20,6 °C
Humedad Relativa	61,1 %	61,1 %

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de la Dirección de Metrología INACAL	Termómetro Digital con incertidumbres del orden desde 0,14 °C hasta 0,14 °C	DM INACAL 0014-TPES-C-2022

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- La resolución de su pantalla es 0,1 °C para temperaturas entre -50 °C hasta 300 °C y 1 °C para temperaturas fuera de este rango.

Anexo N°05: Fotografía de la aplicación del instrumento

1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

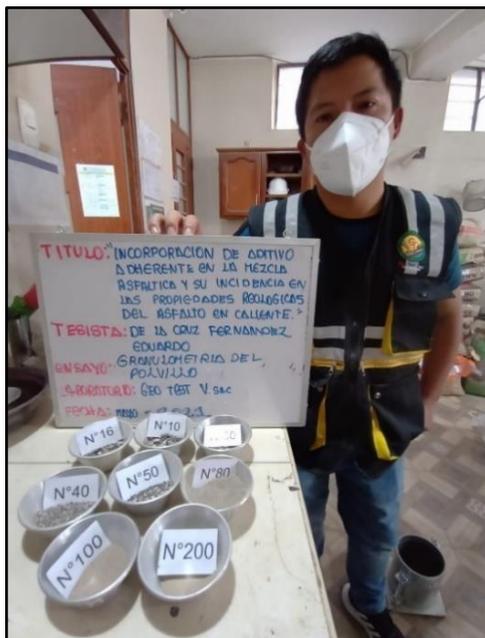


Fotografía N° 1: Ensayo de granulometría del agregado grueso (piedra chancada de $\frac{3}{4}$ "), para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) EN LA EG-2013, según MTC E-204, ASTM D-422.

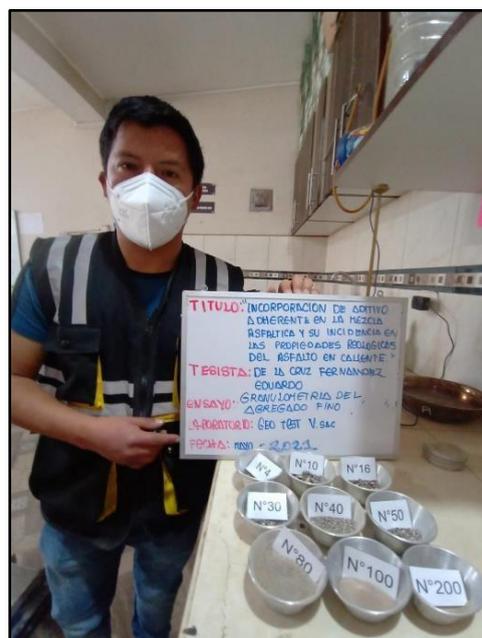


Fotografía N° 2: Ensayo de granulometría del agregado grueso (piedra chancada de $\frac{3}{8}$ "), para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) EN LA EG-2013, según MTC E-204, ASTM D-422.

2. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

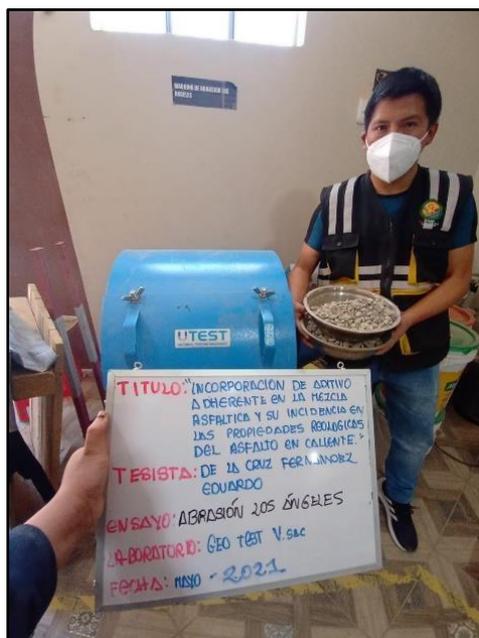


Fotografía N° 3: Ensayo de granulometría del agregado fino (arena chancada), para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) EN LA EG-2013, según MTC E-204, ASTM D-422.



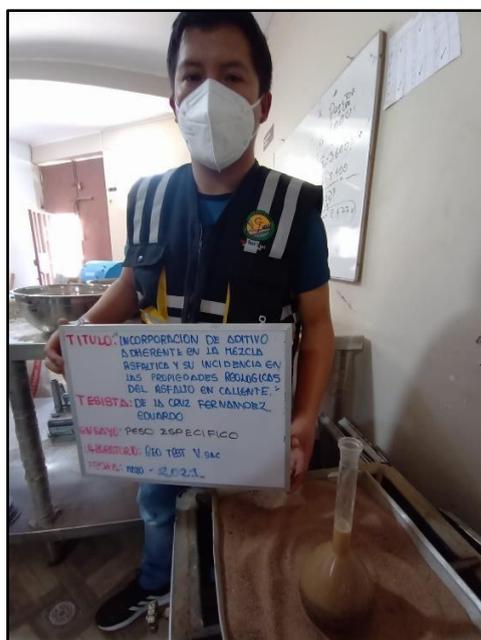
Fotografía N° 4: Ensayo de granulometría del agregado fino (arena natural), para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) EN LA EG-2013, según MTC E-204, ASTM D-422.

3. ABRASION LOS ANGELES

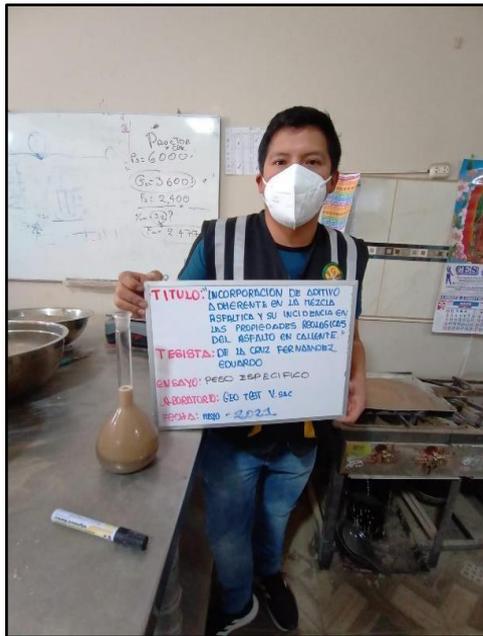


Fotografía N° 5: Desarrollo del ensayo de Abrasión Los Ángeles (Método B- 11 esferas) MTC E-207, NTP 400.019

4. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

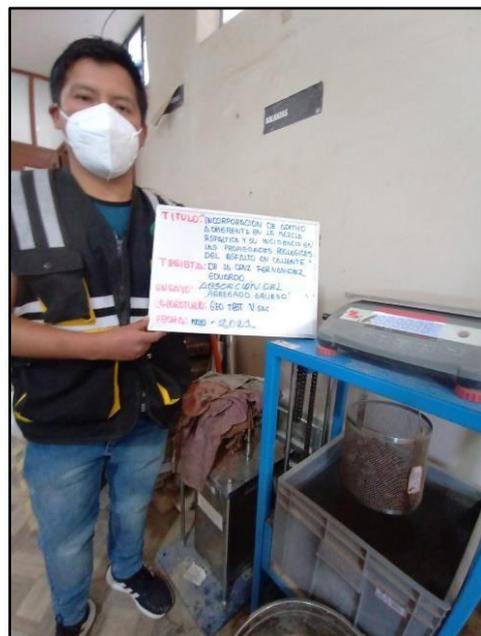


Fotografía N° 6: Desarrollo del ensayo de peso específico de arena natural MTC E-205



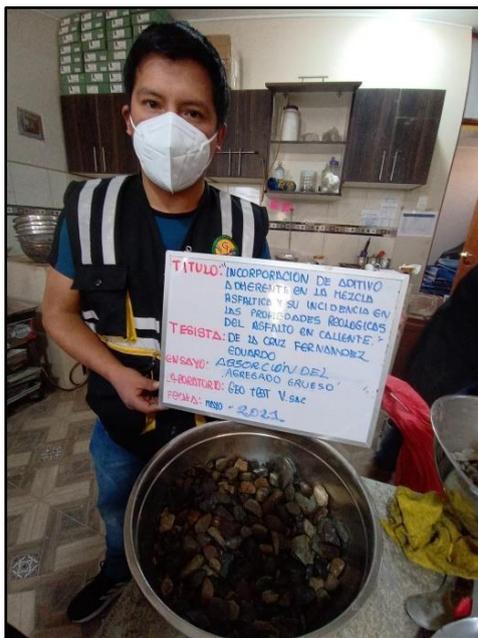
Fotografía N° 7: Desarrollo del ensayo de peso específico de arena chancada MTC E-205

5. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO



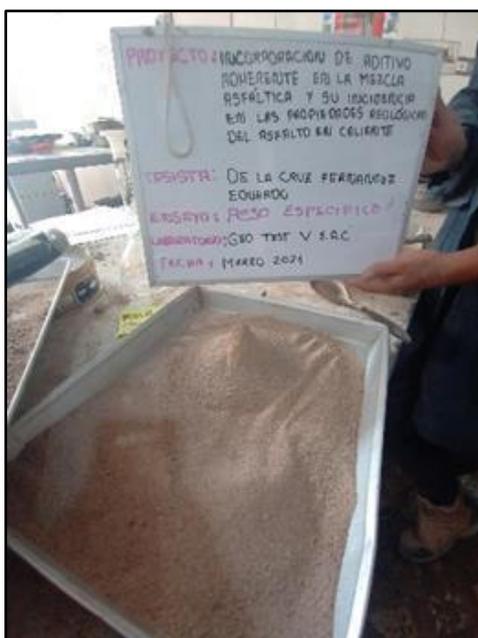
Fotografía N° 8: Desarrollo del Ensayo de peso específico de piedra chancada según la MTC E – 514-2000, ASTM D-2726.

6. ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO



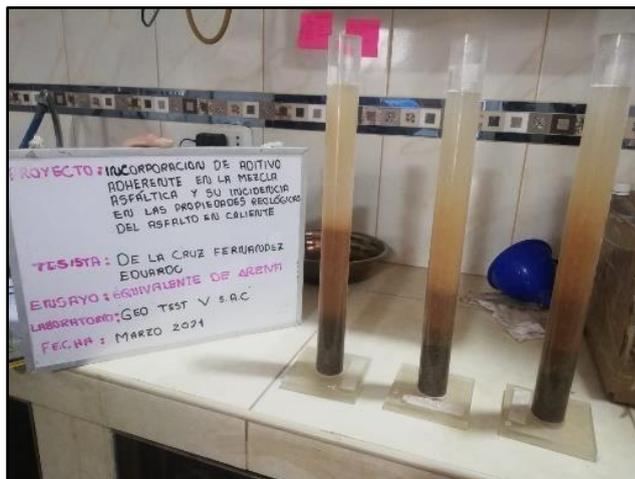
Fotografía N° 9: Determinación del material en un estado, superficialmente seco según la norma MTE E 206

7. ABSORCION DEL AGREGADO FINO

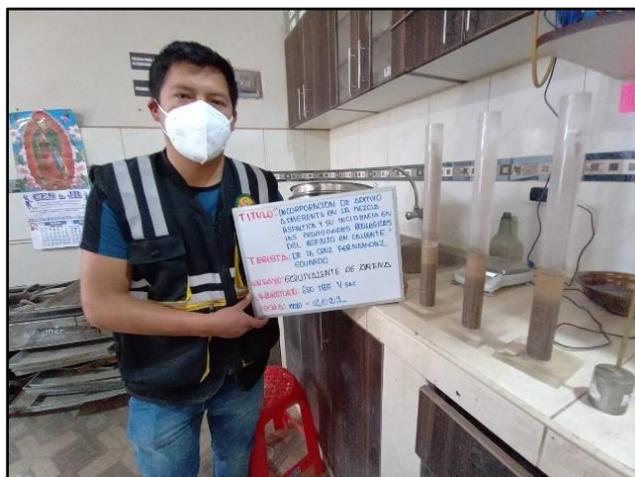


Fotografía N° 10: Ensayo de absorción del agregado fino hasta lograr que el material este superficialmente seco según la norma MTC E 205

8. EQUIVALENTE DE ARENA

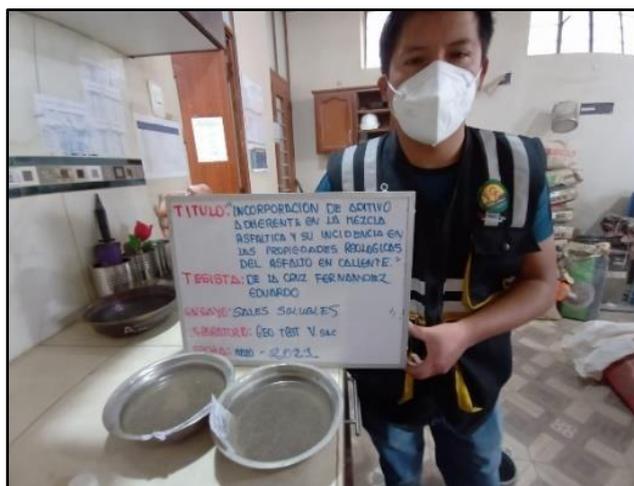


Fotografía N° 11: Ensayo de la combinación de agregado fino MTC E-114, NTP 339.146.



Fotografía N° 12: Ensayo de la combinación del agregado fino lecturando el material más fino MTC E-114, NTP 339.146.

9. SALES SOLUBLES DEL AGREGADO FINO



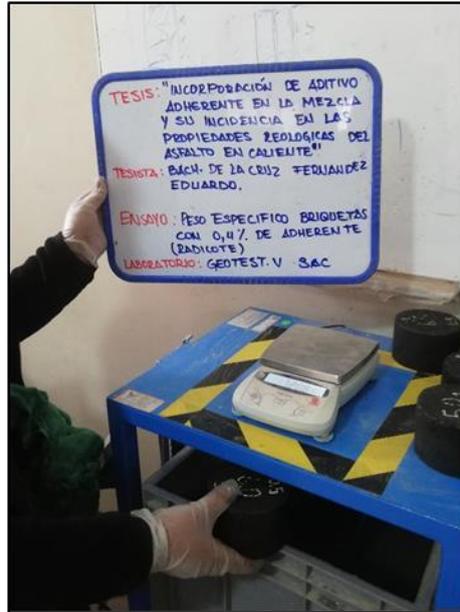
Fotografía N° 13: Ensayo del ensayo para sales solubles del agregado fino MTC E-219, NTP 339.152.

10. CHATAS Y ALARGADAS

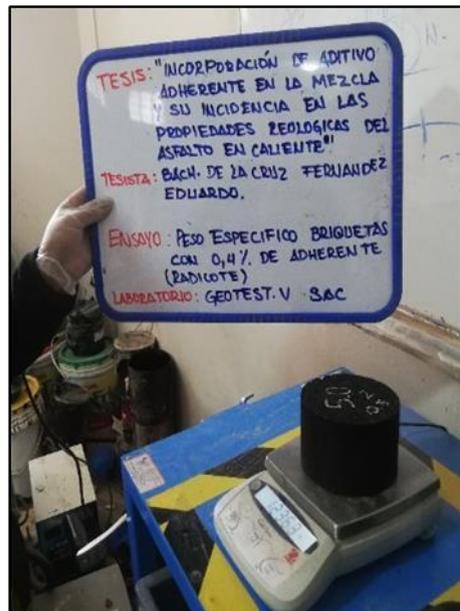


Fotografía N° 14: Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas: ASTM 4791, NTP 400.4

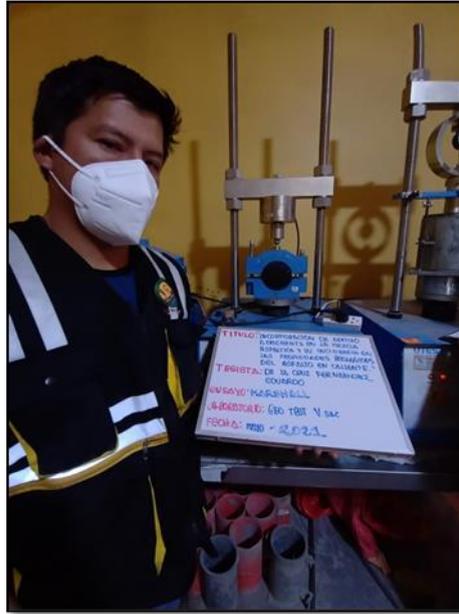
11. MARSHALL



Fotografía N° 15: Ensayo Marshall incrementándole mejorador de adherencia en un 0.4% (peso específico) al 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%. según la MTC E-514-2000



Fotografía N° 16: Ensayo Marshall incrementándole mejorador de adherencia en un 0.5% (peso específico) al 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%. según la MTC E-514-2000



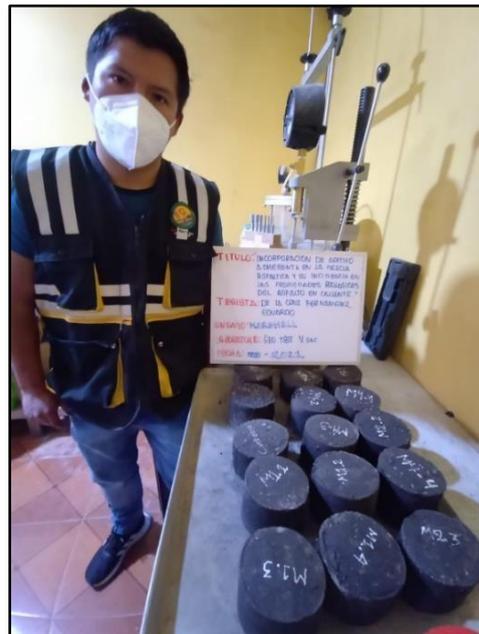
Fotografía N° 17: Ensayo Marshall convencional para determinar la Rotura al 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%. según la MTC E-504, NTP 339.132



Fotografía N° 18: Ensayo Marshall incrementando aditivo mejorador de adherencia con el óptimo de (5.9). según la MTC E-504, NTP 339.132



Fotografía N° 19: Ensayo Marshall incrementando aditivo mejorador de adherencia con el óptimo de (5.9). según la MTC E-504, NTP 339.132



Fotografía N° 20: Ensayo Marshall según la MTC E-504, NTP 339.132