

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**ENERGIA SUPERFICIAL LIBRE DEL CEMENTO
ASFALTICO PARA CUANTIFICAR LA ADHESIÓN EN
LAS INTERFASES DE UN PAVIMENTO EN
HUANCAYO 2022**

Presentado por:

Bach. PAREDES MENDOZA, Indira Kori

Bach. PAREDES MENDOZA, Augusto Alan

Línea de Investigación Institucional:

Transporte y Urbanismo

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Huancayo – Perú

2020

FALSA PORTADA

ASESOR

ING. ERNESTO WILLY GARCIA POMA

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. Paredes Mendoza, Indira Kari

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Bach. Paredes Mendoza, Augusto Alan

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradecemos a nuestros formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a llegar al punto en el que me nos encontramos y a cumplir todas nuestras metas.

Bach. Paredes Mendoza, Indira Kari

Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Los Andes por contribuir con sus críticas constructivas y haber brindado sus conocimientos para poder realizarme como un profesional.

Bach. Paredes Mendoza, Augusto Alan

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera
Presidente

Jurado

Jurado

Jurado

Secretario Docente

INDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE	7
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I	15
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. Justificación de la investigación.....	17
1.3.1. Justificación práctica.....	17
1.3.2. Justificación científica	17
1.3.3. Justificación metodológica	17
1.4. Delimitación de la investigación.....	18
1.4.1. Delimitación espacial	18
1.4.2. Delimitación temporal	18
1.4.3. Delimitación económica	18
1.4.4. Delimitación conceptual	19
1.5. Limitaciones	19
1.6. Objetivos de la investigación	19
1.6.1. Objetivo general.....	19
1.6.2. Objetivos específicos	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Antecedentes internacionales	20
2.2. Marco conceptual	25
2.3. Definiciones de términos	54

2.4. Hipótesis.....	55
2.4.1. Hipótesis general.....	55
2.4.2. Hipótesis específica.....	55
2.5. Variables.....	55
2.5.1. Definición conceptual de las variables.....	55
2.5.2. Definición operacional de la variable.....	56
2.5.3. Operacionalización de la variable.....	57
CAPÍTULO III.....	58
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	58
3.1. Método de investigación.....	58
3.2. Tipo de investigación.....	58
3.3. Nivel de la investigación.....	58
3.4. Diseño de la investigación.....	59
3.5. Población y muestra.....	59
3.5.1. Población.....	59
3.5.2. Muestra.....	59
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
3.6.1. Técnicas.....	59
3.6.2. Instrumentos.....	60
3.7. Procesamiento de la información.....	60
3.8. Técnica y análisis de datos.....	60
CAPÍTULO IV.....	61
RESULTADOS.....	61
CAPÍTULO V.....	75
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	75
5.1. Discusión de resultados con antecedentes.....	75
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	85
Anexo N°01: Matriz de consistencia.....	86
Anexo N°02: Certificado de ensayos.....	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad a 60°C.	34
Tabla 2: Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad a 60°C.	36
Tabla 3: Requisitos de los Cementos Asfálticos Según especificaciones del MTOP.....	38
Tabla 4: Características y usos de los cementos asfálticos detallados por viscosidad en el producto original a 60°C.....	43
Tabla 5: Operacionalización de variables	57
Tabla 6: Resultados ángulo de contacto con agua por el método de Wilhelmy	61
Tabla 7: Resultados ángulo de contacto con glicerol por el método de Wilhelmy	62
Tabla 8: Resultados ángulo de contacto con formamida por el método de Wilhelmy	62
Tabla 9: Trabajo de adhesión de la cantera Apata.....	63
Tabla 10: Trabajo de adhesión de la cantera Pilcomayo	64
Tabla 11: Variación de resultados del trabajo de adhesión	64
Tabla 12: Resultados de trabajo de cohesión cantera Apata	65
Tabla 13: Resultados de trabajo de cohesión cantera Pilcomayo	66
Tabla 14: Variación de resultados del trabajo de cohesión	66
Tabla 15: Resultados de energía superficial libre cantera Apata y Pilcomayo ..	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grafico del proceso del petróleo para la obtención de cemento asfáltico.	26
Figura 2. Consistencia del asfalto.	27
Figura 3. asfalto utilizado como estabilizante.	27
Figura 4. Asfalto utilizado como impermeabilizante.	28
Figura 5. asfalto en estado sólido.	29
Figura 6. asfalto en estado líquido MC-30.	29
Figura 7: Comportamiento del cemento asfáltico en estado visco-elástico.	30
Figura 8: Diagrama de la Prueba de Penetración.	36
Figura 9: Prueba de penetración.	39
Figura 10: Ensayo de punto de ablandamiento.	40
Figura 11: Ensayo de la mancha, valoración visual.	41
Figura 12: Equipo y molde del ensayo de ductilidad.	41
Figura 13: Equipo para el ensayo de viscosidad Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute – 2. viscosímetro de vacío de Cannon Manning.	42
Figura 14: Estructura típica de pavimentos asfálticos.	50
Figura 15: Comparación del trabajo de adhesión.	64
Figura 16: Comparación del trabajo de adhesión.	66
Figura 17: Prueba de normalidad para datos de trabajo de adhesión.	68
Figura 18: Resumen de la prueba de hipótesis trabajo de adhesión.	69
Figura 19: Prueba de normalidad para datos de trabajo de cohesión.	71
Figura 20: Resumen de la prueba de hipótesis para datos de trabajo de adhesión	72
Figura 21: Prueba de normalidad para datos de energía superficial libre.	73
Figura 22: Resumen de la prueba de hipótesis para datos de energía superficial libre.	74

RESUMEN

En la presente tesis se ha planteado como problema general: ¿De qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?, siendo el objetivo general: Determinar de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022. Y con la hipótesis general: La energía superficial libre del cemento asfáltico aumenta la cuantificación de la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022. El método de la investigación es cuantitativo, de tipo aplicado, de nivel experimental de diseño de investigación transversal correlacional – causal. El propósito de la investigación se basará a los resultados obtenidos de acuerdo a las variables: Energía superficial libre del cemento asfáltico, Interfases de adhesión como resultado se obtuvo en el trabajo de adhesión entre la cantera de Apata y cemento asfáltico 32.30 ergs/cm² y entre la cantera de Pilcomayo y cemento asfáltico 42.59 ergs/cm² y en la evaluación del trabajo de cohesión entre la cantera de Apata y cemento asfáltico 49.38 ergs/cm² y entre la cantera de Pilcomayo y cemento asfáltico 62.48 ergs/cm², finalmente se concluyó que entre el trabajo de cohesión y trabajo de adhesión entre el agregado-cemento asfáltico la cantera de Pilcomayo tienen mayor desempeño con un porcentaje de variación de 0.32% por ello se reafirma este presenta mayor adherencia al realizar las mezclas asfálticas.

PALABRAS CLAVES: Cemento asfáltico, energía, adhesión, pavimento.

ABSTRACT

In this thesis, the general problem has been raised: How does the surface free energy of asphalt cement intervene to quantify the adhesion at the interfaces of a pavement in the province of Huancayo 2022? The general objective being: To determine how the free surface energy of asphalt cement intervenes to quantify the adhesion at the interfaces of a pavement in the province of Huancayo 2022. And with the general hypothesis: The free surface energy of asphalt cement increases the quantification of adhesion at the interfaces of a pavement. Pavement in the province of Huancayo 2022. The research method is quantitative, of an applied type, with an experimental level of correlational-causal cross-sectional research design. The purpose of the investigation will be based on the results obtained according to the variables: Free surface energy of the asphalt cement, Adhesion interfaces as a result was obtained in the adhesion work between the Apata quarry and asphalt cement 32.30 ergs/cm² and between the Pilcomayo quarry and asphalt cement 42.59 ergs/cm² and in the evaluation of the cohesion work between the Apata quarry and asphalt cement 49.38 ergs/cm² and between the Pilcomayo quarry and asphalt cement 62.48 ergs/cm², it was finally concluded that between the work of cohesion and work of adhesion between the aggregate-asphalt cement in the Pilcomayo quarry have higher performance with a variation percentage of 0.32%, which is why it is reaffirmed that it has greater adherence when making asphalt mixtures.

KEY WORDS: Asphalt cement, energy, adhesion, pavement.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: “ENERGIA SUPERFICIAL LIBRE DEL CEMENTO ASFALTICO PARA CUANTIFICAR LA ADHESIÓN EN LAS INTERFASES DE UN PAVIMENTO EN HUANCAYO 2022”, nace de la problemática de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

Las mezclas asfálticas empleadas en estructuras de pavimento son materiales porosos que resultan de la combinación de agregados y cemento asfáltico. La resistencia y durabilidad de una mezcla asfáltica depende en gran medida de la calidad de la adhesión entre el cemento asfáltico y los agregados. A su vez, la adhesión entre estos dos materiales es función de su composición mineralógica y química, de la morfología de los agregados y de las condiciones en las que se realiza la mezcla. Cuando estas condiciones no son apropiadas (muy bajas o altas temperaturas, agregados húmedos o recubiertos con material granular fino), o cuando la compatibilidad entre las propiedades químicas y físicas de los componentes de las mezclas es inapropiada, la adhesión entre los materiales será deficiente, así como su desempeño en obra.

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

EL CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se detalla el planteamiento del problema, el problema general, los problemas específicos, el objetivo general, los objetivos específicos de la investigación, la justificación de la investigación y las limitaciones de la investigación.

EL CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Se desarrolla los antecedentes internacionales, nacionales de la investigación, el marco teórico, las bases teóricas, las definiciones conceptuales, formulación de hipótesis general y específica.

EL CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se detalla la metodología empleada de la investigación, las variables independiente y dependiente, el método, el tipo, el diseño de la investigación, la población, la muestra y la operacionalización de variables.

EL CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Presenta el desarrollo de los resultados donde se realiza los resultados obtenidos en el laboratorio y su proceso de cálculo para su análisis representativo.

EL CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se presenta la discusión de resultados.

Bach. Paredes Mendoza, Indira Kari

Bach. Paredes Mendoza, Augusto Alan

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A nivel internacional uno de los principales problemas es el daño por humedad en los pavimentos debido a que presenta mayor incidencia en la funcionalidad de los mismos, disminuyendo serviciabilidad y encareciendo totalmente los costos de mantenimiento, por ello se determinará de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión de las mezclas asfálticas en los pavimentos flexibles debido a que están relacionadas al comportamiento entre los agregados pétreos y la adhesión entre estos, por lo que este proceso de endurecimiento de la mezcla asfáltica en caliente se realizara mediante un análisis más enfático para obtener un mejor comportamiento y durabilidad de los pavimentos flexibles. (Figueroa Infante, 2018)

A nivel nacional en el Perú posee una variedad de climas por la presencia de la cordillera de las Andes, ocasionando diferentes problemas y fenómenos en nuestra vía, por lo que la resistencia y durabilidad de una mezcla asfáltica depende en gran medida de la calidad de la adhesión entre el cemento asfáltico y los agregados; a su vez de la adhesión entre estos dos materiales en relación a su composición mineralógica, química y por algunas condiciones en las que se realiza la mezcla, sin embargo cuando estas condiciones no son apropiadas (muy bajas o elevadas temperaturas, agregados húmedos o recubiertos con material granular fino), o cuando la compatibilidad de los componentes de la

mezcla es inapropiada, donde la adhesión entre los dos materiales será deficiente; así como en su desempeño en obra, es por ello que en la construcción de estos pavimentos se debe tener en cuenta los diferentes controles en la construcción de pavimentos flexibles.

En la ciudad de Huancayo se presentan varios métodos para moderar el daño que es ocasionado por la humedad, al igual que en la etapa de producción como en la fase constructiva, cuyo objetivo es determinar de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo, para poder encontrar un mejor comportamiento de las mezclas asfálticas de los agregados pétreos y el PEN permitirá uniformizar mejor la película asfáltica en toda la combinación de agregados logrando mantener una mezcla uniforme y durable.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo varía el trabajo de adhesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?
- b) ¿Cómo interviene el trabajo de cohesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?
- c) ¿Cómo altera la energía superficial de agregado pétreo en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación práctica

El aspecto práctico corresponde si la investigación que resolverá un problema real y de ser el caso tenga relación con otros problemas prácticos (Hernández, Fernández, & Lucio, 2006).

La justificación práctica permitirá mejorar la durabilidad de los pavimentos flexibles construidas con mezclas asfálticas en caliente para poder garantizar una durabilidad logrando así poder optimizar los recursos y el ligante asfáltico que puedan cumplir las necesidades de la población afectada por el deterioro de estas vías.

1.3.2. Justificación científica

Según Carrasco (2006), se sustenta en que los resultados de la investigación podrán generalizarse e incorporarse al conocimiento científico y además sirvan para llenar vacíos o espacios cognoscitivos existentes.

La justificación teórica se da por el manual de diseño geométrico de carreteras y el manual de ensayos de materiales la cual nos permitirá determinar valores que obtengan parámetros que garanticen la durabilidad del pavimento. Dicho manual estipula los requerimientos mínimos que tiene que cumplir una mezcla asfáltica endurecida en relación a la superficie.

1.3.3. Justificación metodológica

Según (Bernal, Blanco, & Villalpando, 2010), una investigación se justifica metodológicamente cuando se propone o desarrolla un nuevo método o estrategia que permita obtener conocimiento válido o confiable.

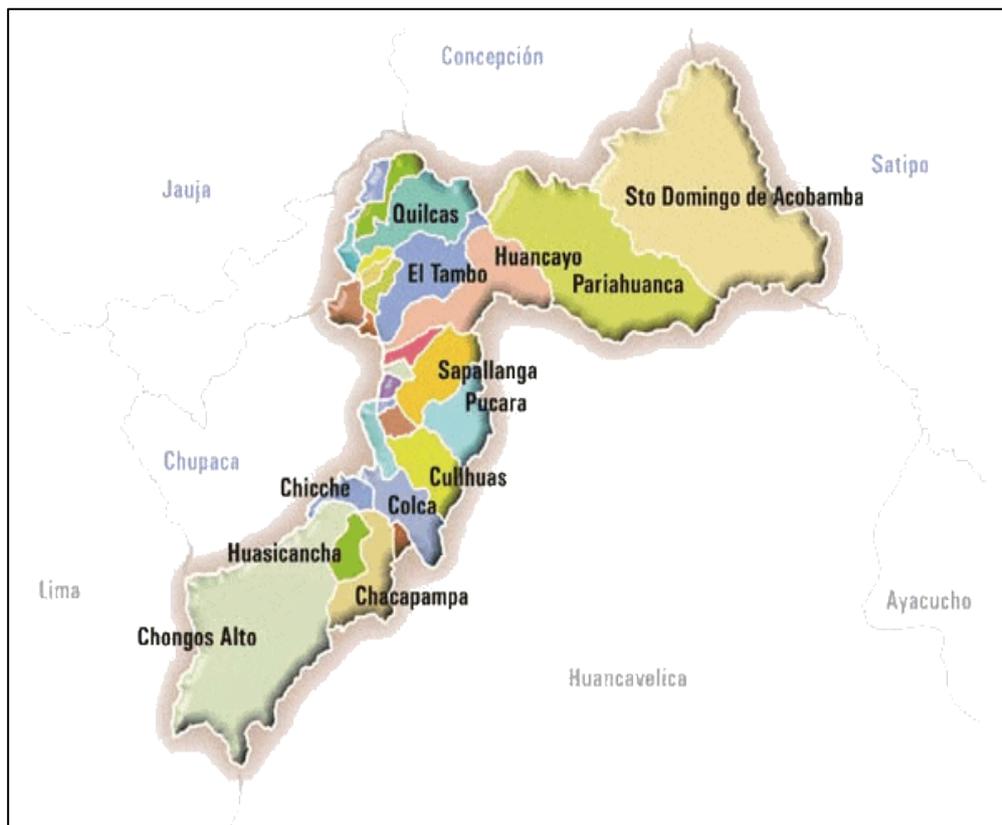
Con la presente investigación se pretende dejar una forma metodológica que nos ayude en cuanto a evaluar y mejorar los instrumentos en la recolección de datos, y la cual corresponde a la observación en qué grado de correlación de los agregados pétreos y el ligante en las fichas para el reporte de los resultados obtenidos, dichas fichas servirán como

un antecedente que pueden ser utilizados en futuras investigaciones, relacionadas a la durabilidad de los pavimentos flexibles.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Delimitación espacial

La presente tesis se desarrolla en la Provincia de Huancayo, en la Región Junín.



Fuente: Elaboración propia.

1.4.2. Delimitación temporal

El desarrollo de esta investigación propuesta se lleva a cabo en el año 2020 con desarrollo en el 2021.

1.4.3. Delimitación económica

Esta investigación presenta una delimitación económica ya que el financiamiento fue con recursos propios, que permitió obtener resultados de los ensayos.

1.4.4. Delimitación conceptual

El tema de investigación estará regido por las normas y condiciones establecidas en el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para lo cual se realizará estudios a agregados de procedencia de ríos y canteras para poder determinar el grado de correlación sobre sus propiedades mineralógicas de los agregados pétreos, determinando así el comportamiento a largo plazo del pavimento flexible.

1.5. Limitaciones

No se ha encontrado muchos libros específicos sobre la energía superficial libre del cemento asfáltico a nivel nacional por lo que se recurrió a material de otros países y a algunas tesis realizadas en el país.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Determinar de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la variación del trabajo de adhesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.
- b) Evaluar la intervención del trabajo de cohesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.
- c) Determinar la alteración de la energía superficial de agregado pétreo en la energía superficial libre del cemento para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

a. Tesis internacionales

(Alvarez & Ovalles, 2018) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Análisis de sistemas asfalto-agregado a partir de mediciones de energía superficial libre”, el cual fija como **objetivo general:** Analizar, las mediciones de ESL de los materiales constitutivos de las mezclas asfálticas, mediante el cual se puede cuantificar la calidad de la adhesión, empleando la **metodología:** Cuantitativa con un tipo de investigación Aplicada de nivel Explicativo con un diseño Experimental, obteniendo como **resultado:** Sugieren que la medición de la ESL de

asfaltos y agregados es una herramienta eficiente para evaluar la compatibilidad y el desempeño esperado de diversos sistemas asfalto-agregado, así como los cambios inducidos a nivel fundamental por diferentes procesos propios de la fabricación de mezclas asfálticas, y finalmente **concluyo:** Mencionando que cada componente de la mezcla asfáltica puede influenciar de manera decisiva su desempeño y durabilidad.

(Ontiveros Rojas, 2018) presento la tesis de posgrado **Titulado:** “Evaluación de la adhesión entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones”, el cual fija como **objetivo general:** Evaluar la capacidad de adherencia de distintas emulsiones asfálticas que se emplean como material de liga entre las capas de pavimento, empleando la **metodología:** Cuantitativa con un tipo de investigación Aplicada de nivel Explicativo con un diseño Experimental, obteniendo como **resultado:** la temperatura nos resulta más adherencia a una de 25°C que una de 40°C y corresponde conforme a la Norma de Emulsiones de la SCT, y finalmente **concluyo:** Mencionando que si hay daño en el riego de liga por el poro ya que la arena absorbe casi en un ochenta por ciento de riego de liga y carece de adherencia y entre más fina sea la arena absorbente mucho más.

(Cely Leal, 2018) presento la tesis de posgrado **Titulado:** “Estudio de la adhesión y cohesión de tres tipos de agregados pétreos utilizados en Bogotá-Colombia con Asfalto 60-70”, el cual fija como **objetivo general:** Evaluar y analizar estructuralmente los pavimentos rígidos existentes en el estado de Chihuahua, se pretende encontrar las causas que originaron las fallas, empleando la **metodología** Cuantitativa con un tipo de investigación, Aplicada de nivel Explicativo, obteniendo como **resultado:** El trabajo adhesivo en la interface fue relativamente alto, por lo que, en comparación con los otros agregados estudiados fue el de mejor comportamiento al ser afectado por la humedad, y finalmente **concluyo:** Las interfaces de las uniones asfalto-agregado que presentan altos valores de trabajo adhesivo,

están asociados con mezclas con mayor vida en fatiga, ya que están menos propensas a generar grietas internas.

(Chen Tan & Tan, 2018) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Determinación de la propiedad de adhesión de asfaltos modificados con distintos tipos de polímeros en diferentes agregados y acondicionamientos”, utilizando las técnicas de ensayos de adherencia de Bitumen y Goniometría”, el cual fija como **objetivo general:** Estudio la propiedad de adhesión de asfaltos modificados sobre diferentes agregados tanto en acondicionamiento seco y húmedo, empleando la **metodología:** Cuantitativa con un tipo de investigación Aplicada de nivel Explicativo, obteniendo como **resultado:** que el asfalto tiene una buena adhesión es el asfalto modificado con el polímero TER debido a que presenta mayor valor de POTS con respecto a los demás asfaltos en todas las condiciones evaluadas, y finalmente **concluyo:** Mencionando que el asfalto modificado con TER presenta un mayor afinidad en comparación con los demás asfaltos debido a que valores de ángulo de contacto obtenidos fueron los más bajos.

(Alvarez Lugo & Caro Spinel, 2019) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Determinación de la energía superficial libre de cementos asfálticos colombianos”, el cual fija como **objetivo general:** Estudiar los resultados de las mediciones de ESL de los principales cementos asfálticos colombianos (Barrancabermeja y Apiay) empleados en la producción de mezclas asfálticas, empleando la **metodología** Cuantitativa con un tipo de investigación Aplicada de nivel Explicativo con un diseño Experimental, obteniendo como **resultado:** Que la resistencia a la fractura evaluada en términos de la calidad de la adhesión en ausencia de agua en la interface de los agregados considerados y cementos asfálticos colombianos es similar a la resistencia de interfaces compuestas por los cementos asfálticos extranjeros considerados en este estudio, y finalmente **concluyo:** Mencionando LA forma preliminar que el efecto de un llenante mineral específico sobre la ESL del cemento asfáltico es particular para cada ligante.

b. Tesis Nacionales

(Tacca Cutipa & Supo Pacori, 2018) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Efecto de mejoradores de adherencia en la estabilidad y flujo MARSHALL de mezclas asfálticas”, el cual fija como **objetivo general:** Explicar el efecto de tres aditivos mejoradores de adherencia en la estabilidad, flujo y la relación estabilidad/flujo Marshall de mezclas asfálticas en caliente diseñadas con el método Marshall, empleando la **metodología:** En el presente trabajo de investigación es Descriptivo y Explicativo, obteniendo como **resultado:** El flujo Marshall varía en función al tipo de aditivo, éste puede incrementarse o disminuir para contenidos del 0,3 al 1,0% de aditivo mejorador de adherencia, y finalmente **concluyo:** Mencionando sobre la relación estabilidad/flujo Marshall para dosis de 0,3 a 0,9% de los tres aditivos mejoradores de adherencia analizados no es afectada significativamente, presentando valores dentro del rango aceptable de 1700 a 4000 Kg/cm del índice de rigidez o relación estabilidad/flujo Marshall.

(Leguia Loarte, 2018) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)”, el cual fija como **objetivo general:** Realizar la evaluación superficial del pavimento flexible de las vías mencionadas aplicando el método Pavement Condition Index (PCI), con el fin de conocer la condición del pavimento flexible existente, empleando la **metodología:** se observa detalladamente que el 8% de las unidades de muestra se encuentran en MUY BUEN estado, el 44% en REGULAR estado, el 20% en estado MALO, el 23% de pavimentos en estado MALO, y el 5% en estado MUY MALO, obteniendo como **resultado:** La evaluación PCI se ha tenido un promedio de índice 43.70 por lo que se recomienda darle solución a las fallas hallada, y finalmente **concluyo:** Con la aplicación de la metodología Pavement Condition Index (PCI) se puede clasificar el estado de conservación en el que se encuentran los pavimentos flexibles, así como también el tipo de fallas que presentan.

(Morante Moscol, 2018) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Evaluación de la adherencia entre la concha de abanico y el ligante asfáltico”, el cual fija como **objetivo general:** Determinar el porcentaje de adherencia entre el ligante bituminoso y una muestra representativa del agregado grueso que se va a utilizar en un pavimento, empleando la **metodología:** En el presente trabajo de investigación es Descriptivo y Explicativo, obteniendo como **resultado:** Se ha verificado que la concha limpia y sin triturar tiene una buena adhesividad con el ligante asfáltico PEN 60-70 comercializado en Piura, con índices de adhesividad según el ensayo Riedel Weber de 9 y 10, y finalmente **concluyo:** Mencionando que la adherencia es punto de partida para evaluar las alternativas de reemplazo de agregados en mezclas asfálticas, se puede afirmar que, desde este criterio, los residuos de concha de abanico tienen gran potencial para ser usados como agregados en mezclas asfálticas por su buena adhesividad con el ligante.

(Pinco Palcios, 2019) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Control de calidad en la formulación de asfalto en caliente para el primer tramo Quinua- Challhuamayo, del distrito del Tambo, provincia La- Mar, departamento de Ayacucho”, el cual fija como **objetivo general:** Evaluar el comportamiento de la Mezcla Asfáltica en Caliente empleada en la carretera del Tramo Quinua- Challhuamayo, del Distrito del Tambo, de la Provincia La Mar, de Ayacucho, empleando la **metodología:** El presente proyecto fue realizado desde un enfoque cuantitativo, cuyo tipo de investigación es experimental, obteniendo como **resultado:** Se determinó experimentalmente que niveles de cemento asfáltico para la mezcla de 5.50 %, 6.0 %, 6.5 % y 7.0%, proporciona una estabilidad con rango de variación de 924 a 948.67 kg; valores de flujo con rango de variación de 2.67 a 3.57 mm; un porcentaje de vacíos en la mezcla que oscilan de 3.02 a 3.20, y finalmente **concluyo:** Mencionando que una razón de estabilidad/flujo que oscila de 2659.81 a 3465.00, en todos los casos los resultados

obtenidos, se encuentran dentro de los rangos establecidos en los límites de Control de la Norma Marshall.

(Ulloa Rodriguez & Ulloa Velasquez, 2020) presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Estado superficial del pavimento flexible mediante la aplicación del método PCI en la avenida metropolitana II, tramo entre Av. Mansiche y Av. Micaela bastidas, la Libertad 2020”, el cual fija como **objetivo general:** Determinar el estado superficial del pavimento flexible en la avenida Metropolitana II, tramo entre Av. Mansiche y Av. Micaela Bastidas, mediante el método PCI del pavimento, empleando la **metodología** En el presente trabajo de investigación es Descriptivo y Explicativo, obteniendo como **resultado:** Se definió el tipo de muestreo para el cual se ha considerado la elección de muestras aleatorias, contemplando así un total de 24 muestras, el área de las muestras oscila entre 229.28 y 324.23 m², y finalmente **concluyo:** El pavimento flexible de la Av. Metropolitana II resultó siendo malo, lo que involucra que tomemos en cuenta las fallas más recurrentes, las cuales son en primer lugar Pulimiento de agregados con una recurrencia de 18%.

2.2. Marco conceptual

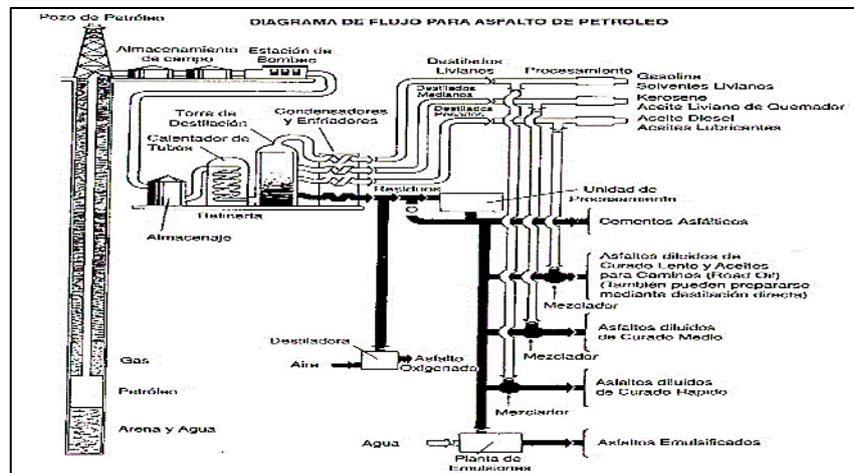
2.2.1. Asfalto

(Manual de Carreteras, 2013) Nos menciona que según la ASTM standard D8 se le conoce al asfalto como un elemento aglomerante denso o semidenso, es de color que cambia de color negro hasta pardo oscuro y que al calentarse el material se ira poniendo en un estado más líquido, los componentes que le conforman son betunes que se dan en la naturaleza de forma sólida y es el producto de la destilación del petróleo.

(Caso Quispe & De la Cruz Gutierrez, 2021) Indica que el asfalto es una mezcla de hidrocarburos y al estar en conjunto consiguen propiedades termoplásticas, cuyo nivel de consistencia cambia de solido a semisólido cuando se encuentra en temperatura ambiente. El asfalto también

puedes producirlo el hombre en una planta de refinería con la destilación del petróleo crudo.

Figura 1. Grafico del proceso del petróleo para la obtención de cemento asfáltico.



Fuente: principio de construcción de Pavimentos de Mezcla asfáltica del Asphalt Institute-serie de manuales N°22

2.2.2. Características

(Caso Quispe & De la Cruz Gutierrez, 2021) Nos menciona las siguientes características del asfalto:

- **Aglomerante**

El asfalto tiene una variación respecto a la viscosidad ya que depende de la temperatura en que se encuentre, de tal manera que, si la temperatura aumenta, el asfalto llegará a convertirse en una sustancia un poco más fluida por lo tanto podrá adherirse o juntarse con facilidad a los agregados y de paso actúa como un aglomerante. Cuando el asfalto se enfría su propiedad de aglomerante aumenta ya que la superficie de contacto entre partículas se incrementa con la compactación, de tal manera el resultado que obtenemos es de la mezcla asfáltica con algunas características particulares para la construcción de las diferentes capas que lo conforman. (2021, pág. 13)

Figura 2. Consistencia del asfalto.



Fuente: sitio web- asfalto: tipos, propiedades, componentes y usos

- **Estabilizante**

Cuando se utiliza el asfalto con la finalidad de obtener elementos estabilizantes con materiales granulares se logrará, ya que actúa igual que el cemento y la cal. (2021, pág. 13)

Figura 3. Asfalto utilizado como estabilizante.



Fuente: sitio web-civilgeeks

- **Impermeabilizante**

Cuando se cubre con el asfalto los materiales granulares se obtiene una capa permeable lo cual impide que el agua pueda ingresar, y se logra rellenar los huecos que se dejaron por estos, logrando obtener así elementos impermeables. (2021, pág. 13)

Figura 4.Asfalto utilizado como impermeabilizante.



Fuente: sitio web-sucesor confiable en la construcción

- **Trabajabilidad**

Cuando el asfalto es calentado se convierte en un material trabajable que se convierte en una sustancia de fácil de mezclar y compactar. (2021, pág. 13)

- **Resistencia a los agentes atmosféricos**

Las mezclas asfálticas no generan compuestos contaminantes por lixiviación ya que el material es insoluble al agua. La evaporización de sus componentes más volátiles y la oxidación hacen que dicho asfalto disminuya la tenacidad y perderá se volverá más frágil por lo tanto será necesario tener su envejecimiento que fue causado por la acción de oxígeno del aire y los rayos ultravioleta. (2021, pág. 13)

2.2.3. Tipos de asfalto

- **Asfalto sólido**

Como manifiesta (Caso Quispe & De la Cruz Gutierrez, 2021) estos asfaltos se utilizan en mezclas calientes para utilizarlo en la construcción de los pavimentos asfálticos ya que cuenta con propiedades aglomerantes e impermeabilizantes que a su vez brinda durabilidad, resistencia y flexibilidad, esta clase de asfalto está recomendado para realizar la construcción de carreteras formando parte de la capa estructural de la vía con la finalidad de brindar

flexibilidad, impermeabilidad y durabilidad en presencia de una serie de agentes externos.

Figura 5.asfalto en estado sólido.



Fuente: página web-ASFALTOS CAMPAMY

▪ **Asfalto líquido**

Al realizar la dilución de cemento asfáltico con algún solvente derivado del petróleo nos resulta un líquido tipo Cutback, se dice que el cemento asfáltico se puede diluir con el agua con la ayuda de la adición de un emulsionante donde se obtendrá una emulsión asfáltica. (Caso Quispe & De la Cruz Gutierrez, 2021)

Figura 6.asfalto en estado líquido MC-30.



Fuente: sitio web-MULTINSA

2.2.4. Refinación de asfalto

Empleando las palabras de (Rolando Franco, 2016) el asfalto tiene diferentes usos, se dice que los refinadores del crudo cumplen algunos requisitos para poder controlar cada uno de sus propiedades, eso se lograra con la combinación de varas clases de petróleo antes de procesarlos. Se dice que existen dos procesos para producir asfalto después de haber mezclado los crudos del petróleo:

- La destilación de vacíos

Este proceso consiste en realizar la separación del crudo con la ayuda del calor y vacío.

- Extracción con solventes

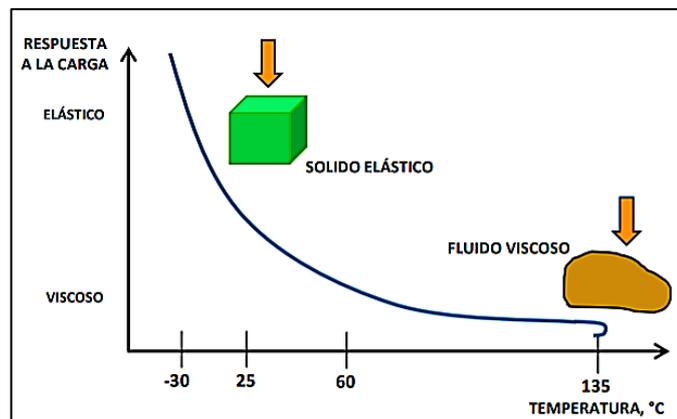
Según este proceso de remover gasóleos del crudo para lograr un asfalto residual.

Después de realizar dichos procesos ya mencionados serán combinaos entre si es ciertas dosificaciones para que se pueda obtener grados intermedios de asfaltos. (2016, pág. 14)

2.2.5. Cementos asfálticos

Como manifiesta (Yucely, 2014) el cemento asfaltico es un elemento denso o semidenso es de color negro, después de estar en un proceso de calentamiento se vuelve liquido está constituido por hidrocarburos que son el resultado de la refinación del petróleo.

Figura 7: Comportamiento del cemento asfaltico en estado visco-elástico.



Fuente: (Cemento Asfáltico, 2014)

El cemento asfáltico está constituido por los siguientes elementos:

- **Asfaltenos**

Mezcla mayor peso molecular, este compuesto le da la consistencia al asfalto.

- **Maltenos**

Se componen a base de resinas y aceites, le dan elasticidad al asfalto (2014, pág. 37)

Como menciona (Rosado Sanz, 1999) el cemento asfáltico es conocido como un líquido espeso que se utiliza al momento de preparar una mezcla asfáltica en caliente, realizados con los restos de la purificación dividida del petróleo que está crudo y aceites aromáticos. El cemento asfáltico de petróleo se depura por la purificación al vapor de los restos que tienen más peso al ser dividido. Se seguirá con la purificación hasta poder obtener una penetración requerida. En el caso de la penetración se podrá calcular por la porción de aceites fluxantes que se conservan hasta el final del proceso, el uso del vapor en el momento del refinado es para que los volátiles que tienen gran peso deban ser independizados, pero sin que la temperatura aumente demasiado porque si aumenta la ductilidad reducirá.

Se dice que el cemento asfáltico deberá ser calentado para obtener una fluidez y trabajabilidad, a diferencia de otros materiales asfálticos donde su docilidad está en base de los elementos volátiles, los agentes fluxantes dan ductilidad al asfalto hasta lograr que el agregado y el ligantes estén combinados, pero no serán utilizados siempre.

Teniendo en cuenta a (Fajardo Cachay & Vergaray Huaman, 2014) el cemento asfáltico se clasifica en los siguientes sistemas:

- Penetración
- La viscosidad antes del envejecimiento
- La viscosidad después del envejecimiento

El cemento asfáltico se alista para ponerlo en venta según grados de consistencia según el ensayo de penetración.

Según (Dokumen.tips, 2002) nos presenta los tipos de cemento asfáltico según la medida de la penetración:

- **AC 40-50**

En este tipo de cemento asfáltico se podrá realizar una penetración de 40 a 50 décimas de milímetros, este grado es el más denso y contiene una consistencia de tal manera que el dedo solo le producirá una huella ligera.

- **AC 60-70**

Es un cemento asfáltico que tiene una penetración entre 60-70 décimas de milímetro.

- **AC 85-100**

Este cemento asfáltico es el más utilizado en el pavimento asfáltico, tiene una penetración de 85-100 décimas de milímetro.

- **AC 120-150**

Es el cemento de que obtiene una penetración de 120 a 150 décimas de milímetro.

- **AC 200-300**

Este cemento asfáltico son conocidos como los más blando y tiene de 200 a 300 décimos de milímetro de penetración.

2.2.6. Características físicas del cemento asfáltico

a) Los grados de viscosidad del cemento asfáltico

Esta es aquella clasificación muy extensa en la que el cemento asfáltico se basa en la viscosidad a una temperatura de 60°C, ASSHTO M226 especifica dos especificaciones del cemento asfáltico, CA y AR. La primera quiere decir en desarrollar pruebas al cemento asfáltico en el estado como es producto, por lo que quiere decir antes de ubicarlo. La segunda nombra al ensayo del cemento asfáltico luego de que se logra haber sujetado. Durante el proceso de la fijación simula endurecer del cemento asfáltico durante el proceso de la construcción. Los contenidos de la viscosidad y de la penetración eran activos en sostener la calidad; pero los ensayos desarrollados para los contenidos no se lograrían usar para

relacionar la calidad del cemento asfáltico con la función del pavimento. (Chávarri M., 2007)

b) Grados del funcionamiento de los cementos asfáltico

Algunos valores del sistema del grado en función indican la gama de su utilización de temperatura del cemento del asfalto como PGhh-11, donde la PG indica el contenido del grado del funcionamiento, hh indican la utilización de elevada temperatura para el cemento del asfalto los grados centígrados, y donde señala la denominación de la poca temperatura para el cemento del asfalto en grados centígrados. (Chávarri M., 2007)

▪ **Cemento asfáltico líquido**

Para (Chávarri M., 2007) la construcción no se llega a calentar el cemento asfáltico a 155°C dos de los métodos se han realizado para disminuir el cemento asfáltico a un estado líquido el cual son: reducciones y emulsiones.

- ✓ Las reducciones del asfalto son aquella mezcla del cemento del asfalto y aquel producto del combustible veloz, medio y lento en la cual las restricciones logren ser formuladas disolviendo el asfalto con gasolina, diésel y petróleo.
- ✓ Las emulsiones son una opción para realizar un asfalto líquido. Las emulsiones del asfalto son producidas utilizando un molino coloidal desarrollando el cemento del asfalto los “glóbulos” en la cual introducen en el agua que se ha realizado con un agente emulsionando. El agente emulsionado es aquel material en la cual considera a los glóbulos del cemento asfáltico y continuar sumergidos en el agua. (pág. 17)

2.2.7. Clasificación de los cementos asfálticos

De acuerdo con (Medina Ramirez, 2003) los cementos asfálticos se llegan a clasificarse o dividirse bajo los tres partes las cuales menciona a continuación.

a) Viscosidad

Es aquel sistema en la cuál es el más utilizado en la siguiente tabla 1 se muestra el sistema en forma de tablas. En el sistema de viscosidad el poise es aquella unidad normal de la medición para la viscosidad total. Basándose a la tabla 1 por el cual se detalla cuanto más elevado es el número de poises más viscoso es el asfalto. (pág. 7)

Tabla 1: Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad a 60°C.

Prueba	Grado de viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60° poises	250-50	500 +/- 100	1000 +/- 200	2000 +/- 400	3000 +/- 600	4000 +/- 800
Viscosidad 135 Cs- mínima	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos – mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto inflamador, cleveland. °C(°F)- mínimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en tricloroetileno, por cierto-mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Perdida por calentamiento, por ciento máximo (opcional)		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60° C, poises – máximos	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm mínimo	100	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					

Solvente de nafta – xileno, % xileno	Negativo para todos los grados
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

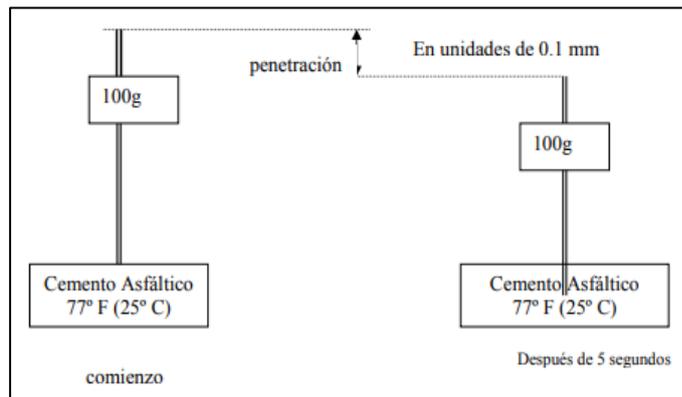
b) Viscosidad después del envejecido

La idea es nombrar cuáles son algunas propiedades de viscosidad luego de que se ha ubicado o colocado el asfalto en el pavimento. Así poder simular el envejecimiento que se ocasiona en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto logra ser ensayado en el laboratorio usando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda luego del envejecimiento es dividido luego según su viscosidad. Una vez más la unidad normal de medición es el poise. (pág. 7)

c) Penetración

El tercer método más utilizado para clasificar o dividir los asfaltos es el de penetración, en la figura 2 se detalla cómo se desarrolla el ensayo de penetración. Una aguja normal se llega a penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La longitud que la aguja penetra en la muestra en un periodo determinado es medida en décimas de milímetro. El grado de 200-300 señala que la aguja penetró en la muestra, en pocas condiciones específicas, de 200 a 300 décimas milímetro. Esto se debe a la señalización de un asfalto flexible. Un grado 40-50, en otra manera es señalización de un asfalto duro por el que la aguja llega a ser capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro. En la tabla 2 detalla los diferentes grados que son considerados bajo este sistema. (pág. 9)

Figura 8: Diagrama de la Prueba de Penetración.



Fuente: “Aplicaciones de las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluidos en mezclas asfálticas en frío utilizando agregados del río Aguaytía – Ucayali”- Medina Ramírez, Víctor Hugo- 2003.

Tabla 2: Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad a 60°C.

	GRADO DE PENETRACIÓN									
	40-50		60 –70		85 – 100		120 – 150		200 – 300	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto inflamador, cleveland, °C	450	---	450	---	450	---	425	---	350	---
Ductilidad 25° C, 5 cm por minuto	100	---	100	---	100	---	100	---	---	---
Solubilidad de triclorotileno, por ciento	99	---	99	---	99	---	99	---	99	---
TFO 3.2 mm, 63° C, 5 horas										
Perdida por calentamiento, Por ciento	---	0.8	---	0.8	---	1.0	---	1.3	---	1.5
Penetración del residuo, Por ciento del original	58	---	54	---	50	---	46	---	40	---
Ductilidad del residuo a 25°	---	---	50	---	75	---	100	---	100	---

C. 5 cm por min., cm	
Prueba del mancha (cuando y como se especifica) (ver nota) :	
Solvente normal del nafta	Negativo para todos los grados
Solvente de nafta – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados
Solvente de heptano – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

2.2.8. Propiedades del cemento asfáltico

Según (Yucely, 2014) las propiedades del cemento asfáltico son las siguientes:

a) Consistencia

Es cemento asfáltico es un elemento termoplástico por tal es importante hallar su grado de fluidez a una temperatura determinada, por tal motivo cuando se considera realizar una comparación se deber tener en cuenta una temperatura referencial (Yucely, 2014, pág. 38).

b) Pureza

El cemento asfáltico este compuesto de betunes dicho material son solubles en bisulfuro de carbono si existiese algunas impurezas se dice que son inertes (Yucely, 2014, pág. 38).

c) Seguridad

Según las normas el asfalto no debe contener espuma en las temperaturas de 175°C, cuando el cemento está a altas temperaturas altas provocan que salguen vapores que pueden arder con una sola chispa (Yucely, 2014, pág. 38).

2.2.9. Ensayos del cemento asfáltico

a) Peso específico

No es necesario hallar el peso específico del cemento asfáltico, pero si se deberá saber porque el cemento al ser expandido cuando está caliente y se vuelve denso cuando está frío, por tal se deberá conocer su peso específico para poder calcular el % de vacíos del pavimento que está compactado (Yucely, 2014, pág. 40).

Tabla 3: Requisitos de los Cementos Asfálticos Según especificaciones del MTOP.

Ensayos	60-70		85-100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Viscosidad a 135°C Saybolt-Furil, SSF	100	---	85	---
Penetración (24°C, 100gr, 5s) mm/10	60	70	85	100
Punto de aflojamiento A Y B, C°	48	57	45	63
Índice de penetración	-1.5	+ 1.5	-1.5	+1.5
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %	---	0.2	---	0.2
Solubilidad en tricloroetileno, %	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa cleveland, °C	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C	1.00	---	1.00	---
Ensayo de mancha	Negativo		Negativo	
Contenido de parafinas, %	---	2.2	---	2.2

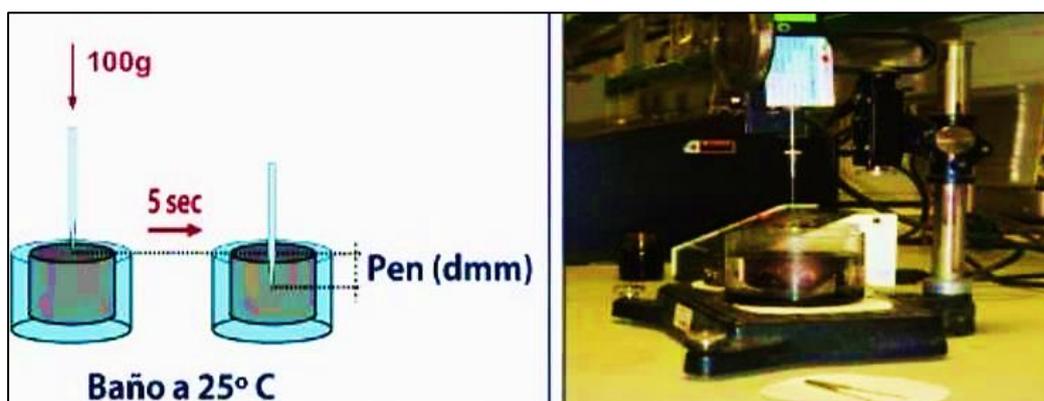
Fuente: “Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)” – Maila Paucar, Manuel Elías-2013.

b) Penetración

La prueba de Penetración, ayuda a calcular la dureza relativa de los cementos asfálticos (Yucely, 2014, pág. 40).

Como manifiesta (Castro Mariño, 2017) la prueba de penetración este definido como la longitud que se determina en unidades decimas milímetros hasta lograr que una aguja que ya este normalizada pueda penetrar perpendicularmente en la muestra según las condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura; antes de todo la muestra se debe colocar en baño María a una temperatura de 60°C, la prueba se hace a una temperatura de 25°C con un tiempo de 5 de segundos, la aguja ya tiene incluido una carga de 100 gramos aunque eso podría variar pero se deberá antes.

Figura 9: Prueba de penetración.



Fuente: (Castro Mariño, 2017)

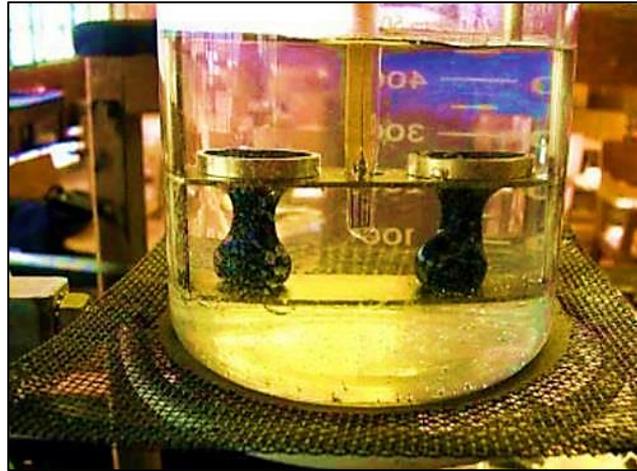
c) Punto de Ablandamiento o Anillo y bola

Este ensayo nos ayuda a calcular el punto de ablandamiento de los asfaltos se emplea para poder dar a conocer en que grado de susceptibilidad mediante la modificación del proceso y con los equipos necesarios (Yucely, 2014, pág. 40).

(Castro Mariño, 2017) nos menciona que el ensayo de punto de ablandamiento consiste en realizar dicho ensayo con materiales bituminosos a una temperatura de 30-157°C con el uso del equipo de anillo bola, que se coloca en el agua destilada a una temperatura de 30-80°; los 2 discos que se encuentran en una posición horizontal con productos bituminosos que cuentan con anillos de material de bronce

deben estar a una alta temperatura en un baño de paso cada uno de ellos soportara una bola de acero; el resultado para obtener un punto de ablandamiento será la media de las temperaturas obtenidas, lo cual ocasiona el ablandamiento de 2 discos para que cada una de las bolas que se encuentran envueltas con producto bituminosos puedan caer de una longitud de 25 milímetros o de 1 pulgada.

Figura 10: *Ensayo de punto de ablandamiento.*



Fuente: (Evaluacion de la capacidad estructural de una mezcla asfaltica tibia MDC-19 utilizando aditivo modfficadores de viscosidad., 2017)

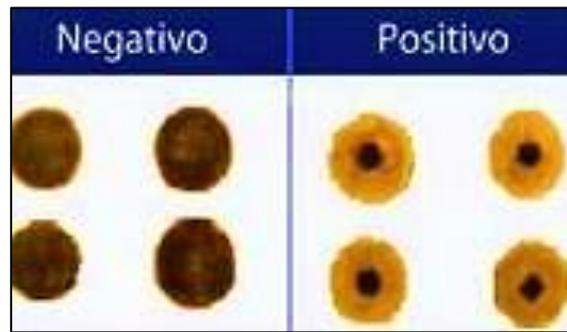
d) Solubilidad

Con este ensayo se podrán determinar la pureza del cemento, Esta prueba determina la pureza del Cemento Asfáltico. La parte densa es bisulfuro de carbono simboliza constituye los activos de cementación (Yucely, 2014, pág. 40).

e) La Mancha

Este tipo de prueba consta del control visual de una mancha que se deja encima de un papel filtro, según la muestra del cemento que antes de ello fue disuelto en solvente estándar (Yucely, 2014, pág. 41).

Figura 11: Ensayo de la mancha, valoración visual.



Fuente: “Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)” – Maila Paucar, Manuel Elías-2013.

f) Ductilidad

Este ensayo nos permite hallar la medida de elongación antes de poder romper la muestra del cemento, los elementos dúctiles cuentan con propiedades aglomeradas a diferencia de otros elementos que no cuentan con esa característica (Yucely, 2014, pág. 41).

El proceso que se realiza es con una probeta de material asfáltico someterlo a tracción donde estará en condiciones a base de la velocidad y temperatura y de la misma forma en una prueba de densidad que se realiza mediante un baño de agua para obtener la ductilidad como la longitud máxima que se pueda estirar la probeta hasta el momento de romperse (Castro Mariño, 2017).

Figura 12: Equipo y molde del ensayo de ductilidad.



Fuente: (Evaluación de la capacidad estructural de una mezcla asfáltica tibia MDC-19 utilizando aditivo modfficadores de viscosidad., 2017)

g) Película delgada

El fin de esta prueba es de poder calcular las consecuencias del calor y el aire por encima de una película fina del asfalto para determinar su tiempo de vida, esta prueba tiene el nombre de Ensayo de película rodante en horno (Yucely, 2014, pág. 41).

h) Viscosidad

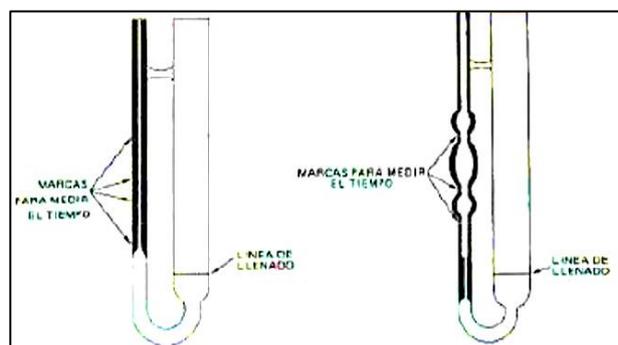
El ensayo de viscosidad se realiza con el fin de demostrar el grado de fluidez del asfalto a una dada temperatura, se puede realizar mediante varios ensayos como Viscosidad Cinemática o Viscosidad Absoluta (Yucely, 2014, pág. 41).

Desde el punto de vista de (Castro Mariño, 2017) nos dice que esta prueba podrá obtener la viscosidad cinemática de los asfaltos en estado líquido, aceites para las vías, restos de destilación de los asfaltos todo con una temperatura de 60° y de los que se encuentran en estado sólido será a una temperatura de 135°.

Esta prueba podrá medir el tiempo en el cual sea obligado a que la masa fija de líquido pueda fluir por un viscosímetro capilar de material de vidrio, bajo una temperatura que este bien controlada (2017, pág. 20).

Viscosidad cinemática = tiempo del flujo en (seg.) x factor de calibración del viscosímetro.

Figura 13: Equipo para el ensayo de viscosidad Viscosímetro de vacío del Asashalt Institute – 2. viscosímetro de vacío de Cannon Manning.



Fuente: (Evaluación de la capacidad estructural de una mezcla asfáltica tibia MDC-19 utilizando aditivo modificador de viscosidad., 2017)

i) Punto de inflamación

Con la ayuda del punto de inflamación de un cemento asfáltico podremos ver a que temperatura se deberá calentar el material evitando el peligro de inflamación por tal se medirá mediante la prueba de Cleveland dependiendo las condiciones y procedimiento (Yucely, 2014, pág. 42).

2.2.10. Tipos y usos del cemento asfáltico

De acuerdo con algunas especificaciones de clima del país, algunos materiales pétreos se encuentran aptos por los métodos constructivos nacionales.

Tabla 4: Características y usos de los cementos asfálticos detallados por viscosidad en el producto original a 60°C.

Tipos	Viscosidad a 60°C P a*s (P)	Utilizaciones
AC-5	100 +/- 20 (1000 +/- 200)	<ul style="list-style-type: none">- En la realización de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 1.- En la realización de emulsiones asfálticas que se usen para riegos de unión, de liga y poreo con agregado fino como la arena, de igual manera en estabilizaciones.
AC-10	50 +/- 10 (500 +/- 100)	<ul style="list-style-type: none">- En la realización de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones seleccionadas como zona 2.- En la realización de emulsiones asfálticas que se usen en carpetas y morteros de mezcla en frío, de igual manera en carpetas por el sistema de riego. En las regiones seleccionadas como zona 1.
AC-20	200 +/- 40 (2000 +/- 400)	<ul style="list-style-type: none">- En la realización de carpetas de mezclas en caliente dentro de las regiones seleccionadas como zona 3.- En la realización de emulsiones asfálticas que se usen en carpetas y morteros de mezcla en frío, al igual que las carpetas por el sistema de riegos dentro de las regiones seleccionadas como zona 2.
AC-30	300 +/- 60 (3000 +/- 600)	<ul style="list-style-type: none">- En la realización de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones seleccionadas como zona 4.

- En la realización de emulsiones asfálticas que se usan en carpetas y morteros de mezcla en frío, al igual que en las carpetas por el sistema de riegos dentro de las regiones seleccionadas como zonas 3 y 4.
- En la realización de asfaltos rebajado en lo absoluto, para usarse en carpetas de mezcla en frío, al igual que los riegos unidos.

Fuente: “Pavimento de concreto asfáltico”-Ing. Carlos Manuel Chávarri M.-2007.

2.2.11. Energía superficial libre (ESL)

Desde el punto de vista de (Alvarez Lugo & Spinel Caro, 2009) según la rama termodinámica el ESL es un elemento que se refiere al estudio que se requiere para la creación de una unidad de espacio en aquel elemento, teniendo en consideración vacíos. (Bhasin & Little, 2007)

Según la teoría de Good-Van Oss-Chaudhury (Van Oss, 1994) el ESL podrá separarse en 3 diferentes componentes:

- Monopolar acídica
- Monopolar básica
- No polar

Con la siguiente formula se podrá hallar el ESL:

$$\Gamma = \Gamma^{LW} + 2\sqrt{\Gamma^+\Gamma^-} = \Gamma^{LW} + \Gamma^{AB} \dots\dots\dots(i)$$

A partir de los dos componentes de ESL que son el cemento asfaltico y agregado se podrá hallar la adhesión W_{AS}^{Seco} :

$$W_{AS}^{Seco} = 2\sqrt{\Gamma_A^{LW}\Gamma_S^{LW}} + 2\sqrt{\Gamma_A^+\Gamma_S^-} + 2\sqrt{\Gamma_A^-\Gamma_S^+} \dots\dots\dots(ii)$$

A Y S son los componentes que representan la energía superficial libre, se llama trabajo de adhesión a la cantidad de energía que se debe proveer un método para transmitir una falla en la interfase y establecer dos espacios de sector unitario (Bhasin & Little, 2007) los mayores valores del trabajo de adhesión están compuestos con una alta resistencia a la fisura. La fórmula (ii) nos ayuda a poder calcular el trabajo de adhesión a falta de agua en la interfase de agregado y el

cemento asfáltico, pero debe ser alterada para insertar las consecuencias del agua.

2.2.12. Pavimento

De acuerdo con (Herrera Uribe, 2014) en la ingeniería el pavimento es aquella capa que se encuentra compuesta por uno o más componentes o materiales en la cual se ubican por encima del terreno normal o nivelado, para llegar incrementar su resistencia y así servir para la circulación de las personas o vehículos. Algunos materiales son usados en la pavimentación urbana, industrial o vial en la cual se encuentran los suelos con elevada capacidad de resistencia, algunos materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas que se encuentran lisas de tal manera que se tape la superficie terrestre para que esté constante y llano. Esto quiere decir que el pavimento se encuentra compuesto por capas superpuestas de manera horizontal en la cual se diseña y se construye técnicamente con elementos compactados o unidos de forma adecuada, por lo que descansarán por encima del suelo y que presentan con el fin de soportar correctamente los esfuerzos debido a las cargas continuas del tránsito para el tiempo que lograron ser diseñadas.

2.2.12.1. Factores que dañan el diseño, comportamiento y construcción de los pavimentos

Según (Herrera Uribe, 2014) menciona lo siguiente:

a) Localización de la estructura de pavimentos

Es aquella donde se presentan muchos factores en la cual ocasionan que la estructura del pavimento, lleguen a algunas zonas que se presentan deslizamientos, niveles freáticos elevados, en donde es fundamental evaluar el costo beneficio y la factibilidad económica de modificar la colocación. Un breve ejemplo de ellos es que en la región Costa y Amazónica donde se presenten elevados niveles freáticos y la estructura de pavimento se observa de forma dañada por ello, tal razón por la cual en varios lugares se ha obtenido pavimentos. De tal manera que la sección transversal de la vía ya sea corto o relleno, son necesarias

fundamentalmente las especificaciones de drenaje de la vía y en el proceso constructivo. (págs. 10-11)

b) Propiedades de la capa Subrasante o suelo de fundación

Como bien sabemos la subrasante es conocida como el suelo en la cual es necesario para la fundación para todo el paquete estructural del pavimento, por lo que es más alterable que las otras capas que componen un pavimento, por ello es fundamental desarrollar estudios de las características físicas en la cual son utilizadas para la parte de los materiales, contenidos constructivos y la verificación de calidad con el fin de llegar a conocer la capacidad de la resistencia a la alteración ocasionada por los esfuerzos que son inducidos por el tránsito. De la calidad de la subrasante que depende de la buena medida del grosor del pavimento, también es muy necesario tener en cuenta las modificaciones de volumen por lo cual provocarían fallas o daños en algunas estructuras que se protegen en ésta. (pág. 11)

c) Condiciones y climas ambientales

Se llega tener en cuenta demasiados aspectos que se encuentran en relación al clima y algunas especificaciones ambientales tales como:

- Los niveles de precipitaciones de forma de hidrometeoro en la cual cae de la atmósfera y llega al suelo; este fenómeno considera la lluvia, nieve, granizo, entre otros; se inclinan a modificaciones seguidas en el nivel de las aguas freáticas y en los programas de construcción. Algunas lluvias alteran en la resistencia, compresibilidad y alteraciones volumétricas, en especial a la subrasante. De tal modo que dañen en las actividades de construcción como por ejemplo: Los movimientos de tierras, colocación y compactación de

capas granulares y de asfalto, creaciones de zapatas, losas, columnas, vigas, diafragmas, estabilización de taludes, entre otros; los instrumentos normalmente son utilizados para medir la lluvia y granizo por lo que son los pluviómetros y pluviógrafos, estos últimos se usan para hallar las precipitaciones y pluviógrafos, por lo que se usan para determinar las precipitaciones pluviales de poca duración y elevada intensidad. La precipitación pluvial se mide en mm, por lo que quiere decir que el espesor de la lámina de agua que se realizaría es a causa de la precipitación por encima del suelo plano e impermeable.

- Si la temperatura llega a tener modificaciones bruscas éstos realizan esfuerzos en las losas de concreto hidráulico varias veces mayor producidos por algunas cargas de tránsito, en los pavimentos flexibles se considera que el asfalto presenta una elevada sensibilidad térmica, la alteración de la temperatura llega a provocar un cambio sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, en la cual se produce en ellas y en algunas especificaciones alterando los agrietamientos que se consideraran en el nivel de servicio de la vía.
- De tal modo es muy fundamental tener en cuenta los índices regionales como: humedad, vientos, nubosidad, en la cual son usados en algunas técnicas de diseño de los espesores de las capas de la estructura de pavimento. (págs. 11-12)

d) El tránsito

Es aquella donde se realiza o produce las cargas en las se ocasiona alteraciones o deformaciones plásticas y elásticas en las capas de estructura de pavimento. (pág. 12)

Para (Herrera Uribe, 2014) el diseño del pavimento es fundamental tener en cuenta los aspectos como:

- Área y presión de contacto.
- Velocidad
- División vehicular en doble dirección y por carril.
- Configuración de los ejes.
- N° de repeticiones de carga y carga por eje.
- Crecimiento del tránsito.
- Características de tránsito durante la construcción para no provocar el desgaste en las capas del pavimento durante la ejecución. (pág. 12)

e) Elementos utilizables

En la estructura del pavimento sea un necesario método y económicamente es determinar la aplicación de los materiales o elementos. Se tiene en cuenta los áridos aplicables en las que se encuentran ubicadas en canteras o minas. Por otro lado, se tiene en cuenta la calidad de los elementos o materiales necesarios, llegando a buscar siempre la uniformidad de los mismos, de tal manera que se considera los elementos básicos de una gran economía como los ligantes y conglomerantes. (págs. 12-13)

2.2.12.2. Clasificación de los pavimentos

2.2.12.2.1. Pavimento asfáltico o flexible

Son aquellos sistemas de capas que están compuestos por materiales no muy económicos de elevada calidad en la parte de arriba en la cual algunos esfuerzos son elevados y materiales económicos y de poca calidad en la parte baja de la base de los esfuerzos con la profundidad de las capas. (Vega Périgo, 2018)

Es la acumulación de capas de materiales escogido que aceptan en la forma directa las cargas vehiculares

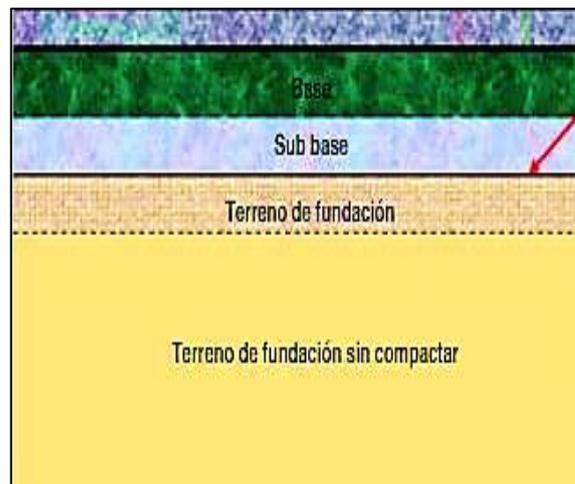
producidas por el tráfico y las transfieren a los sedimentos mínimos de manera disipada, suministrando una superficie de rodamiento, la cual debe trabajar eficazmente, también es confortable para el consumidor. La distribución de capas que se trabaja en un pavimento obedece a un elemento financiero derivado de un proyecto, ya que cuando se definan los espesores mínimo aceptable que disminuya los esfuerzos sobre la capa contiguo mínimo. La durabilidad de las distintas capas no solo necesitara del material que las compone, además consta de gran dominio el método constructivo, siendo dos componentes significativos como la humedad y la resistencia. También está mezclado principalmente, de la sub rasante, la sub base, la base, la carpeta de rodadura o carpeta asfáltica. Este pavimento es más económico en su edificación original, y posee una etapa de existencia eficiente de entre diez y quince años, pero tiene el obstáculo de solicitar sostenimiento, esto consta para poder consumir con su existencia. (Taípe Sarmiento & Salas Tocasca, 2012, pág. 14)

a) Estructura del pavimento asfáltico

Para (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006) la estructura que se apoya por encima del terreno de establecimiento o subrasante, y que se encuentra compuesto por capas de materiales de distintas calidades y espesores, en la cual obedecen a un diseño estructural, en la cual se le conoce como pavimento. En la estructura del pavimento se encuentra destinada a resistir las cargas existentes del tráfico. Las técnicas de diseño de pavimento, logran ser empíricos, en pocas palabras la experiencia que figuraba un papel fundamental. Es

necesario que el ingeniero tenga demasiados años en el área para de tal modo se logre obtener los resultados de algunas investigaciones de campo y lograr el desarrollo del diseño. Los pavimentos asfálticos se encuentran compuestos por una carpeta asfáltica que se apoya en lo general por encima de dos capas no rígidas, la base y subbase. Sin embargo, se logra pasar en alto de diferentes capas en la cual depende de las precisiones singulares del proyecto. La división típica de las capas que están compuestas por la estructura del pavimento se muestra en la figura 1 a continuación tenemos lo siguiente:

Figura 14: Estructura típica de pavimentos asfálticos.



Fuente: “Diseño moderno de pavimentos asfálticos”- Minaya González, Silene y Ordóñez Huamán, Abel – 2006.

- **Carpeta asfáltica o capa de rodamiento**

(Taípe Sarmiento & Salas Tocasca, 2012) nos mencionan que la sub-rasante es la capa de terreno natural de una carretera que sostiene la estructura del pavimento, se esparce hasta una profundidad tal que no dañe el peso de diseño conveniente al tráfico previsto, de su capacidad soporte depende el espesor que debe de tener toda la estructura del pavimento, es respetada como la cimentación del pavimento.

También proporciona un área homogéneo y constante al tránsito de forma y color necesario que logra soportar los efectos corrosivos existentes del tránsito y del medio ambiente. Se logra nombrar que la carpeta es aquella capa rígida con valores de elevados módulos. El método AASHTO 1993 es aquella que depende de los factores de diseño de la carpeta asfáltica como el módulo resiliente, para mezclas asfálticas en caliente por lo que algunos valores son de 400 000 a 450 000 psi a 20°C. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006, pág. 2)

- **Subbase**

Es la capa de la estructura del pavimento determinada especialmente a soportar, transmitir y distribuir con consecuencias iguales de las cargas del tráfico procedentes de las capas superiores del pavimento de tal modo que la sub rasante las pueda sostener. (pág. 17)

Es aquella capa que de acuerdo a su diseño logra ubicarse, por lo que se apoya por encima de la subrasante y los requisitos de calidad de los elementos que lo componen son menos ásperos, también es la capa de material seleccionado, en la cual se encuentra profunda de la estructura del pavimento, razón por la que los materiales que lo componen llegan a cumplir los requisitos menos ásperos. El módulo elástico de la sub base se analiza con el módulo resiliente, Mr. Una subbase granular con CBR del 40%, presenta un Mr. de 17 000 psi. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

- **La capa de base**

La base es la capa responsable de aspirar los trabajos trasferir por las cargas de los automóviles, y de

distribuirlos igualmente a las capas de la subrasante y subbase. (pág. 19)

Para (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006) en lo general es aquella capa que se apoya por la subbase, por lo que la función de la capa es de transportar los esfuerzos existentes del tráfico, a la subbase y subrasante. Los requisitos de calidad de áridos de base son demasiados ásperos. Esta capa está compuesta por grava triturada, compactada al 100% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado. El módulo elástico de la base se califica con el módulo resiliente, M_r . Una base granular con CBR del 100% presenta aproximadamente un valor M_r de 30 000 psi.

b) Tipologías de desgastes de los pavimentos asfálticos

Según (Padilla Rodríguez, 2004) la durabilidad es aquella propiedad básica de los pavimentos, por lo que logran tener resistencia al agotamiento y a la reacción del agua. La durabilidad potencial es aquella resistencia de las mezclas asfálticas a las mezclas o combinaciones de las modificaciones de temperatura y efectos de agua, es por ello que la poca durabilidad potencial de las capas del paquete asfáltico es una de las fundamentales razones en las que es necesario en el desgaste y el agotamiento de las excelentes especificaciones de servicio de los pavimentos. Los desgastes de los pavimentos asfálticos se deben a una gran cantidad de factores como lo son el medioambiente tales como la lluvia, gradientes de temperatura, el tráfico tales como la carga por eje, presión de los neumáticos, intensidad, materiales no adecuados, procesos de preparación de las mezclas no apropiadas, métodos de construcción tales como el transporte, extensión y compactación, fórmula de trabajo defectuosa. En general todos los defectos se logran tener una vez que

se haya finalizado la obra, es decir una mala forma superficial, geometría, aspecto y además la deficiencia se descubre en un tiempo normal durante la vida de servicio del pavimento, los cuales son objeto de estudios y clasificaciones cada vez más ásperas, por lo que indican la patología en general del firme.

2.2.12.3. Adhesión del pavimento

De acuerdo con (Urrego Aguilera & Ruiz Ramírez, 2016) la adherencia en el pavimento asfáltico es aquel pilar que se encuentra dentro del transcurso de la construcción vial, es la variable del pavimento en la que se llega a cumplir y garantizar las propiedades fundamentales del pavimento asfáltico. Cuando se llega a diseñar un pavimento asfáltico se espera que este trabaje de manera mono tónica en relación de las exigencias en diseño y llegue a cumplir las propiedades del cemento asfáltico. Por otro lado, el pavimento es aquella que tiene distintas fallas por lo que se encuentran clasificadas por normativa de acuerdo al análisis superficial, análisis estructural y el análisis funcional, por lo que toda esta se encuentra ascendiente una de la otra, la adherencia como se nombra anteriormente es de vital fundamental para el cumplimiento de las exigencias por el parque automotor de no ser acordada de una forma correspondiente hasta llegar a ser moderada, esta logra provocar grandes problemas en relación a su función el cual se logra modificar el índice de rugosidad internacional y el ahuellamiento de tal manera que se logre ocasionar daños en la estructura del pavimento y porque no el índice de condición del pavimento o el análisis superficial logra ser dañada de forma fundamental. Esto ocasiona que el periodo de retorno de las vías se acelera. Se presenta distintos tipos de aditivos adhesivos o mejoradores de adherencia, sin embargo, realizan que los costos de mantenimiento se multipliquen de manera exponencial.

2.3. Definiciones de términos

Las bases conceptuales que a continuación se detallan son recopiladas del “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones” (agosto 2008), a continuación, se detalla:

- a. Afirmado:** Capa de material selecto procesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante o sub-base de un pavimento.
- b. Asfalto:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.
- c. Cemento Asfáltico:** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.
- d. Ahuellamiento:** Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.
- e. Capa asfáltica de superficie:** Es la capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también Capa de Desgaste o Capa de Rodadura.
- f. Capa de base asfáltica:** Es una capa estructural de algunos pavimentos flexibles compuesta de agregados minerales unidos con productos asfálticos. También conocida como Base Negra.
- g. Estructura del pavimento asfáltico:** Es una estructura de pavimento con todas sus capas de mezclas asfálticas, o de una combinación de capas asfálticas y base granulares, colocadas encima de la sub-rasante natural o estabilizada.
- h. Imprimación asfáltica:** Asfalto diluido, aplicado con un rociador de boquilla que permita una distribución uniforme sobre la Base Granular para impermeabilizarla y lograr su adherencia con la Capa Asfáltica de Superficie.
- i. Laboratorio:** Es una organización que mide, examina, ejecuta los ensayos; o de otra forma, determina las características o el comportamiento de materiales o productos.

j. Muestra: Es un segmento de una población seleccionado según la norma correspondiente o un procedimiento estadístico aceptado, para representar a toda la población.

k. Pavimento: Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado período de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasaje peatonal y Ciclo vías.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La energía superficial libre del cemento asfáltico aumenta la cuantificación de la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

2.4.2. Hipótesis específica

a) El trabajo de adhesión agregado-asfalto aumenta en las interfases de adhesión de la energía superficial libre del cemento asfáltico de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

b) El trabajo de cohesión agregado-asfalto interviene significativamente en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

c) La energía superficial de agregado pétreo altera significativamente en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de las variables

a) Variable independiente (X)

Energía superficial libre del cemento asfáltico.

Según (Montejo Fonseca, 2018) El cemento asfáltico es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo.

b) Variable dependiente (Y)

Interfases De Adhesión

Según (Montejo Fonseca, 2018) Estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales que permiten una unión en el proceso de construcción o mezclas entre los elementos.

2.5.2. Definición operacional de la variable

$$y=F(x)$$

a) Variable independiente (X)

Energía superficial libre del cemento asfáltico.

La **energía superficial** se define como la energía necesaria para romper los enlaces intermoleculares dando lugar a una superficie. En la física del sólido, las superficies deben ser intrínsecamente menos favorables energéticamente que la masa; es decir, debe haber una fuerza que genera la superficie.

b) Variable Dependiente (Y)

Interfases de adhesión.

Este trabajo de adhesión que es realizado por ambos materiales incide directamente en la resistencia de la mezcla asfáltica al daño por humedad pues define directamente con qué facilidad el agua puede desplazar al ligante asfáltico de la superficie del agregado.

2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla 5: Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicador	Unidad	Instrumento	Fuente
Variable Independiente 1: Energía superficial libre del cemento asfáltico	Ductibilidad	Ductilómetro.	Glb	ASTM D-113	Todos los resultados se realizarán a nivel de data de tiempo/volumen.
	Viscosidad	Viscosímetro rotacional	Pa. s	INV E-717-07	
	Punto de ablandamiento	Aparato de anillo y bola	Glb	INV E-712-07	
Variables	Dimensiones	Indicador	Unidad	Instrumento	Fuente
Variable Dependiente 2: Interfases de Adhesión	Adhesión	INV E – 774	%	Ensayos del manual de Materiales	Todos los Ensayos a realizar serán a nivel de Laboratorio.
	Llenantes minerales	INV E-745-07	%		
	Susceptibilidad Térmica	INV E-724-07	°C		
	Ligante	INV E-751-07	%		

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de investigación

El método de investigación para la presente tesis es el método científico; rechaza o elimina todo procedimiento que busque manipular la realidad en forma caprichosa, tratando de imponer prejuicios, creencias o deseos que no se ajusten a un control adecuado de la realidad y de los problemas que se investigan (Ccanto Mallma, 2010).

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, pues se pretende resolver problemas prácticos con el propósito de cambio y más aún será de instrumento para la toma de decisiones en la sociedad (Del Cid, Sandoval y Sandoval, 2007).

3.3. Nivel de la investigación

Según (Baena Paz, 2017), considera que el nivel de investigación explicativo “tiene como propósito buscar las relaciones de causa y efecto entre las variables del objeto de estudio. En este estudio el investigador no manipula las variables. En algunas investigaciones se determinará la correlación de las variables sin encontrar causalidad, aunque desde el punto de vista sistémico, existe relación entre las variables que integran un objeto o sistema” (pág. 90)

En la investigación se pretende dar a conocer la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

El estudio por el nivel de profundidad será *nivel explicativo*.

3.4. Diseño de la investigación

Según (Sierra Bravo, 2014) considera que cuando en una investigación se necesita manipular variables, es necesario realizar un diseño experimental. Los diseños experimentales en una investigación, sirve para organizar la obtención de datos a partir de la reproducción de las propiedades del objeto de investigación en un modelo o en un prototipo". (pág. 94)

En la presente investigación determinamos de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento mediante ensayos de laboratorio.

Según el análisis, el diseño que se empleará en la presente investigación será *diseño experimental*.

3.5. Población y muestra

3.5.1. 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 población está constituida por 210 briquetas de asfalto.

3.5.2. Muestra

La muestra es de acuerdo al método no probabilístico intencional, en este caso corresponde a 60 briquetas con el mejor comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

(Vásquez Vélez, 2011) menciona que las técnicas son aquellas que se especifican como un conjunto de: medios, mecanismos, recursos,

procedimientos, formas que se utilizan y sirven para recoger, conservar, organizar toda la investigación y la información que es desarrollada.

a) Observación

Se define como aquella técnica más usada para lograr detallar, definir y comparar.

b) Análisis de documentos

Los documentos que se utilizaron, son aquellos desde un inicio de la investigación para así lograr dar un sustento a la misma, referente al manejo de conceptos que existen, entre ellos se tiene lo siguiente:

- **Revisión de bibliografía**

Se utilizó para lograr profundizar, referente a los conocimientos adquiridos como investigador, tal caso referente al problema de investigación y de tal manera lograr obtener el sustento ante dicho tema investigado.

3.6.2. Instrumentos

Según (Hernández Sampieri, 2018) un instrumento es aquel componente de medición adecuado que se encarga de registrar datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente.

3.7. Procesamiento de la información

Según (Giraldo Huertas, 2016), manifiesta que: El procesamiento de la información tiene como fin generar datos agrupados y ordenados que faciliten al investigador el análisis de la información según los objetivos, hipótesis y preguntas de la investigación construidas.

3.8. Técnica y análisis de datos

La información bibliográfica utilizada para el desarrollo de la presente tesis se obtuvo a partir del análisis documental. Además, se emplearon fichas de recolección de datos para recolectar la información y hacer anotaciones de los ensayos realizados. También se tuvo en cuenta que se utilizó la técnica de la observación en su conjunto con la ficha de recolección de datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Caracterización de los agregados

4.1.1. Energía superficial libre del cemento asfáltico

Este ensayo se determina por el método de Wilhelmy por lo que nos ayuda a determinar el ángulo de contacto entre el cemento asfáltico y los líquidos de prueba que en este caso es el agua, glicerol y formamida, lo cual consiste en emplear la placa de vidrio delgado de 50mm x 24mm x 0.15mm de espesor recubierta con una capa delgada y uniforme de cemento asfáltico y asimismo la identificación de muestras se hizo tres veces para luego promediar.

Tabla 6: Resultados ángulo de contacto con agua por el método de Wilhelmy

DESCRIPCIÓN	UNID.	IDENTIFICACIÓN DE NUESTRA		
		1	2	3
Placa de vidrio	...	1	2	3
Perímetro de placa de vidrio	cm	7.40	7.40	7.40
Volumen de placa de vidrio	cm ³	0.18	0.18	0.18
Masa de la placa + cemento asfáltico	g.	0.359	0.358	0.360
Fuerza	g cm/s ²	352.18	351.2	353.16
Angulo de contacto	cos (θ)	0.981	0.979	0.982
Promedio		0.981		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se especifica el ángulo de contacto entre el cemento asfáltico y el agua cuyo resultado promedio obtenido es 0.981.

Tabla 7: Resultados ángulo de contacto con glicerol por el método de Wilhelmy

Líquido: Glicerol				
DESCRIPCIÓN	UNID.	IDENTIFICACIÓN DE NUESTRA		
		1	2	3
Placa de vidrio	...	1	2	3
Perímetro de placa de vidrio	cm	7.40	7.40	7.40
Volumen de placa de vidrio	cm ³	0.18	0.18	0.18
Masa de la placa + cemento asfáltico	g.	0.401	0.409	0.404
Fuerza	g cm/s ²	393.38	401.2	396.32
Angulo de contacto	Cos (θ)	1.300	1.317	1.306
Promedio		1.308		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se especifica el ángulo de contacto entre el cemento asfáltico y el glicerol cuyo resultado promedio obtenido es 1.308.

Tabla 8: Resultados ángulo de contacto con formamida por el método de Wilhelmy

Líquido: Formamida				
DESCRIPCIÓN	UNID.	IDENTIFICACIÓN DE NUESTRA		
		1	2	3
Placa de vidrio	...	1	2	3
Perímetro de placa de vidrio	cm	7.40	7.40	7.40
Volumen de placa de vidrio	cm ³	0.18	0.18	0.18
Masa de la placa + cemento asfáltico	g.	0.382	0.385	0.389
Fuerza	g cm/s ²	374.74	377.7	381.61
Angulo de contacto	cos(θ)	1.338	1.345	1.354
Promedio		1.345		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se especifica el ángulo de contacto entre el cemento asfáltico y el Formamida cuyo resultado promedio obtenido es 1.345

4.1.2. Método de gota pendiente cantera Pilcomayo

Líquido		Angulo de contacto (θ)				r l	r i(1-cosθ)	r (lw)	r(+)	r(-)	r t(ergs/cm ²)
		g(°)	m(")	s(")	Sexagesimales						
AGUA	IZQ.	31	31	44	31.75	72.8	134.66	14.19	8.42	31.24	31.24
	DER.	31	31	54	31.91						
GLICEROL	IZQ.	82	82	50	82.85	64.0	72.07	14.19	8.42	31.24	31.24
	DER.	82	82	42	82.71						
FORMAMIDA	IZQ.	46	45	48	46.81	58.0	97.32				

	DER.	47	47	50	47.85						
--	------	----	----	----	-------	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Método de gota pendiente cantera Apata

LIQUIDO		Angulo de contacto (θ)				r l	r i(1-cos θ)	r (lw)	r(+)	r(-)	r t(ergs/cm ²)
		g(°)	m(")	s(")	Sexagesimales						
AGUA	IZQ.	35	57	58.90	35.97	72.80	131.37	9.42	5.78	10.08	24.69
	DER.	36	54	59.80	36.92						
GLICEROL	IZQ.	90	40	27.65	90.67	64.00	62.14	9.42	5.78	10.08	24.69
	DER.	92	41	26.60	92.69						
FORMAMIDA	IZQ.	72	36	59.40	72.62	58.00	75.31	9.42	5.78	10.08	24.69
	DER.	72	40	45.80	72.68						

Fuente: Elaboración propia

4.2. Primer objetivo específico

Análisis de la variación del trabajo de adhesión de dos canteras en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento.

4.2.1. Resultados de trabajo de adhesión agregado asfalto cantera Apata

La determinación del trabajo de adhesión entre el cemento asfáltico y los materiales de la cantera Apata nos permitió identificar la mayor unión generada entre el cemento asfáltico y el agregado y asimismo el porcentaje de resistencia al daño por humedad.

Tabla 9: Trabajo de adhesión de la cantera Apata

Energía superficial libre				24.69
Energía superficial libre del cemento asfáltico Wc (ergs/cm ²)				14.65
DESCRIPCIÓN	r (lw)	r (+)	r (-)	
Agregado pétreo	9.42	5.78	10.08	
Cemento asfáltico PEN 85/100	4.80	1.80	4.62	
Trabajo de adhesión Wsl (ergs/cm ²)				32.30

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se observa los resultados del trabajo de adhesión obtenidos de la Cantera Apata del cuyo resultado nos dio 32.30.

4.2.2. Resultados de trabajo de adhesión agregado asfalto cantera Pilcomayo

Tabla 10: Trabajo de adhesión de la cantera Pilcomayo

Energía superficial libre	31.24		
Energía superficial libre del cemento asfáltico Wc (ergs/cm ²)	14.65		
DESCRIPCIÓN	r (lw)	r (+)	r (-)
Agregado pétreo	14.19	8.42	8.63
Cemento asfáltico PEN 85/100	5.25	4.39	5.03
Trabajo de adhesión Wsl (ergs/cm ²)	42.59		

Fuente: Elaboración propia

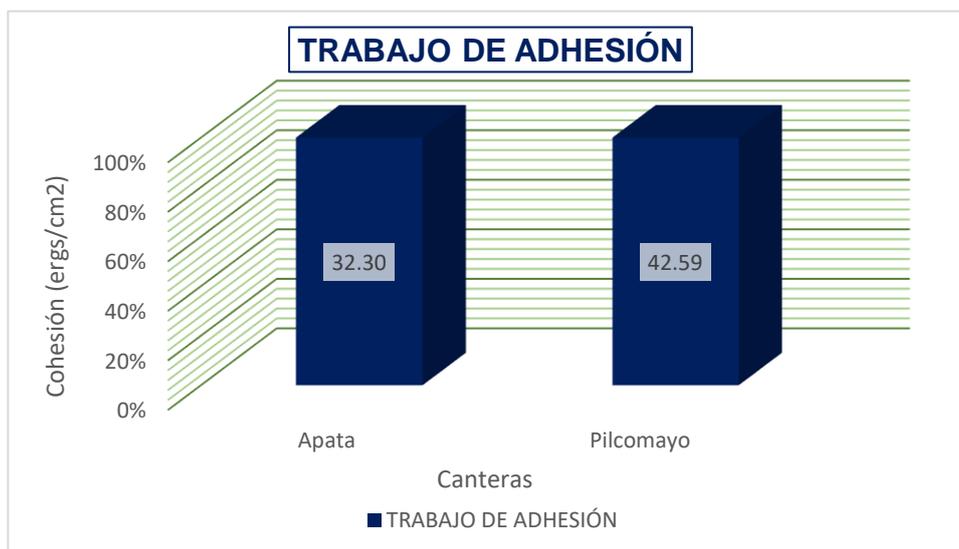
En la tabla 10 se observa los resultados del trabajo de adhesión obtenidos de la Cantera Pilcomayo cuyo resultado nos dio 42.59.

Tabla 11: Variación de resultados del trabajo de adhesión

AGREGADO DE CANTERA	TRABAJO DE ADHESION	% DE VARIACIÓN
Apata	32.30	0.32
Pilcomayo	42.59	

Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Comparación del trabajo de adhesión



Fuente: Elaboración propia

En la presente figura se observa que la cantera de Pilcomayo tiene mayor trabajo de adhesión con un porcentaje de variación de 0.32% al comparar con la cantera Apata, por lo que se afirma que la cantera de Pilcomayo

tienen mayor desempeño al adherirse al cemento asfáltico y genera mayor resistencia de la mezcla asfáltica sobre todo cuando hay presencia de humedad.

4.3. Segundo objetivo específico

Evaluación de la intervención del trabajo de cohesión de dos canteras en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento.

4.3.1. Resultados de trabajo de cohesión agregado asfalto cantera Apata

La determinación del trabajo de cohesión entre el cemento asfáltico y los materiales de la cantera Apata nos permitió identificar los procesos de deterioro como la fatiga y deformación permanente entre el cemento asfáltico y el agregado.

Tabla 12: Resultados de trabajo de cohesión cantera Apata

Energía superficial libre	24.69		
Energía superficial libre del cemento asfáltico W_c (ergs/cm ²)	14.65		
DESCRIPCIÓN	r (lw)	r (+)	r (-)
Agregado pétreo	9.42	5.78	10.08
Cemento asfáltico PEN 85/100	4.80	1.80	4.62
Trabajo de cohesión del agregado W_c (ergs/cm ²)	49.38		
Trabajo de cohesión del cemento asfáltico W_c (ergs/cm ²)	29.30		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se observa los resultados del trabajo de adhesión obtenidos de la Cantera Apata del cuyo resultado nos dio en el trabajo de cohesión del agregado 49.38 ergs/cm² y en el trabajo de cohesión del cemento asfáltico 29.30 ergs/cm²

4.3.2. Resultados de trabajo de cohesión agregado asfalto cantera Pilcomayo

La determinación del trabajo de cohesión entre el cemento asfáltico y los materiales de la cantera Pilcomayo nos permitió identificar los procesos de deterioro, fatiga y deformación permanente entre el cemento asfáltico y el agregado.

Tabla 13: Resultados de trabajo de cohesión cantera Pilcomayo

Energía superficial libre	31.24		
Energía superficial libre del cemento asfáltico Wc (ergs/cm ²)	14.65		
DESCRIPCIÓN	r (lw)	r (+)	r (-)
Agregado pétreo	14.19	8.42	8.63
Cemento asfáltico PEN 85/100	5.25	4.39	5.03
Trabajo de cohesión del agregado Wc (ergs/cm ²)	62.48		
Trabajo de cohesión del cemento asfáltico Wc (ergs/cm ²)	29.30		

Fuente: Elaboración propia

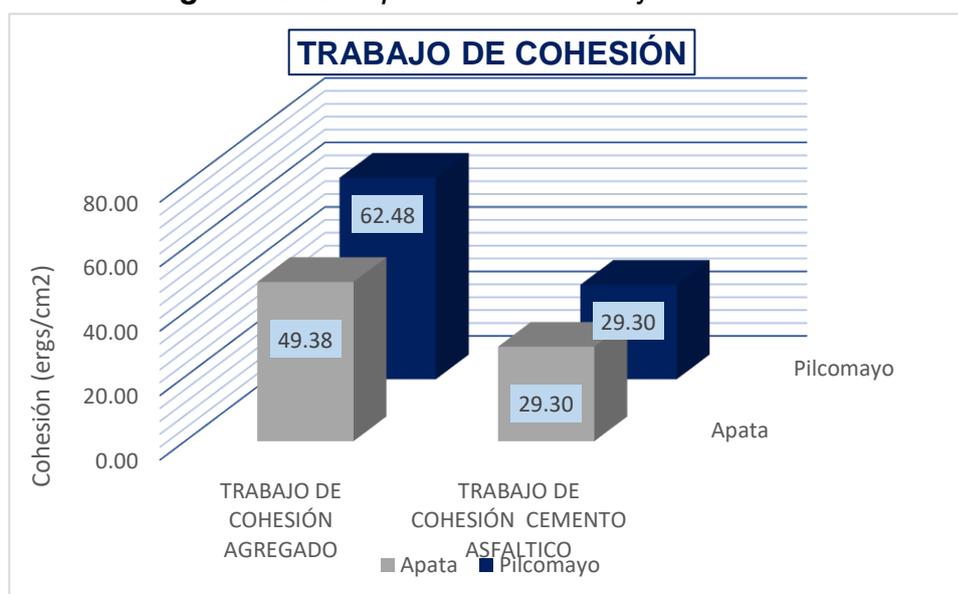
En la tabla 13 se observa los resultados del trabajo de adhesión obtenidos de la Cantera Apata del cuyo resultado nos dio en el trabajo de cohesión del agregado 62.48 ergs/cm² y en el trabajo de cohesión del cemento asfáltico 29.30 ergs/cm²

Tabla 14: Variación de resultados del trabajo de cohesión

AGREGADO DE CANTERA	TRABAJO DE COHESIÓN AGREGADO	TRABAJO DE COHESIÓN CEMENTO ASFALTICO	% DE VARIACIÓN AGREGADO	% DE VARIACIÓN CEMENTO
Apata	49.38	29.30	0.27	0.00
Pilcomayo	62.48	29.30		

Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Comparación del trabajo de adhesión



Fuente: Elaboración propia

En la presente figura se observa que la cantera de Pilcomayo tiene mayor trabajo de cohesión con un porcentaje de variación de 0.27% al comparar

con la cantera Apata, por lo que se afirma que la cantera de Pilcomayo tiene mayor desempeño al adherirse al cemento asfáltico y genera mayor resistencia de la mezcla asfáltica sobre todo cuando hay presencia de humedad, mientras que en el trabajo de cohesión del cemento asfáltico entre la cantera Pilcomayo y Apata no hay variación.

4.4. Tercer objetivo específico

Determinación de cómo es la energía superficial libre del agregado pétreo de dos canteras para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento.

4.4.1. Energía superficial libre del pavimento del cemento asfáltico – cantera Apata – Pilcomayo.

La medición de la energía superficial libre del cemento asfáltico y agregado se evalúa para ver el desempeño y compatibilidad de diversos sistemas del cemento asfáltico-agregado.

Tabla 15: Resultados de energía superficial libre cantera Apata y Pilcomayo

LIQUIDO	Cos θ	rl	r i(1-cos θ)	r (lw)	r(+)	r(-)	r t
AGUA	0.981	72.8	144.19	5.25	4.39	5.03	14.65
GLICEROL	1.308	64.0	147.69				
FORMAMIDA	1.345	58.0	136.03				

Fuente: Elaboración propia

4.5. Contrastación de hipótesis

4.5.1. Hipótesis específico 1 (prueba del investigador)

El trabajo de adhesión de dos canteras aumenta en las interfaces de adhesión de la energía superficial libre del cemento asfáltico de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

Formulación de la prueba de Hipótesis Estadística:

Hipótesis Nula Ho: El trabajo de adhesión de dos canteras no aumenta en las interfaces de adhesión de la energía superficial libre del cemento asfáltico de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

$$\mu_{Tad1} = \mu_{Tad\text{ Convencional}}$$

Hipótesis Alterna Ha: El trabajo de adhesión de dos canteras aumenta en las interfaces de adhesión de la energía superficial libre del cemento asfáltico de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

Existe al menos un $i / \mu Tadi \neq \mu Tad_{convencional}$

Donde μTad , trabajo de adhesión

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta es cuantitativa y existen dos variables independientes llamados factores de tipo categórica ordinal, y lo que se quiere probar es, si los materiales de dos tipos de cantera se modifican en la adhesión con el cemento asfáltico, por consiguiente, mediante la prueba de normalidad se decide si se aplica una prueba paramétrica o no paramétrica.

Consideraciones de las pruebas:

- Las pruebas de hipótesis se realizarán para cada diseño
- Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Prueba del supuesto de Normalidad para datos trabajo de adhesión agregado-cemento asfáltico:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Los datos provienen de una distribución normal

Ha: Los datos no provienen de una distribución normal

Figura 17: Prueba de normalidad para datos de trabajo de adhesión

Pruebas de normalidad							
	Cemento asfáltico	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Trabajo de adhesión agregado_cemento asfáltico	Cantera Apata	,385	3	.	,750	3	,000
	Cantera pilcomayo	,339	3	.	,851	3	,244

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, no todos los valores de significancia son mayores a 0.05, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula y concluimos que los datos no provienen de una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Una vez probado los supuestos de normalidad por lo que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad se aplica la prueba no paramétrica de U de Mann – Whitney para dos muestras.

Prueba de U de Mann – Whitney para datos trabajo de adhesión agregado-cemento asfáltico:

Ho: Es (hipótesis nula)

Ha: Es (hipótesis alterna)

- Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} \leq \alpha$ se rechaza Ho se acepta la Ha.
- Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} > \alpha$ no se rechaza Ho se acepta la Ho.

Figura 18: Resumen de la prueba de hipótesis trabajo de adhesión

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Trabajo de adhesión agregado_cemento asfáltico es la misma entre las categorías de Cemento asfáltico.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,100 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

¹Se muestra la significación exacta para esta prueba.

Los resultados de la prueba de U de Mann – Whitney. Indican que, con un nivel de significancia del 5% se conserva la hipótesis nula debido a que el valor sig. De los datos de trabajo de adhesión es 0.100 al aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna se concluye que no hay aumento con mayor significancia en las interfaces de adhesión de la energía superficial libre del cemento asfaltico de un pavimento en la provincia de Huancayo.

4.5.2. Hipótesis específico 2 (prueba del investigador)

El trabajo de cohesión interviene en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión de dos canteras en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

Formulación de la prueba de Hipótesis Estadística:

Hipótesis Nula Ho: El trabajo de cohesión no interviene en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión de dos canteras en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo.

$$\mu_{Tco1} = \mu_{Tco \text{ Convencional}}$$

Hipótesis Alterna Ha: El trabajo de cohesión interviene en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión de dos canteras en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo.

$$\text{Existe al menos un } i / \mu_{Tcoi} \neq \mu_{Tco_convencional}$$

Donde μ_{Tco} , trabajo de cohesión

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta es cuantitativa y existen dos variables independientes llamados factores de tipo categórica ordinal, y lo que se quiere probar es, si los materiales de dos tipos de cantera se modifican en la cohesión con el cemento asfáltico, por consiguiente mediante la prueba de normalidad se decide si se aplica una prueba paramétrica o no paramétrica.

Consideraciones de las pruebas:

- Las pruebas de hipótesis se realizarán para cada diseño
- Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Prueba del supuesto de Normalidad para datos trabajo de cohesión agregado-cemento asfáltico:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Los datos provienen de una distribución normal

Ha: Los datos no provienen de una distribución normal

Figura 19: Prueba de normalidad para datos de trabajo de cohesión

Pruebas de normalidad							
Cemento asfáltico		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Trabajo de cohesión agregado	Cantera Apata	,253	3	.	,964	3	,637
	Cantera pilcomayo	,292	3	.	,923	3	,463
Trabajo de cohesión cemento asfáltico	Cantera Apata	,356	3	.	,818	3	,157
	Cantera pilcomayo	,385	3	.	,750	3	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, no todos los valores de significancia son mayores a 0.05, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula y concluimos que los datos no provienen de una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Una vez probado los supuestos de normalidad por lo que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad se aplica la prueba no paramétrica de U de Mann – Whitney para dos muestras.

Prueba de U de Mann – Whitney para datos trabajo de cohesión agregado-cemento asfáltico:

Ho: Es (hipótesis nula)

Ha: Es (hipótesis alterna)

- Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} \leq \alpha$ se rechaza Ho se acepta la Ha.
- Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} > \alpha$ no se rechaza Ho se acepta la Ho.

Figura 20: Resumen de la prueba de hipótesis para datos de trabajo de adhesión

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Trabajo de cohesión agregado es la misma entre las categorías de Cemento asfáltico.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,100 ¹	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de Trabajo de cohesión cemento asfáltico es la misma entre las categorías de Cemento asfáltico.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,400 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

¹Se muestra la significación exacta para esta prueba.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de U de Mann – Whitney. Indican que, con un nivel de significancia del 5% se conserva la hipótesis nula debido a que el valor sig. De los datos de trabajo de cohesión-agregado es 0.100 y los datos de prueba de trabajo de cohesión cemento-asfáltica es 0.400 por ende al aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna se concluye que no hay intervención con mayor significancia de cohesión en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión de dos canteras.

4.5.3. Hipótesis específico 3 (prueba del investigador)

La energía superficial libre del agregado pétreo de dos canteras para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

Formulación de la prueba de Hipótesis Estadística:

Hipótesis Nula Ho: La media de la energía superficial libre del agregado pétreo de dos canteras varía para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

$$\mu_{ESL1} = \mu_{ESL \text{ Convencional}}$$

Hipótesis Alterna Ha: La media de la energía superficial libre del agregado pétreo de dos canteras no varía para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.

Existe al menos un $i / \mu_{ESLi} \neq \mu_{ESL_convencional}$

Donde μ_{ESL} , es la energía superficial libre

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta es cuantitativa y existen dos variables independientes llamados factores de tipo categórica ordinal, y lo que se quiere probar es, si la energía superficial libre de los materiales de dos tipos de cantera se modifica en la cohesión con el cemento asfáltico, por consiguiente, mediante la prueba de normalidad se decide si se aplica una prueba paramétrica o no paramétrica.

Consideraciones de las pruebas:

- Las pruebas de hipótesis se realizarán para cada diseño
- Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Prueba del supuesto de Normalidad para datos trabajo de energía superficial libre:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Los datos provienen de una distribución normal

Ha: Los datos no provienen de una distribución normal

Figura 21: Prueba de normalidad para datos de energía superficial libre

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Cemento asfáltico	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Energía superficial libre	Cantera Apata-Pilcomayo	,384	3	.	,752	3	,006

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia no son mayor al 0.05, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y concluimos que los datos no provienen de una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Una vez probado los supuestos de normalidad por lo que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad se aplica la prueba no paramétrica de U de Mann – Whitney para dos muestras.

Prueba de U de Mann – Whitney para datos de energía superficial libre:

Ho: Es (hipótesis nula)

Ha: Es (hipótesis alterna)

- Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} \leq \alpha$ se rechaza Ho se acepta la Ha.
- Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} > \alpha$ no se rechaza Ho se acepta la Ho.

Figura 22: Resumen de la prueba de hipótesis para datos de energía superficial libre

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Energía superficial libre es la misma entre las categorías de Cemento asfáltico.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,100 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.
¹ Se muestra la significación exacta para esta prueba.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de U de Mann – Whitney. Indican que, con un nivel de significancia del 5% se conserva la hipótesis nula debido a que el valor sig. De los datos de energía superficial libre es 0.100 por ende al aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna se concluye que no hay variación de la media con mayor significancia de la energía superficial libre del agregado pétreo de dos canteras para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en la provincia de Huancayo.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de resultados con antecedentes

OG

Respecto al objetivo general como resultado de la presente investigación se obtuvo mayor trabajo de adhesión y cohesión entre el agregado de la cantera Pilcomayo - Cemento asfáltico con resultados de 42.59 ergs/cm² y 62.48 ergs/cm².

Al respecto el autor (Chen Tan & Tan, 2018) citado como antecedente nacional en su investigación titulada “Determinación de la propiedad de adhesión de asfaltos modificados con distintos tipos de polímeros en diferentes agregados y acondicionamientos”, afirmó que el asfalto tiene una buena adhesión es el asfalto modificado con el polímero TER debido a que presenta mayor valor de POTS con respecto a los demás asfaltos en todas las condiciones evaluadas, asimismo el autor (Cely Leal, 2018) citado como antecedente internacional en su investigación titulada ““Estudio de la adhesión y cohesión de tres tipos de agregados pétreos utilizados en Bogotá-Colombia con Asfalto 60-70” afirmó que el trabajo adhesivo en la interfase le resultó relativamente alto, por lo que, en comparación con los otros agregados estudiados fue el de mejor comportamiento al ser afectado por la humedad.

OE1

Respecto al primer objetivo específico como resultado de esta investigación se obtuvo como resultado en el trabajo de adhesión de la cantera de Apata se obtuvo 32.30 ergs/cm² y como resultado en el trabajo de adhesión de la cantera de Pilcomayo se obtuvo 42.59 ergs/cm², por ello mediante el análisis comparativo se determinó que la cantera de Pilcomayo tiene mayor trabajo de cohesión con un porcentaje de variación de 0.32% por lo que presenta mayor desempeño en la mezcla asfáltica.

Al respecto el autor (Cely Leal, 2017) citado como antecedente internacional en su investigación titulada “Estudio de la adhesión y cohesión de tres tipos de agregados pétreos utilizados en Bogotá-Colombia con asfalto 60-70” demostró el trabajo de adhesión en seco entre el asfalto 60-70 Barrancabermeja y los agregados pétreos en el agregado 1 Mondoñedo (arenisca) obtuvo trabajo se adhesión de 59.08 ergs/cm² en el agregado 2 Alto La Laguna (arenisca) obtuvo trabajo se adhesión de 67.73 ergs/cm² en el agregado 3 Rio Coello (Caliza) obtuvo trabajo se adhesión de 70.92 ergs/cm² en caso del trabajo de adhesión en Húmedo entre el asfalto 60-70 Barranca y los Agregados Petreos y Agua, en el agregado 1 Mondoñedo (arenisca) obtuvo trabajo se adhesión de 61.65 ergs/cm² en el agregado 2 Alto La Laguna (arenisca) obtuvo trabajo se adhesión de 61.65 ergs/cm² en el agregado 3 Rio Coello (Caliza) obtuvo trabajo se adhesión de 61.65 ergs/cm².

Asimismo el autor los autores (Álvarez-Caro, 2018) en su investigación titulado “Determinación de la energía superficial libre de cementos asfálticos colombianos” afirmo que “los resultados sugieren que la resistencia a la fractura –evaluada en términos de la calidad de la adhesión en ausencia de agua en la interfase de los agregados considerados y cementos asfálticos colombianos es similar a la resistencia de interfases compuestas por los cementos asfálticos extranjeros considerados en su investigación estudio”.

OE2

Respecto al segundo objetivo específico como resultado de esta investigación se obtuvo en el trabajo de cohesión del agregado de la cantera Apata 49.38 ergs/cm² y en el trabajo de cohesión del agregado de la cantera Pilcomayo 62.48 ergs/cm² por lo que mediante el análisis comparativo del resultado de ambas canteras se obtuvo que la cantera de Pilcomayo genera mayor trabajo de adhesión con un porcentaje de variación de 0.27%.

Al respecto el autor (Alvarez Lugo & Caro Spinel, 2019) Citado como antecedente internacional en su investigación titulado “Determinación de la energía superficial libre de cementos asfálticos colombianos” afirmo que la resistencia a la fractura evaluada en términos de la calidad de la cohesión en ausencia de agua en la interface de los agregados considerados y cementos asfálticos colombianos es similar a la resistencia de interfaces compuestas por los cementos asfálticos extranjeros considerados en este estudio, asimismo el autor (Leguia Loarte, 2016) en su investigación titulada Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)” afirmo que La evaluación PCI se ha tenido un promedio de índice 43.70 por lo que se recomienda darle solución a las fallas hallada.

OE3

Respecto al tercer objetivo específico se obtuvo como resultado entre la cantera de Apata y cantera de Pilcomayo con agua energía superficial libre de 144.19 ergs/cm², y con Glicerol energía superficial libre de 147.169 ergs/cm² y finalmente con formamida obtuvo energía superficial libre de 136.03 ergs/cm².

Al respecto el autor (Cely Leal, 2017) citado como antecedente internacional en su investigación titulada “Estudio de la adhesión y cohesión de tres tipos de agregados pétreos utilizados en Bogotá-Colombia con asfalto 60-70” demostró que obtuvo como resultado energía superficial libre con agua desionizada 72.80 (mJ/m²), con formamida 57.50 (mJ/m²) y con etilenglicol 48.00 (mJ/m²), asimismo en la prueba con asfalto 60-70 Barrancabermeja obtuvo como

resultado energía superficial libre de 10,883 ergs/cm², con agregado 1 Mondoñedo (arenisca) 80,047 ergs/cm², con agregado 2 Alto La Laguna (arenisca) 102.391 ergs/cm², con agregado 3 Rio Coello (caliza) 110.519 ergs/cm², asimismo el autor (Alvarez & Ovalles, 2017) citado como antecedente internacional en su tesis titulado “Análisis de sistemas asfalto-agregado a partir de mediciones de energía superficial libre” “afirmo que la medición de la energía superficial libre (ESL) de asfaltos y agregados es una herramienta eficiente para evaluar la compatibilidad y el desempeño esperado de diversos sistemas asfalto-agregado, así como los cambios inducidos a nivel fundamental por diferentes procesos propios de la fabricación de mezclas asfálticas”

CONCLUSIONES

- La presente investigación permite concluir que entre el trabajo de cohesión y trabajo de adhesión entre el agregado-cemento asfáltico la cantera de Pilcomayo tienen mayor desempeño con un porcentaje de variación de 0.32% por ello se reafirma este presenta mayor adherencia al realizar las mezclas asfálticas.
- En base al análisis del trabajo de adhesión se llegó a la conclusión de que la cantera de Pilcomayo tiene mayor desempeño al adherirse al cemento asfáltico y genera mayor resistencia de la mezcla asfáltica.
- Respecto al análisis del trabajo de cohesión se concluye que la cantera de Pilcomayo tiene mayor desempeño al adherirse al cemento asfáltico y genera mayor resistencia de la mezcla asfáltica sobre todo cuando hay presencia de humedad, mientras que en el trabajo de cohesión del cemento asfáltico no hay variación.
- Se concluye que genera mayor valor de energía superficial libre entre la cantera Apata y cantera Pilcomayo es al aplicar con el glicerol por ello se reafirma que el glicerol tienen un buen desempeño.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable introducir un modificador para reducir el contacto de los agregados con el agua con el fin de reducir la entrada de agua al momento de unir el cemento asfáltico con el agregado.
- Se recomienda seleccionar cuidadosamente los materiales y/o agregados de pavimentación para que la unión entre el Asfalto-agregado nos de mayores valores de trabajo de adhesión tanto en el estado seco y estado húmedo para poder lograr identificar el debilitamiento al tener contacto con el agua
- Para futuras investigaciones Se recomienda evaluar la energía superficial libre, el trabajo de cohesión como más de dos tipos de cementos asfálticos y asimismo con agregados extraídos de los ríos y canteras.
- Para determinar la energía superficial libre es recomendable adelantar estudios adicionales para cuantificar, entre otros aspectos así como la variabilidad de la energía superficial libre con asfaltos provenientes de otros países

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aliaga Quispe, J. (2017). Influencia del agua tratada sobre las propiedades físicas del concreto para las provincias de Concepción, Chupaca y Jauja. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes, Facultad de Ingeniería, Huancayo.
2. Alvarez Lugo, A., & Spinel Caro, S. (2009). Determinación de la energía superficial libre de cemento asfáltico colombianos. Colombia: Revista de ingeniería e investigación Vol.29.
3. Alvarez Lugo, I. E., & Caro Spinel, S. (2019). Determinación de la energía superficial libre de cementos asfálticos colombianos. Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá.
4. Alvarez, A. E., & Ovalles, E. (2016). Análisis de sistemas asfalto-agregado a partir de mediciones de energía superficial libre. Tesis de Pregrado, Universidad de Magdalena, Ingeniería Civil, Magdalena.
5. Bernal, Blanco, & Villalpando. (2010). Metodología de la investigación.
6. Bhasin, A., & Little, D. (2007). Characterization of Aggregate Surface Energy Using the Universal Sorption Device. Journal of Materials in Civil Engineering:ASCE.
7. Caso Quispe, S. W., & De la Cruz Gutierrez, G. (2021). Diseño de mezclas asfálticas en caliente modificadas con polímeros reciclados HPDE y SBR, para pavimentos en la ciudad de Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
8. Castro Mariño, J. E. (2017). Evaluación de la capacidad estructural de una mezcla asfáltica tibia MDC-19 utilizando aditivo modificadores de viscosidad. Tesis para obtener el título de especialista en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia.
9. Ccanto Mallma, G. (2010). Metodología de la investigación científica en ingeniería civil. Lima: Gerccantom.
10. Cely Leal, N. E. (2018). Estudio de la adhesión y cohesión de tres tipos de agregados pétreos utilizados en Bogotá-Colombia con Asfalto 60-70. Tesis de Posgrado, Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Ingeniería, Bogotá.
11. Chávarri M., C. M. (2007). Equipo para pavimentación con mezcla asfáltica.

12. Chen Tan, L., & Tan, M. C. (2018). Determinación de la propiedad de adhesión de asfaltos modificados con distintos tipos de polímeros en diferentes agregados y acondicionamientos, utilizando las técnicas de ensayos de adherencia de Bitumen y Goniometría. Tesis de Pregrado, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, San Jose.
13. Dokumen.tips. (2002). Alfonso montejo fonseca ingenieria de pavimentos. Bogota. doi:ISBN 958-96036-2-9
14. Fajardo Cachay, L. E., & Vergaray Huaman, D. A. (2014). Efecto de la incorporacion por via seca, del polvo de neumatico reciclado, como agregado fino en mezclas asfalticas. Tesis para optar el titulo profesional de Ingeniero Civil, Universidad San Martin de Porras, Lima-Perú.
15. Giraldo Huertas, J. J. (2016). Manual para los seminarios de Investigación en Psicología.
16. Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la Investigación.
17. Hernández, R., Fernández, C., & Lucio, B. (2006). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill.
18. Herrera Uribe, N. P. (2014). Estudio del pavimento de las vías del barrio salcalle, perteneciente a la parroquia Saquisilí, Catón Saquisilí, provincia de Cotopaxi y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes. Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica , Ambato.
19. Leguia Loarte, P. B. (2016). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima). Tesis de Pregrado, Universidad de San Martin de Porres, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima.
20. Manual de Carreteras. (2013). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Lima-Perú.
21. Medina Ramirez, V. H. (2003). Materiales que conformn una mezcla asfáltica. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Ucayali.
22. Minaya González, S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Segunda edición.

23. Montejo Fonseca, A. (2018). Ingeniería de Pavimentos. Bogota: Universidad Católica de Colombia.
24. Morante Moscol, R. (2017). Evaluación de la adherencia entre la concha de abanico y el ligante asfáltico. Tesis de Pregrado, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Piura.
25. Ontiveros Rojas, L. (2017). Evaluación de la adhesión entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones. Tesis de Pos Grado, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, D.F.
26. Padilla Rodríguez, A. (2004). Mezclas asfálticas. En A. Padilla Rodríguez, Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. (pág. 26).
27. Pinco Palcios, J. M. (2019). Control de calidad en la formulación de asfalto en caliente para el primer tramo Quinoa- Challhuamayo, del distrito del Tambo, provincia La- Mar, departamento de Ayacucho. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huancavelica, Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Ayacucho.
28. Rolando Franco, F. E. (2016). Estudio Comparativo entre Mezclas Asfálticas con Diluido RC-250 y Emulsión. Tesis de Pregrado, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Piura.
29. Rosado Sanz, A. H. (1999). Uso de asfalto tipo S.M.A. con Viatop 66 en pavimentos dentro del Municipio de Naucalpan de Juárez. Tesis para optar el título de Ingeniero Constructor, Instituto tecnológico de la construcción A.C., México D.F.
30. Tacca Cutipa, C. R., & Supo Pacori, W. D. (2016). Efecto de mejoradores de adherencia en la estabilidad y flujo MARSHALL de mezclas asfálticas. Tesis de Pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima.
31. Taipe Sarmiento, W., & Salas Tocasca, E. (2012). Comportamiento del Pavimento Flexible con el uso de Geomallas en el distrito de Lircay KM 0+010 Camino a Ocopa departamento de Huancavelica. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería de Minas - Civil, Huancavelica.
32. (1997). The Asphalt Institute.

33. Ulloa Rodriguez, J. L., & Ulloa Velasquez, F. A. (2020). Estado superficial del pavimento flexible mediante la aplicación del método PCI en la avenida metropolitana II, tramo entre Av. Mansiche y Av. Micaela bastidas, la Libertad 2020. Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Trujillo.
34. Urrego Aguilera, E. C., & Ruiz Ramírez, C. C. (2016). Determinación de la adherencia en mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos convencionales y materiales de Peña y Río. Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia, Programa de Ingeniería Civil, Bogotá.
35. 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.
36. Van Oss, C. (1994). Interfacial Forces in Aqueous Media. New York: Marcel Dekker Inc.
37. Vásquez Vélez, L. A. (2011). "Incidencia de los instrumentos de evaluación en el desarrollo de las competencias metacognitivas de los estudiantes del primer año de la facultad de pedagogía, psicología y educación de la universidad católica de cuenca". Tesis Pregrado, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y DE LA, Ambato.
38. Vega Pérrigo, D. A. (2018). Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al nuevo puerto de yurimaguas (km 1+000 a 2+000). Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de ciencias e Ingeniería, Lima.
39. Yucely, A. (2014). Cemento Asfáltico. Universidad de los Andes . Merida-Venezuela: Laboratorio de suelos y pavimentos.

ANEXOS

Anexo N°01: Matriz de consistencia



ENERGIA SUPERFICIAL LIBRE DEL CEMENTO ASFALTICO PARA CUANTIFICAR LA ADHESIÓN EN LAS INTERFASES DE UN PAVIMENTO EN HUANCAYO 2022

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general:</p> <p>¿De qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar de qué manera interviene la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>La energía superficial libre del cemento asfáltico aumenta la cuantificación de la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Energía superficial libre del cemento asfáltico</p>	<p>Energía superficial del cemento asfáltico (Método de placa de Wilhelmy)</p>	<p>Agua</p> <p>Glicerol</p> <p>Farmamida</p>	<p>Método de investigación: Cuantitativo.</p> <p>Tipo de investigación: Aplicado.</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo</p> <p>Diseño de investigación: El diseño de investigación utilizará un esquema experimental considerando que el análisis a realizar es teórico, bajo el siguiente esquema.</p> <p style="text-align: center;">OE → SA → XP → CE → RE</p> <p>Donde: OE = Objeto de Estudio SA = Agregados Pétreos XP = Cemento asfáltico CE = Adherencia RE = Resultados y Conclusiones</p> <p>Cuando: 2020.</p> <p>Población y muestra:</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>a) ¿Cómo varía el trabajo de adhesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?</p> <p>b) ¿Cómo interviene el trabajo de cohesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>a) Analizar como varía el trabajo de adhesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p> <p>b) Evaluar cómo interviene el trabajo de cohesión agregado-asfalto en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>a) El trabajo de adhesión agregado-asfalto aumenta en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p> <p>b) El trabajo de cohesión agregado-asfalto interviene significativamente en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Interfases De Adhesión</p>	<p>Trabajo de Adhesión Agregado - asfalto</p>	<p>Ecuación de Drupe</p>	



Anexo 1 – Matriz de consistencia



<p>pavimento en la provincia de Huancayo 2022?</p> <p>c) ¿Cómo altera la energía superficial libre de agregado pétreo en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022?</p>	<p>c) Determinar la alteración de la energía superficial de agregado pétreo en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p>	<p>pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p> <p>c) La energía superficial libre de agregado pétreo altera significativamente en la energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfases de un pavimento en la provincia de Huancayo 2022.</p>		<p>Trabajo de cohesión</p> <p>Agregado – asfalto</p>	<p>Ecuación de</p> <p>Drupe</p>	<p>Población. La población está constituida por 210 briquetas de asfalto.</p> <p>Muestra: La muestra es de acuerdo al método no probabilístico intencional, en este caso corresponde a 60 briquetas con el mejor comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente.</p> <p>Técnicas e instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recolección de datos <p>Técnicas de procesamiento de datos:</p> <p>Estadístico.</p>
				<p>Energía superficial de agregado pétreo</p>	<p>ensayo de la Gota</p> <p>Sésil</p>	

Anexo N°02: Certificado de ensayos

2022

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Bach. Ing. PAREDES MENDOZA, AUGUSTO ALAN Y
PAREDES MENDOZA, INDIRA KORI



**“ENERGÍA SUPERFICIAL LIBRE DEL
CEMENTO ASFALTICO PARA
CUANTIFICAR LA ADHESIÓN EN
LAS INTERFACES DE UN
PAVIMENTO EN HUANCAYO 2022”**



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.
FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.



***Método de la
placa de
Wilhelmy con
agua, formamida
y glicerol
(cantera Apata-
Pilcomayo)***

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

DIRECCIÓN : Pjs. 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.



METODO DE PLACA DE WILHELMY

(AASHTO TP-91)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".

TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori

CANTERA: Apata - Pilcomayo

HECHO POR: A.Y.G.

MATERIAL: PEN 85 - 100

FECHA: Mayo - 2022

LIQUIDO: Agua

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	IDENTIFICACION DE MUESTRA		
			1	2	3
1.-	Placa de vidrio				
2.-	Perimetro de placa de vidrio	cm	7.40	7.40	7.40
3.-	Volumen de placa de vidrio	cm ³	0.18	0.18	0.18
4.-	Masa de la placa + cemento asfáltico	gr	0.359	0.358	0.360
5.-	Fuerza	gr cm/s ²	352.18	351.20	353.16
6.-	Ángulo de contacto	cos(θ)	0.981	0.979	0.982
7.-	Promedio			0.981	


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198161

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 : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com.
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.



METODO DE PLACA DE WILHELMY

(AASHTO TP-91)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".

TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori

CANTERA: Apata - Pilcomayo

HECHO POR: A.Y.G.

MATERIAL: PEN 85 - 100

FECHA: Mayo - 2022

LIQUIDO: Formamida

ITEM	DESCRIPCION	UND.	IDENTIFICACION DE MUESTRA		
			1	2	3
1.-	Placa de vidrio				
2.-	Perímetro de placa de vidrio	cm	7.40	7.40	7.40
3.-	Volumen de placa de vidrio	cm ³	0.18	0.18	0.18
4.-	Masa de la placa + cemento asfáltico	gr	0.382	0.385	0.389
5.-	Fuerza	gr cm/s ²	374.74	377.69	381.61
6.-	Ángulo de contacto	cos(θ)	1.338	1.345	1.354
7.-	Promedio			1.345	


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198161

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 MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
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.

METODO DE PLACA DE WILHELMY					
<i>(AASHTO TP-91)</i>					
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA					
TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".					
TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori					
CANTERA: Apata - Pilcomayo			HECHO POR: A.Y.G.		
MATERIAL: PEN 85 - 100			FECHA: Mayo - 2022		
LIQUIDO: Glicerol					
ITEM	DESCRIPCION	UND.	IDENTIFICACION DE MUESTRA		
			1	2	3
1.-	Placa de vidrio				
2.-	Perimetro de placa de vidrio	cm	7.40	7.40	7.40
3.-	Volumen de placa de vidrio	cm3	0.18	0.18	0.18
4.-	Masa de la placa + cemento asfáltico	gr	0.401	0.409	0.404
5.-	Fuerza	gr cm/s2	393.38	401.23	396.32
6.-	Ángulo de contacto	cos(θ)	1.300	1.317	1.306
7.-	Promedio			1.308	


 Luis Camarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198101

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

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.



Método gota pendiente (cantera – Pilcomayo)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
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.



ENERGIA SUPERFICIAL LIBRE										
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA										
TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".										
TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori										
CANTERA: Pilcomayo										
MATERIAL: Agregado grueso										
HECHO POR: A.Y.G.										
FECHA: Mayo - 2022										
METODO GOTTA PENDIENTE										
LIQUIDO	Ángulo de contacto (θ)				r _i	r _i (1 - cos θ)	r _(w)	r ₍₊₎	r ₍₋₎	r _t (ergs/cm ²)
	g (°)	m (')	s (")	Sexagesimales						
AGUA	IZQ.	31	44	56.00	31.75	72.80	134.66	14.19	8.42	8.63
	DER.	31	54	51.00	31.91					
GLICEROL	IZQ.	82	50	45.50	82.85	64.00	72.07	14.19	8.42	8.63
	DER.	82	42	20.05	82.71					
FORMAMIDA	IZQ.	46	48	50.50	46.81	58.00	97.32	14.19	8.42	8.63
	DER.	47	50	57.78	47.85					


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198161

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

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.



Método gota pendiente (cantera – Apata)

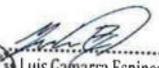
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. S.A.C.



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.

ENERGIA SUPERFICIAL LIBRE											
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA											
TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".											
TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori											
CANTERA: Apata						HECHO POR: A.Y.G.					
MATERIAL: Agregado grueso						FECHA: Mayo - 2022					
METODO GOTA PENDIENTE											
LIQUIDO		Ángulo de contacto (θ)				r _i	r _i (1 - cos θ)	r _(H)	r _(*)	r ₍₋₎	r _t (ergs/cm ²)
		g (°)	m (')	s (")	Sexagecimales						
AGUA	IZQ.	35	57	58.90	35.97	72.80	131.37	9.42	5.78	10.08	24.69
	DER.	36	54	59.80	36.92						
GLICEROL	IZQ.	90	40	27.65	90.67	64.00	62.14	9.42	5.78	10.08	24.69
	DER.	92	41	26.60	92.69						
FORMAMIDA	IZQ.	72	36	58.40	72.62	58.00	75.31	9.42	5.78	10.08	24.69
	DER.	72	40	45.80	72.68						


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198161

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 Cíviles

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
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.



***Energía
superficial libre
del cemento
asfáltico (cantera
Apata-
Pilcomayo)***

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 MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
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.
FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

ENERGIA SUPERFICIAL LIBRE (AASHTO TP-91)							
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA							
TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".							
TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori							
CANTERA: Apata - Pilcomayo				HECHO POR: A.Y.G.			
MATERIAL: PEN 85-100				FECHA: Mayo - 2022			
CEMENTO ASFALTICO							
LIQUIDO	cos(θ)	r _i	r _i (1 + cos(θ))	r _(w)	r ₍₊₎	r ₍₋₎	r _t
AGUA	0.981	72.80	144.19	5.25	4.39	5.03	14.65
GLICEROL	1.308	64.00	147.89				
FORMAMIDA	1.345	58.00	136.03				


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198161

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)

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

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.



Trabajo de cohesión y de adhesión (cantera Apata)

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

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.



TRABAJO DE ADHESION Y COHESION

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".

TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori

CANTERA: Apata

HECHO POR: A.Y.G.

MATERIAL: Agregado grueso - Cemento asfáltico PEN 85/100

FECHA: Mayo - 2022

Energía superficial libre del agregado (ergs/cm ²)	:	24.69
Energía superficial libre del cemento asfáltico (ergs/cm ²)	:	14.65

Descripción	r (m)	r (+)	r (-)
1 - Agregado petreo	9.42	5.78	10.08
2 - Cemento asfáltico PEN 85/100	4.80	1.80	4.62
3 - Trabajo de adhesión W _s l (ergs/cm ²)		32.30	
4 - Trabajo de Cohesión del agregado W _c (ergs/cm ²)		49.38	
5 - Trabajo de Cohesión del cemento asfáltico W _c (ergs/cm ²)		29.30	


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 198181

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.



Trabajo de cohesión y de adhesión (cantera Pilcomayo)

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 MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
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.



TRABAJO DE ADHESION Y COHESION

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

TITULO: "Energía superficial libre del cemento asfáltico para cuantificar la adhesión en las interfaces de un pavimento en Huancayo 2022".

TESISTAS: Paredes Mendoza, Augusto Alan y Paredes Mendoza, Indira Kori

CANTERA: Pilcomayo

HECHO POR: A.Y.G.

MATERIAL: Agregado grueso - Cemento asfáltico PEN 85/100

FECHA: Mayo - 2022

Energía superficial libre del agregado (ergs/cm ²)	:	31.24
Energía superficial libre del cemento asfáltico (ergs/cm ²)	:	14.65

Descripción	Γ (W)	Γ (+)	Γ (-)
1.- Agregado petreo	14.19	8.42	8.63
2.- Cemento asfáltico PEN 85/100	5.25	4.39	5.03
3.- Trabajo de adhesión Ws (ergs/cm ²)		42.59	
4.- Trabajo de Cohesión del agregado Wc (ergs/cm ²)		62.48	
5.- Trabajo de Cohesión del cemento asfáltico Wc (ergs/cm ²)		29.30	


 Luis Gamarra Espinoza
 INGENIERO CIVIL
 CIP 196151

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