

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de la adición de aceite degradado como  
agente antioxidante en el proceso de envejecimiento  
del cemento asfáltico de penetración 85-100,  
Huancayo 2021**

Kendenny Erik Ponce Arzapalo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

## ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| PORTADA.....                                   | 1   |
| DEDICATORIA.....                               | ii  |
| AGRADECIMIENTO.....                            | iii |
| ÍNDICE.....                                    | iv  |
| LISTA DE TABLAS.....                           | vii |
| LISTA DE FIGURAS.....                          | ix  |
| RESUMEN.....                                   | 11  |
| ABSTRACT.....                                  | 12  |
| INTRODUCCIÓN.....                              | 13  |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....      | 15  |
| 1.1. Planteamiento del Problema.....           | 15  |
| 1.2. Formulación del Problema.....             | 17  |
| 1.2.1. Problema General.....                   | 17  |
| 1.2.2. Problemas Específicos.....              | 17  |
| 1.3. Objetivo general.....                     | 17  |
| 1.3.1. Objetivos específicos.....              | 17  |
| 1.4. Justificación e importancia.....          | 18  |
| 1.4.1. Justificación práctica.....             | 18  |
| 1.4.2. Justificación económica.....            | 18  |
| 1.4.3. Justificación metodológica.....         | 18  |
| 1.4.4. Importancia.....                        | 19  |
| 1.5. Delimitación de la investigación.....     | 19  |
| 1.5.1. Delimitación espacial.....              | 19  |
| 1.5.2. Delimitación temporal.....              | 19  |
| 1.5.3. Delimitación conceptual.....            | 19  |
| 1.6. Hipótesis y descripción de variables..... | 20  |
| 1.6.1. Hipótesis General.....                  | 20  |
| 1.6.2. Hipótesis Específicas.....              | 20  |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....                 | 21  |

|  |   |    |
|--|---|----|
| 2.1.   | Antecedentes del Problema.....                | 21 |
| 2.1.1.   | Antecedentes Nacionales .....                 | 21 |
| 2.1.2.   | Antecedentes Internacionales.....             | 23 |
| 2.2.   | Bases Teóricas.....                           | 25 |
| 2.2.1.   | Envejecimiento .....                          | 26 |
| 2.2.2.   | Asfalto modificado .....                      | 30 |
| 2.2.3.   | Evaluación de la viscosidad.....              | 34 |
| 2.3.   | Definición de Términos Básicos.....           | 35 |
| CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... |   | 38 |
| 3.1  | Métodos y alcance de la investigación.....    | 38 |
| 3.1.1.   | Método de Investigación.....                  | 38 |
| 3.1.2.   | Tipo .....                                    | 38 |
| 3.1.3.   | Nivel .....                                   | 38 |
| 3.2  | Diseño de la investigación .....              | 39 |
| 3.3  | Población y muestra .....                     | 39 |
| 3.3.1.   | Población.....                                | 39 |
| 3.3.2.   | Muestra .....                                 | 39 |
| 3.3.3.   | Muestreo .....                                | 40 |
| 3.4  | Técnicas de recolección de datos.....         | 40 |
| 3.5  | Instrumento de análisis de datos .....        | 40 |
| 3.6  | Variables .....                               | 40 |
| 3.6.1.   | Variable Independiente.....                   | 40 |
| 3.6.2.   | Variables Dependientes.....                   | 40 |
| 3.7  | Operacionalización de las variables.....      | 41 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....           |   | 42 |
| 4.1.   | Caracterización básica de los materiales..... | 42 |
| 4.1.1.   | Caracterización de agregados .....            | 42 |
| 4.1.2.   | Clasificación del cemento asfáltico .....     | 49 |

|                                 |   |     |
|---------------------------------|---|-----|
| 4.1.3.                          | Características del aceite degradado.....                         | 50  |
| 4.2.                            | Resultados propios del estudio.....                               | 51  |
| 4.2.1                           | Viscosidad del PEN 85–100 por oxidación inducida (OE 1).....      | 52  |
| 4.2.2                           | Viscosidad del PEN 85–100 con aceite degradado (OE 2).....        | 54  |
| 4.2.3                           | Propiedades mecánicas PEN 85–100 con aceite degradado (OE 3)..... | 60  |
| 4.2.4                           | Aceite degradado como modificador del ligante asfáltico (OG)..... | 83  |
| 4.3.                            | Análisis estadístico de los resultados.....                       | 85  |
| 4.4.                            | Discusión de resultados y contraste de hipótesis.....             | 99  |
| CONCLUSIONES.....               |   | 100 |
| RECOMENDACIONES.....            |   | 102 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... |   | 104 |
| ANEXOS.....                     |   | 106 |
| ANEXO A.                        | Panel fotográfico.....  | 106 |
| ANEXO B.                        | Certificados de los ensayos de laboratorio.....                   | 123 |
| ANEXO C.                        | Matriz de consistencia.....                                       | 142 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Operacionalización de la variable.....                                       | 41 |
| Tabla 2: Distribución granulométrica del agregado grueso de 1/2" .....                | 44 |
| Tabla 3: Distribución granulométrica del agregado fino triturado.....                 | 46 |
| Tabla 4: Distribución granulométrica del agregado fino zarandeado .....               | 48 |
| Tabla 5: Características del CAP PEN 85 – 100 según ASTM D 946 .....                  | 50 |
| Tabla 6: Composición química del aceite por fuente de degradado .....                 | 51 |
| Tabla 7: Combinación de agregados provenientes de Chupuro por MAC 2 .....             | 60 |
| Tabla 8: Especificaciones de combinación de agregados por MAC 2 .....                 | 61 |
| Tabla 9: Pesos por briqueta de combinación de agregados para OCA .....                | 63 |
| Tabla 10: Resultados de briquetas ensayadas a un 4.00% de asfalto .....               | 64 |
| Tabla 11: Resultados de briquetas ensayadas a un 4.50% de asfalto .....               | 65 |
| Tabla 12: Resultados de briquetas ensayadas a un 5.00% de asfalto .....               | 66 |
| Tabla 13: Resultados de briquetas ensayadas a un 5.50% de asfalto .....               | 67 |
| Tabla 14: Resultados de briquetas ensayadas a un 6.00% de asfalto .....               | 68 |
| Tabla 15: Resultados de briquetas ensayadas a un 6.50% de asfalto .....               | 69 |
| Tabla 16: Resumen de las propiedades del óptimo contenido de asfalto .....            | 73 |
| Tabla 17: Resultados de estabilidad y flujo por variación de aceite degradado.....    | 73 |
| Tabla 18: Resultados de peso unitario y vacíos por variación de aceite degradado..... | 77 |
| Tabla 19: Resultados de VMA y VFA por variación de aceite degradado.....              | 80 |
| Tabla 20: Análisis descriptivo de aceite degradado por estabilidad (kg) .....         | 85 |
| Tabla 21: Prueba de normalidad por estabilidad (kg) .....                             | 87 |
| Tabla 22: Correlación bivariada para estabilidad (kg) .....                           | 89 |
| Tabla 23: Análisis descriptivo de aceite degradado por flujo (mm).....                | 90 |
| Tabla 24: Prueba de normalidad por flujo (mm) .....                                   | 92 |
| Tabla 25: Correlación bivariada para flujo (mm).....                                  | 94 |
| Tabla 26: Análisis descriptivo de aceite degradado por vacíos (%).....                | 95 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 27: Prueba de normalidad por vacíos (%) .....  | 96 |
| Tabla 28: Correlación bivariada para vacíos (%)..... | 98 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Pavimento desgastado: aparición de fallas tempranas en el pavimento.....   | 16 |
| Figura 2. Curvas maestras de aglutinante no modificado y aglutinante modificado con aceite con múltiples concentraciones ..... | 33 |
| Figura 3. Ubicación de la planta chancadora de Chupuro – Río Mantaro.....  | 43 |
| Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso de ½” .....   | 45 |
| Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino triturado .....   | 47 |
| Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino zarandeado.....   | 49 |
| Figura 7. Gráfica de viscosidad por temperatura del PEN 85-100.....  | 52 |
| Figura 8. Gráfica de viscosidad por temperatura del aceite degradado.....  | 53 |
| Figura 9. Gráfica de viscosidad del asfalto modificado al 56% de su peso.....  | 54 |
| Figura 10. Gráfica de viscosidad del asfalto modificado al 44% de su peso.....   | 55 |
| Figura 11. Gráfica de viscosidad del asfalto modificado al 22% de su peso.....   | 56 |
| Figura 12. Gráfica de viscosidad del asfalto modificado al 11% de su peso.....   | 57 |
| Figura 13. Gráfica de viscosidad del asfalto modificado al 5% de su peso.....  | 58 |
| Figura -14. Gráfica de viscosidad del asfalto modificado al 2% de su peso .....  | 59 |
| Figura 15. Curva granulométrica de la mezcla de agregados de Chupuro .....   | 62 |
| Figura 16. Gráfica resultante del análisis del OCA – Estabilidad (kg).....   | 70 |
| Figura 17. Gráfica resultante del análisis del OCA – Flujo (mm) .....  | 70 |
| Figura 18. Gráfica resultante del análisis del OCA – Vacíos (%).....   | 71 |
| Figura 19. Gráfica resultante del análisis del OCA – Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) .....                                 | 71 |
| Figura 20. Gráfica resultante del análisis del OCA – VMA (%).....  | 72 |
| Figura 21. Gráfica resultante del análisis del OCA – VFA (%).....  | 72 |
| Figura 22. Gráfica de estabilidad por adición de aceite degradado.....   | 75 |
| Figura 23. Gráfica del flujo por adición de aceite degradado.....  | 76 |
| Figura 24. Gráfica del porcentaje de vacíos por adición de aceite degradado .....  | 78 |
| Figura 25. Gráfica del peso unitario por adición de aceite degradado.....  | 79 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 26. Gráfica del VMA por adición de aceite degradado .....              | 81 |
| Figura 27. Gráfica del VFA por adición de aceite degradado .....              | 82 |
| Figura 28. Gráfica resumen de viscosidad por adición de aceite degradado..... | 84 |
| Figura 29. Diagrama de bigotes para estabilidad (kg).....                     | 88 |
| Figura 30. Diagrama de dispersión de puntos para estabilidad (kg).....        | 89 |
| Figura 31. Diagrama de bigotes para flujo (mm) .....                          | 93 |
| Figura 32. Diagrama de dispersión de puntos para estabilidad (kg).....        | 94 |
| Figura 33. Diagrama de bigotes para vacíos (%) .....                          | 97 |
| Figura 34. Diagrama de dispersión de puntos para vacíos (%).....              | 98 |



## RESUMEN

En la presente investigación, se pretende determinar en qué medida la adición de aceite degradado afecta el proceso de envejecimiento del cemento asfáltico de penetración 85-100, enfocada en mejorar el tiempo de vida útil de un pavimento asfáltico en la región de Huancayo. Además de lograr darle un uso al aceite degradado en desuso, ya que este componente puede llegar a ser muy contaminante para el medio ambiente al desecharse de forma incorrecta debido a la cantidad de químicos peligrosos que lo componen.

Para el desarrollo de la investigación, se aplicaron distintos ensayos de laboratorio que permiten evaluar el nivel de oxidación presentado por un ligante asfáltico modificado, sometido a un envejecimiento inducido por temperatura de ensayo y verificado mediante su viscosidad resultante. Primero se plantea evaluar las viscosidades rotacionales características del asfalto modificado y el aceite degradado de forma independiente, para luego comenzar a añadir de forma progresiva el aceite degradado en distintos porcentajes sobre el peso del asfalto. Una vez caracterizado este proceso, es importante evaluar las propiedades mecánicas dentro de un diseño de mezcla asfáltica en caliente, para así poder analizar un óptimo contenido de aceite degradado para una mezcla asfáltica en caliente diseñada por MAC – 02 y bajo el método de Marshall.

Ya analizados los resultados obtenidos, se llega a la conclusión de que efectivamente el aceite degradado logra disminuir la viscosidad del asfalto, pero al mismo tiempo altera las propiedades mecánicas de diseño en la mezcla asfáltica en caliente. Obteniendo de este modo un óptimo contenido de aceite degradado de 6.01% que permite mitigar en mayor medida la oxidación generada por el envejecimiento del asfalto, y al mismo tiempo permite conservar en mayor medida posible las propiedades de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos del diseño de mezcla propuesto.

**Palabras clave.** Aceite degradado, envejecimiento, viscosidad, propiedades mecánicas, PEN 85-100.

## ABSTRACT

The present research aims to determine to what extent the addition of degraded oil affects the aging process of 85-100 penetration asphalt cement, focused on improving the useful life of an asphalt pavement in the Huancayo region. In addition to giving a use to the disused degraded oil, since this component can become very polluting for the environment when disposed of incorrectly due to the amount of dangerous chemicals that compose it.

For the development of the research, different laboratory tests were applied to evaluate the level of oxidation presented by a modified asphalt binder subjected to an aging induced by the test temperature and verified by its resulting viscosity. First, it is proposed to evaluate the characteristic rotational viscosities of the modified asphalt and the degraded oil independently, and then begin to progressively add the degraded oil in different percentages on the weight of the asphalt. Once this process is characterized, it is important to evaluate the mechanical properties within a hot mix asphalt design, thus being able to analyze an optimal degraded oil content for a hot mix asphalt designed by MAC - 02 and under the Marshall method.

Once the results obtained have been analyzed, it is concluded that effectively the degraded oil manages to reduce the viscosity of the asphalt, but at the same time it alters the mechanical design properties in the hot mix asphalt. Obtaining in this way an optimal content of degraded oil of 6.01% that allows to mitigate to a greater extent the oxidation generated by the aging of the asphalt, and at the same time allows to preserve the stability, flow and percentage of design voids properties to the greatest extent possible proposed mix.

**Key words.** Weathered oil, aging, viscosity, mechanical properties, PEN 85-100.