

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de la adición de polvo de caucho como
conservante en el proceso de envejecimiento del
cemento asfáltico de penetración 120-150 en zonas
tropicales, Huancayo 2021**

Arturo Candiotti Loayza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

ÍNDICE

PORTADA.....	1
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	18
1.3.1. Justificación práctica.....	18
1.3.2. Justificación económica	19
1.3.3. Justificación metodológica.....	19
1.3.4. Importancia.....	19
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1. Delimitación espacial	19
1.4.2. Delimitación temporal	20
1.4.3. Delimitación conceptual	20
1.5. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	20
1.5.1. Hipótesis general	20

1.5.2.	Hipótesis específicas	20
1.5.3.	Variables.....	20
1.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....		22
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	22
2.1.1.	Antecedentes nacionales.....	22
2.1.2.	Antecedentes internacionales.....	24
2.2.	BASES TEÓRICAS	27
2.2.1.	Envejecimiento del asfalto	27
2.2.2.	Bitumen.....	30
2.2.3.	Caucho	35
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	39
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		41
3.1.	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.1.1.	Método de investigación	41
3.1.2.	Tipo.....	42
3.1.3.	Nivel.....	42
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	43
3.3.1.	Población.....	43
3.3.2.	Muestra.....	43
3.3.3.	Muestreo.....	44
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	44
3.4.2.	Instrumento de análisis de datos	45
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46

4.1.	DESCRIPCIÓN BÁSICA PARA EL ESTUDIO	46
4.1.1.	Estudios previos cap PEN 120-150	47
4.1.2.	Estudios previos polvo de caucho	48
4.1.3.	Estudios previos agregados.....	49
4.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	55
4.2.1.	Oxidación acelerada del PEN 120/150 – OE1	55
4.2.2.	Análisis PEN 120/150 modificado con caucho – OE2	60
4.2.3.	Propiedades mecánicas diseño MAC/02 – OE3	67
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS POLVO DE CAUCHO RESUMEN - OG 81	
4.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	93
4.4.1.	Viscosidad en muestra con polvo de caucho.....	93
4.4.2.	Viscosidad en muestra de asfalto envejecido	105
4.4.3.	Estabilidad en muestra de asfalto envejecido.....	116
	CONCLUSIONES.....	121
	RECOMENDACIONES	123
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
	ANEXOS	128
ANEXO 1.	PANEL FOTOGRÁFICO	128
ANEXO 2.	CERTIFICADOS	145

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable.....	21
Tabla 2. Efecto de diferentes temperaturas sobre el caucho	36
Tabla 3: Especificaciones básicas del cemento asfáltico	47
Tabla 4: Granulometría del polvo de caucho NFU	48
Tabla 5: Granulometría de la piedra triturada de Matahuasi – 1/2”	50
Tabla 6: Granulometría de la arena zarandeada de Matahuasi	52
Tabla 7: Granulometría de la arena procesada de Matahuasi.....	54
Tabla 8: Mezcla de agregados para MAC/02 de diseño.....	67
Tabla 9: Porcentajes de mezcla resultantes para MAC/02 de diseño	68
Tabla 10: Cálculo de pesos por malla para OCA del diseño Marshall.....	70
Tabla 11: Resultados de ensayo de Marshall MTC E 504.....	71
Tabla 12: Propiedades de mezcla OCA por MAC/02 del PEN 120-150	81
Tabla 13: Resumen de resultados de estabilidad – Caucho (%).....	85
Tabla 14: Resumen de resultados de flujo – Caucho (%)	87
Tabla 15: Resumen de resultados de vacíos – Caucho (%).....	89
Tabla 16: Resumen de propiedades volumétricas – Caucho (%).....	90
Tabla 17: Descriptivos de viscosidad modificada con caucho.....	94
Tabla 18: Prueba de normalidad de viscosidad modificada con caucho	102
Tabla 19: Correlación de viscosidad modificada con caucho (15% y 25%).....	103
Tabla 20: Correlación de viscosidad modificada con caucho (20%)	104
Tabla 21: Descriptivos de viscosidad envejecida	105
Tabla 22: Prueba de normalidad de viscosidad envejecida.....	114
Tabla 23: Correlación de viscosidad sometida a envejecimiento	115
Tabla 24: Descriptivos de estabilidad por porcentaje de caucho.....	116

Tabla 25: Prueba de normalidad de estabilidad (kg)	119
Tabla 26: Correlación de estabilidad modificada con caucho.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Depósito de llantas en desuso en las veredas de las calles del Callao.	16
Figura 2. Reparación de pavimento que presenta fallas a corto plazo	17
Figura 3. Representación esquemática de la estructura típica del betún	32
Figura 4. Curva granulométrica del polvo de caucho NFU	49
Figura 5. Curva granulométrica de la piedra de ½" - Matahuasi.....	51
Figura 6. Curva granulométrica de la arena zarandeada - Matahuasi.....	53
Figura 7. Curva granulométrica de la arena procesada - Matahuasi.....	55
Figura 8. Curva viscosidad PEN 120/150 por temperatura (°C)	57
Figura 9. Curva viscosidad PEN 120/150 envejecido a 30 minutos	58
Figura 10. Curva viscosidad PEN 120/150 envejecido a 60 minutos	59
Figura 11. Curva viscosidad PEN 120/150 envejecido a 90 minutos	60
Figura 12. Curva viscosidad PEN 120/150 envejecido de referencia	61
Figura 13. Curva viscosidad PEN 120/150 modificado a un 5% de caucho	62
Figura 14. Curva viscosidad PEN 120/150 modificado a un 10% de caucho	63
Figura 15. Curva viscosidad PEN 120/150 modificado a un 15% de caucho	64
Figura 16. Curva viscosidad PEN 120/150 modificado a un 20% de caucho	65
Figura 17. Curva viscosidad PEN 120/150 modificado a un 25% de caucho	66
Figura 18. Curva granulométrica MAC/02 del diseño base	69
Figura 19. Porcentaje de vacíos del PEN 120/150 a distintos porcentajes	76
Figura 20. Estabilidad (kg) del PEN 120/150 a distintos porcentajes	77
Figura 21. Flujo (mm) del PEN 120/150 a distintos porcentajes.....	78
Figura 22. VMA (%) del PEN 120/150 a distintos porcentajes	79
Figura 23. VFA (%) del PEN 120/150 a distintos porcentajes	79
Figura 24. (gr/cm ³) del PEN 120/150 a distintos porcentajes	80

Figura 25. Viscosidad Resumen del envejecimiento del PEN 120-150.....	83
Figura 26. Viscosidad Resumen del PEN 120-150 modificado con caucho.....	84
Figura 27. Gráfica de estabilidad (kg) por porcentaje de caucho adicionado.....	86
Figura 28. Gráfica de flujo (mm) por porcentaje de caucho adicionado	88
Figura 29. Gráfica de vacíos (%) por porcentaje de caucho adicionado	90
Figura 30. Gráfica de VMA (%) por porcentaje de caucho adicionado.....	92
Figura 31. Gráfica de VFA (%) por porcentaje de caucho adicionado.....	93
Figura 32. Gráfica de peso unitario por porcentaje de caucho adicionado.....	93
Figura 33. Gráfica de dispersión de punto viscosidad con caucho (%)	104
Figura 34. Gráfica de dispersión de puntos envejecimiento (min)	116
Figura 35. Gráfica de dispersión de puntos estabilidad (kg).....	120

RESUMEN

En una mejora constante en las tecnologías aplicadas al ligante asfáltico modificado con caucho, en la presente investigación, se plantea por objetivo determinar en qué medida adherir polvo de caucho afecta el proceso de envejecimiento del cemento asfáltico de penetración 120-150 décimos de milímetro. Es importante considerar que la viscosidad puede alterarse al inducir al envejecimiento una muestra de asfalto; por ello, el caucho adicionado por vía húmeda puede colaborar a recuperar las propiedades perdidas en la fase de obtención de la mezcla.

Los objetivos fueron analizados en un diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumpla con los requerimientos de la normativa Marshall, al cual se le adicionó caucho por vía húmeda en distintos porcentajes sobre el peso del ligante asfáltico. El asfalto de penetración 120-150 décimos de milímetro fue sometido a varios ensayos de viscosidad donde se alteraron sus propiedades mediante procesos de envejecimiento inducido y se les modificó con caucho para mitigar el daño producido. Finalmente, se compararon las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada y de la mezcla asfáltica control.

Se llegó a la conclusión de que, a partir de un asfalto nuevo de penetración 120-150 décimos de milímetro, existe una pérdida en la viscosidad progresiva y que la adición de caucho consigue recuperar esta propiedad y mejorarla. Este valor de recuperación está relacionado al cumplimiento de las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica, ya que, en porcentajes superiores al 15% de adición de caucho, se consigue mayores valores de conservación de viscosidad.

Palabras clave. Polvo de caucho, mezcla asfáltica en caliente, envejecimiento, propiedades mecánicas, viscosidad

ABSTRACT

In a constant improvement in the technologies applied to rubber modified asphalt binder, the objective of this research is to determine to what extent adhering rubber powder affects the aging process of asphalt cement penetration 120-150 tenths of a millimeter. It is important to consider that the viscosity can be altered when an asphalt sample is induced to age, therefore the rubber added by wet means can help to recover the properties lost in the phase of obtaining the mixture.

The objectives were analyzed in a hot mix asphalt design that meets the requirements of the Marshall standard, to which rubber was added by the wet method in different percentages on the weight of the asphalt binder. Penetration asphalt 120-150 tenths of a millimeter was subjected to several viscosity tests where its properties were altered by induced aging processes and it was modified with rubber to mitigate the damage produced. Finally, the mechanical properties of the modified asphalt mix and the control asphalt mix were compared.

It was concluded that from a new asphalt penetration 120-150 tenths of a millimeter there is a progressive loss in viscosity and that the addition of rubber manages to recover this property and improve it. This recovery value is related to the fulfillment of the mechanical and volumetric properties of the asphalt mixture, since in percentages greater than 15% of rubber addition higher values of viscosity conservation are achieved.

Keywords. Rubber powder, hot mix asphalt, aging, mechanical properties, viscosity