

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de la alteración de las
propiedades físicas y mecánicas del
asfalto y de la mezcla asfáltica
elaborada con sustitución del
agregado por escorias
metalúrgicas Huancayo 2021**

Pamela Cintya Lavando Ramón

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

ÍNDICE

Agradecimientos	2
Dedicatoria.....	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento del Problema.....	16
1.1.1. Problema General.....	17
1.1.2. Problemas Específicos	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación práctica	18
1.3.2. Justificación económica	18
1.3.3. Justificación metodológica	18
1.3.4. Importancia	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables	19
1.4.1 Hipótesis	19
1.4.2 Descripción de variables	19
1.4.3 Operacionalización.....	20
MATRIZ OPERACIONAL	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Antecedentes del problema	22

2.1.1	Antecedentes Nacionales	22
2.1.2	Antecedentes Internacionales	25
2.2	Bases Teóricas	27
2.2.1	Escorias Metalúrgicas.....	27
2.2.2	Viscosidad dinámica - Brookfield	30
2.2.3	Ductilidad de los materiales bituminosos	33
2.2.4	Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		41
3.1	Métodos y alcance de la investigación	41
3.1.3	Método de investigación	41
3.1.4	Tipo de la investigación.....	41
3.1.5	Nivel de la investigación.....	41
3.2	Diseño de la investigación.....	42
3.3	Población y muestra	42
3.3.1	Población	42
3.3.2	Muestra	42
3.3.3	Muestreo.....	43
3.4	Técnicas de recolección de datos.....	43
3.4.1	Técnicas de recolección de datos	43
3.4.2	Instrumento de análisis de datos	43
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS - RESULTADOS		44
4.1.	Descripción de la zona de estudio	44
4.1.1.	Ubicación	44
4.1.2.	Características de la zona de estudio	44
4.2.	Estudios previos	44
4.2.1.	Estudios de campo	44
4.2.2.	Estudios de laboratorio	46

4.3. Análisis de resultados obtenidos	54
4.3.1 Ensayo de Viscosidad	54
4.3.2 Ensayo de ductilidad	60
4.3.3 Propiedades Mecánicas	66
4.4 Resultados de la información	73
4.5. Análisis estadístico	81
4.5.1 Ensayo de Viscosidad	81
4.5.2 Ensayo de Ductilidad.....	87
4.5.3 Estabilidad.....	96
4.5.4 Flujo.....	100
4.6 Discusión de resultados.....	105
4.6.1 Análisis del efecto de adición de escorias metalúrgicas en las propiedades físicas y mecánicas	105
4.6.2 Efecto de la viscosidad en el asfalto en la viscosidad.....	105
4.6.3 Efecto de la viscosidad en el asfalto en la ductilidad	106
4.6.4 Efecto de la estabilidad y la fluencia en la mezcla asfáltica	107
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	108
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIÓN	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	114
ANEXO 2: FICHA TÉCNICA.....	116
ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO	143
ANEXO 4: TABLAS ESTADÍSTICAS	165
Anexo 1 : Prueba de normalidad Shapiro Wilk Viscosidad de asfalto	165
Anexo 2 : Prueba de Normalidad Viscosidad al 10% de escoria	168
Anexo 3 : Prueba de normalidad Viscosidad al 20% de escoria.....	171
Anexo 4 : Descriptivos estadísticos Ductilidad al asfalto natural	173
Anexo 5 : Descriptivos estadísticos Ductilidad al asfalto con 10% escoria	176

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2.1: Tabla de Composición química de escorias de alto horno en %.	28
--	----

Capítulo 4

Tabla 4.1: Tipo de cemento asfáltico según temperatura ambiente.....	44
Tabla 4.2: Especificaciones básicas del cemento asfáltico	46
Tabla 4.3: Granulometría de piedra triturada de Matahuasi – ½”	47
Tabla 4.4: Granulometría de la arena zarandeada de Matahuasi	48
Tabla 4.5: Granulometría de la arena chancada de Matahuasi.....	49
Tabla 4.6: Granulometría de Filler	50
Tabla 4.7: Granulometría de la escoria	53
Tabla 4.8: <i>Porcentaje de combinación para mezcla de agregado por MAC 2</i>	67
Tabla 4.9: <i>Puntos críticos en los tamices de clasificación más fina</i>	68
Tabla 4.10: <i>Pesos por malla – ensayo Marshall</i>	70
Tabla 4.11: <i>Estabilidad y flujo – ensayo Marshall</i>	71
Tabla 4.12: <i>Estabilidad por porcentaje de escoria adicionado</i>	75
Tabla 4.13: <i>Vacíos (%) y flujo (mm) por porcentaje de escoria adicionado</i>	78
Tabla 4.14: Prueba de normalidad Shapiro Wilk Viscosidad de asfalto.....	81
Tabla 4.15: Tabla de correlación viscosidad del asfalto natural.....	82
Tabla 4.16: Prueba de normalidad Viscosidad al 10% de escoria	83
Tabla 4.17: Tabla de correlación viscosidad del asfalto 10% de escoria	84
Tabla 4.18: Prueba de normalidad Viscosidad al 20% de escoria	86
Tabla 4.19: Tabla de correlación viscosidad del asfalto 20% de escoria	86
Tabla 4.20: Descriptivos estadísticos Ductilidad al asfalto natural	88
Tabla 4.21: Prueba de normalidad Ductilidad al asfalto natural	88
Tabla 4.22: Tabla de correlación ductilidad del asfalto natural	89

Tabla 4.23: Descriptivos estadísticos Ductilidad al asfalto con 10% escoria	90
Tabla 4.24: Prueba de normalidad ductilidad asfalto con 10% escoria	91
Tabla 4.25: Tabla de correlación ductilidad del asfalto con 10% escoria	91
Tabla 4.26: Descriptivos estadísticos Ductilidad al asfalto con 20% escoria	93
Tabla 4.27: Prueba de normalidad ductilidad asfalto con 20% escoria	95
Tabla 4.28: Tabla de correlación ductilidad del asfalto con 20% escoria	95
Tabla 4.29: Descriptivos estadísticos estabilidad (kg) – escoria (%)	97
Tabla 4.30: Prueba de normalidad para Estabilidad – Escoria (%).....	98
Tabla 4.31: Tabla de correlación Estabilidad – Escoria (%).....	99
Tabla 4.32: Descriptivos estadísticos flujo (mm) – escoria (%).....	101
Tabla 4.33: Prueba de normalidad para el Flujo (mm) – Escoria (%).....	102
Tabla 4.34: Tabla de correlación Flujo (mm) – Escoria (%)	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1: Ensayos de consistencia, viscosidades según temperatura	30
Figura 2.2: Ensayo viscosímetro Brookfield	32
Figura 2.3: Lectura de Resultados.....	33
Figura 2.4: Molde y placa para ductilómetro	34
Figura 2.5: Ábaco de Precisión de los datos	37
Figura 2.6: Ensayo de ductilidad inicio del ensayo.....	37
Figura 2.7: Ensayo de ductilidad al borde de la falla	38

Capítulo 4

Figura 4.1: Agregados de la planta chancadora de Matahuasi.....	45
Figura 4.2: Escoria proveniente de la mina de La Oroya	46
Figura 4.3: Curva granulométrica de la piedra de ½” - Matahuasi	48
Figura 4.4: Curva granulométrica de la arena zarandeada - Matahuasi.....	49
Figura 4.5: Curva granulométrica de la arena chancada - Matahuasi	50
Figura 4.6: Curva granulométrica de filler	51
Figura 4.7: Tamizado de escoria	52
Figura 4.8: Escoria Tamizada.....	52
Figura 4.9: Curva granulométrica de la escoria	53
Figura 4.10: Viscosímetro Brookfield	54
Figura 4.11: Viscosidad del cemento asfáltico 85-100 sin adición de escoria	55
Figura 4.12: Viscosidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 5% escoria.....	56
Figura 4.13: Viscosidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 10% escoria	57
Figura 4.14: Viscosidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 15% escoria	58
Figura 4.15: Viscosidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 20% escoria	59
Figura 4.16: Ductilidad del cemento asfáltico 85-100.....	61

Figura 4.17: Ductilidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 5% escoria	62
Figura 4.18: Ductilidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 10% escoria	63
Figura 4.19: Ductilidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 15% escoria	64
Figura 4.20: Ductilidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 15% escoria	65
Figura 4.21: <i>Curva granulométrica resultante</i>	69
Figura 4.22: <i>Estabilidad (kg) del PEN 85-100 a distintos porcentajes del cemento asfáltico</i>	71
Figura 4.23: <i>Flujo (mm) del PEN 85-100 a distintos porcentajes de cemento asfáltico</i>	72
Figura 4.24: Resumen de ensayo viscosidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 5%, 10%, 15% y 20% escoria.....	73
Figura 4.25: Resumen de ensayo ductilidad del cemento asfáltico 85-100 con adición de 5%, 10%, 15% y 20% escoria.....	74
Figura 4.26: Estabilidad (kg) por porcentaje de escoria adicionado	76
Figura 4.27: Vacíos (%) por porcentaje de escoria adicionado.....	78
Figura 4.28: Flujo (mm) por porcentaje de escoria adicionado	79
Figura 4.29: VMA (%) por porcentaje de escoria adicionado	80
Figura 4.30: Diagrama de dispersión de puntos al asfalto natural	83
Figura 4.31: Diagrama de dispersión viscosidad asfalto 10% escoria	85
Figura 4.32: Diagrama de dispersión viscosidad asfalto 20% escoria	87
Figura 4.33: Diagrama de dispersión de puntos ductilidad al asfalto natural.....	90
Figura 4.34: Diagrama de dispersión ductilidad asfalto con 10% escoria	92
Figura 4.35: Diagrama de dispersión ductilidad asfalto con 20% escoria	96
Figura 4.36: Diagrama de dispersión puntos Estabilidad – Escoria (%)	100
Figura 4.37: <i>Diagrama de dispersión puntos Flujo (mm) – Escoria (%)</i>	104

RESUMEN

La investigación titulada “Análisis de la alteración de las propiedades físicas y mecánicas del asfalto y de la mezcla asfáltica elaborada con sustitución del agregado por escorias metalúrgicas”, tuvo como objetivo principal analizar si existe algún tipo de alteración de las propiedades físicas y mecánicas del asfalto y de la mezcla asfáltica elaborada con sustitución del agregado por escorias metalúrgicas. Es por ello que en la presente investigación se realizó ensayos para medir las alteraciones en la viscosidad y ductilidad del asfalto, estabilidad, fluencia y volumen de vacíos por la presencia de escoria metalúrgica. El método de investigación aplicado es el método científico, tipo de la investigación, nivel de la investigación nivel explicativo y diseño de la investigación experimental. La investigación ha concluido que respecto a la viscosidad no ha habido cambios importantes respecto a los valores de viscosidad dinámica, respecto a la ductilidad sí se ha apreciado que la adición de escoria reduce la ductilidad del asfalto. Obteniendo valores de ductilidad de 97.72 cm en el patrón hasta 24.25 cm para adiciones de hasta 20% de escoria. Denotando una reducción de hasta 75.20%, en el caso de las propiedades mecánicas, se pudo evidenciar un efecto negativo, una disminución de 22.60% en la estabilidad, un incremento de hasta 32% de volumen de vacíos y de 60% en el flujo. Teniendo en cuenta los parámetros de aceptación establecidos en los manuales del MTC. En el caso de las propiedades mecánicas, la dosificación máxima recomendada es de 10% de escoria.

Palabras clave: *Escoria metalúrgica, propiedades mecánicas, propiedades físicas, viscosidad, ductilidad*

ABSTRACT

The research entitled "Analysis of the condition of the physical and mechanical properties of the asphalt and of the asphalt mixture made with substitution of the aggregate for metallurgical slag", had as its main objective to analyze if there is any type of condition of the physical and mechanical properties of the asphalt. and of the asphalt mixture elaborated with substitution of the aggregate for metallurgical slag. That is why in the present investigation tests were carried out to measure the alterations in the viscosity and ductility of the asphalt, stability, creep and void volume due to the presence of metallurgical slag. The applied research method was scientific method, type of research, level of research, explanatory level and design of experimental research. The investigation has concluded that with respect to the viscosity there have been no important changes with respect to the dynamic viscosity values, with respect to the ductility if it is appreciated that the reduction of slag reduces the ductility of the asphalt. Obtaining ductility values of 97.72 cm in the pattern up to 24.25 cm for additions of up to 20% slag. Denoting a reduction of up to 75.20%, in the case of mechanical properties, a negative effect could be evidenced, a decrease of 22.60% in stability, an increase of up to 32% in void volume and 60% in the flow Taking into account the acceptance parameters established in the MTC manuals. In the case of mechanical properties, the maximum recommended dosage is 10% slag.

Keywords: *Metallurgical slag, mechanical properties, physical properties, viscosity, ductility*