

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de la adición de microesferas de vidrio en las
propiedades mecánicas y conservación de la
temperatura para la colocación de mezcla asfálticas,
Huancayo, 2024**

Mijael Carlos Guerra Puris

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

ÍNDICE

PORTADA	i
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURA	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	19
1.1 Planteamiento del Problema	19
1.2 Formulación del Problema	20
1.2.1 Problema General	20
1.2.2 Problemas Específicos	21
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 Justificación e importancia	21
1.4.1 Justificación práctica	21
1.4.2 Justificación teórica	22
1.4.3 Justificación metodológica	22
1.5 Delimitación de la investigación	22
1.5.1 Delimitación espacial	22
1.5.2 Delimitación temporal	22
1.5.3 Delimitación conceptual	22
1.6 Hipótesis y Variables	23
1.6.1 Hipótesis General	23

1.6.2	Hipótesis Específicas	23
1.6.3	Variables	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		25
2.1	Antecedentes del Problema	25
2.1.1	Antecedentes Nacionales	25
2.1.2	Antecedentes Internacionales	28
2.2	Bases Teóricas	31
2.2.1	Mezcla Asfáltica en caliente	31
2.2.2	Temperatura y tiempo de transporte de la mezcla asfáltica	36
2.2.3	Microesfera de vidrio	37
2.3	Definición de Términos Básicos	39
CAPITULO III: METODOLOGÍA		41
3.1	Métodos y alcance de la investigación	41
3.1.1	Método de la investigación	41
3.1.2	Tipo de investigación	41
3.1.3	Nivel de investigación	41
3.1.4	Diseño de investigación	41
3.2	Población y muestra	42
3.2.1	Población	42
3.2.2	Muestra	42
3.2.3	Muestreo	43
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.3.1	Técnica	43
3.3.2	Instrumento de recolección de datos	43
3.4	Aspectos éticos de la investigación	44
3.5	Confiabilidad y validez de la investigación	44
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		45

4.1	Caracterización de materiales.....	45
4.1.1	Análisis granulométrico de piedra chancada	46
4.1.2	Análisis granulométrico de arena natural	47
4.1.3	Análisis granulométrico de arena chancada.....	48
4.1.4	Análisis granulométrico de filler	50
4.1.5	Cemento asfáltico	51
4.1.6	Microesferas de vidrio	52
4.2	Gradación	52
4.3	Diseño de mezcla.....	54
4.4	Propiedades mecánicas al adicionar microesferas de vidrio – OE 1.....	61
4.4.1	Flujo (mm) al adicionar microesferas de vidrio.....	61
4.4.2	Estabilidad (kg) al adicionar microesferas de vidrio	62
4.5	Conservación de temperatura – OE 2.....	64
4.5.1	Conservación de temperatura en mezcla sin aditivo.....	64
4.5.2	Conservación de temperatura en mezcla con 2% de microesferas de vidrio.....	67
4.5.3	Conservación de temperatura en mezcla con 5% de microesferas de vidrio.....	71
4.5.4	Conservación de temperatura en mezcla con 8% de microesferas de vidrio.....	74
4.5.5	Conservación de temperatura en mezcla con 12% de microesferas de vidrio.....	78
4.6	Distancias de transporte máximas – OE 3.....	82
4.6.1	Distancias de transporte máximas de mezcla sin aditivo.....	82
4.6.2	Distancias de transporte máximas de mezcla con 5% de microesferas de vidrio	83
4.6.3	Distancias de transporte máximas de mezcla con 2% de microesferas de vidrio	84
4.6.4	Distancias de transporte máximas de mezcla con 8% de microesferas de vidrio	86
4.6.5	Distancias de transporte máximas de mezcla con 12% de microesferas de vidrio	87
4.7	Efecto de las microesferas de vidrio – OG.....	88
4.8	Análisis estadístico.....	92

4.8.1	Análisis de propiedades mecánicas.....	92
4.8.2	Análisis de conservación de temperatura.....	97
4.9	Contraste de hipótesis y discusión de resultados.....	114
4.9.1	Propiedades mecánicas y conservación - Hipótesis 1.....	114
4.9.2	Estabilidad y flujo Marshall - Hipótesis 2.....	115
4.9.3	Conservación de la temperatura - Hipótesis 3.....	115
4.9.4	Distancia de transporte máxima - Hipótesis 4.....	116
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		117
5.1	Conclusiones	117
5.2	Recomendaciones.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		121
ANEXOS.....		124
ANEXO 1. Panel fotográfico.....		124
ANEXO 2. Certificados de ensayo.....		144
ANEXO 3. Matriz de consistencia		170

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables.....	24
Tabla 2: Gradación de la capa de rodadura asfáltica para requisitos de PSI.....	33
Tabla 3: Gradación de la capa de rodadura asfáltica para requisitos de PSI.....	35
Tabla 4: Porcentajes pasantes de Piedra chancada de 1/2".....	46
Tabla 5: Porcentajes pasantes de Arena natural	47
Tabla 6: Porcentajes pasantes de Arena chancada.....	49
Tabla 7: Porcentajes pasantes de Cal hidratada.....	50
Tabla 8: Ficha técnica de cemento asfáltico PEN 85/100	51
Tabla 9: Ficha técnica de microesfera de vidrio.....	52
Tabla 10: Gradación de la mezcla asfáltica en caliente.....	53
Tabla 11: Mezcla teórica de agregados por gradación MAC-2.....	53
Tabla 12: Proporciones para cada agregado.....	55
Tabla 13: Pesos necesarios para cada agregado	55
Tabla 14: Propiedades de diseño de mezcla asfáltica en caliente por MAC-2.....	56
Tabla 15: Resultado de propiedades mecánicas para el OCA	57
Tabla 16: Flujo ante la adición de microesferas de vidrio.....	61
Tabla 17: Estabilidad ante la adición de microesferas de vidrio	63
Tabla 18: Registro de control de temperatura en mezcla sin aditivo – 1° grupo.....	65
Tabla 19: Registro de control de temperatura en mezcla sin aditivo – 2° grupo.....	65
Tabla 20: Registro de control de temperatura en mezcla sin aditivo – 3° grupo.....	66
Tabla 21: Registro de control de temperatura en mezcla con 2% de microesferas de vidrio – 1° grupo	68
Tabla 22: Registro de control de temperatura en mezcla con 2% de microesferas de vidrio – 2° grupo	69
Tabla 23: Registro de control de temperatura en mezcla con 2% de microesferas de vidrio – 3° grupo	69
Tabla 24: Registro de control de temperatura en mezcla con 5% de microesferas de vidrio – 1° grupo	71
Tabla 25: Registro de control de temperatura en mezcla con 5% de microesferas de vidrio – 2° grupo	72
Tabla 26: Registro de control de temperatura en mezcla con 5% de microesferas de vidrio – 3° grupo	73

Tabla 27: Registro de control de temperatura en mezcla con 8% de microesferas de vidrio – 1° grupo	75
Tabla 28: Registro de control de temperatura en mezcla con 8% de microesferas de vidrio – 2° grupo	76
Tabla 29: Registro de control de temperatura en mezcla con 8% de microesferas de vidrio – 3° grupo	76
Tabla 30: Registro de control de temperatura en mezcla con 12% de microesferas de vidrio – 1° grupo	78
Tabla 31: Registro de control de temperatura en mezcla con 12% de microesferas de vidrio – 2° grupo	79
Tabla 32: Registro de control de temperatura en mezcla con 12% de microesferas de vidrio – 3° grupo	80
Tabla 33: Cálculo de distancia de transporte máximo en mezcla sin aditivo.....	82
Tabla 34: Cálculo de distancia de transporte máximo en mezcla con 5% de microesferas de vidrio.....	83
Tabla 35: Cálculo de distancia de transporte máximo en mezcla con 2% de microesferas de vidrio.....	85
Tabla 36: Cálculo de distancia de transporte máximo en mezcla con 8% de microesferas de vidrio.....	86
Tabla 37: Cálculo de distancia de transporte máximo en mezcla con 12% de microesferas de vidrio.....	87
Tabla 38: Resultados resumen de conservación de temperatura y distancia máxima	89
Tabla 39: Distribución paramétrica – Flujo (mm) ante la adición de microesferas de vidrio	92
Tabla 40: Análisis de correlación – Flujo (mm) ante la adición de microesferas de vidrio	93
Tabla 41: Distribución paramétrica – Estabilidad (kg) ante la adición de microesferas de vidrio.....	95
Tabla 42: Análisis de correlación – Estabilidad (kg) ante la adición de microesferas de vidrio	96
Tabla 43: Distribución paramétrica – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (0% de microesferas de vidrio)	98
Tabla 44: Análisis de correlación – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (0% de microesferas de vidrio)	100

Tabla 45: Distribución paramétrica – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (2% de microesferas de vidrio)	101
Tabla 46: Análisis de correlación – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (2% de microesferas de vidrio)	103
Tabla 47: Distribución paramétrica – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (5% de microesferas de vidrio)	105
Tabla 48: Análisis de correlación – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (5% de microesferas de vidrio)	106
Tabla 49: Distribución paramétrica – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (8% de microesferas de vidrio)	108
Tabla 50: Análisis de correlación – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (8% de microesferas de vidrio)	110
Tabla 51: Distribución paramétrica – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (12% de microesferas de vidrio)	111
Tabla 52: Análisis de correlación – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (12% de microesferas de vidrio)	113

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Sección vertical de la estructura del pavimento de hormigón asfáltico.....	32
Figura 2: Gradación de la capa de rodadura asfáltica para requisitos de PSI.....	34
Figura 3: Microesfera de vidrio.....	38
Figura 4: Curva granulométrica de porcentajes de pasantes de Piedra chancada de 1/2" ...	47
Figura 5: Curva granulométrica de porcentajes de pasantes de Arena natural.....	48
Figura 6: Curva granulométrica de porcentajes de pasantes de Arena chancada	49
Figura 7: Curva granulométrica de porcentajes de pasantes de Cal hidratada	51
Figura 8: Curva granulométrica de mezcla de agregados MAC-2.....	54
Figura 9: Peso unitario (gr/cm ³) ante variación de % cemento asfáltico.....	58
Figura 10: Vacíos (%) ante variación de % cemento asfáltico.....	58
Figura 11: Vacíos de agregado mineral (%) ante variación de % cemento asfáltico	59
Figura 12: Vacíos llenos de cemento asfáltico (%) ante variación de % cemento asfáltico	59
Figura 13: Flujo (mm) ante variación de % cemento asfáltico.....	60
Figura 14: Estabilidad (kg) ante variación de % cemento asfáltico	60
Figura 15: Gráfica de flujo (mm) al adicionar % de Microesferas de vidrio	62
Figura 16: Gráfica de estabilidad (kg) al adicionar % de Microesferas de vidrio.....	64
Figura 17: Gráfica de conservación de temperatura en mezcla sin aditivo	67
Figura 18: Gráfica de conservación de temperatura en mezcla con 2% de microesferas de vidrio.....	71
Figura 19: Gráfica de conservación de temperatura en mezcla con 5% de microesferas de vidrio.....	74
Figura 20: Gráfica de conservación de temperatura en mezcla con 8% de microesferas de vidrio.....	78
Figura 21: Gráfica de conservación de temperatura en mezcla con 12% de microesferas de vidrio.....	81
Figura 22: Gráfica de distancia máxima de transporte de mezcla sin aditivo	83
Figura 23: Gráfica de distancia máxima de transporte de mezcla con 5% de microesferas de vidrio.....	84
Figura 24: Gráfica de distancia máxima de transporte de mezcla con 2% de microesferas de vidrio.....	85
Figura 25: Gráfica de distancia máxima de transporte de mezcla con 8% de microesferas de vidrio.....	87

Figura 26: Gráfica de distancia máxima de transporte de mezcla con 12% de microesferas de vidrio.....	88
Figura 27: Gráfica resumen del comportamiento de la temperatura por cada porcentaje de microesferas de vidrio	90
Figura 28: Gráfica resumen de las distancias máximas de transporte por cada porcentaje de microesferas de vidrio	91
Figura 29: Diagrama de caja – Flujo (mm) ante la adición de microesferas de vidrio.....	93
Figura 30: Diagrama de burbujas – Flujo (mm) ante la adición de microesferas de vidrio	94
Figura 31: Diagrama de caja – Estabilidad (kg) ante la adición de microesferas de vidrio	96
Figura 32: Diagrama de burbujas – Estabilidad (kg) ante la adición de microesferas de vidrio	97
Figura 33: Diagrama de caja – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (0% de microesferas de vidrio).....	99
Figura 34: Diagrama de burbujas – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (0% de microesferas de vidrio).....	100
Figura 35: Diagrama de caja – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (2% de microesferas de vidrio).....	102
Figura 36: Diagrama de burbujas – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (2% de microesferas de vidrio).....	104
Figura 37: Diagrama de caja – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (5% de microesferas de vidrio).....	106
Figura 38: Diagrama de burbujas – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (5% de microesferas de vidrio).....	107
Figura 39: Diagrama de caja – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (8% de microesferas de vidrio).....	109
Figura 40: Diagrama de burbujas – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (8% de microesferas de vidrio).....	110
Figura 41: Diagrama de caja – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (12% de microesferas de vidrio).....	112
Figura 42: Diagrama de burbujas – Temperatura (°C) ante la variación del tiempo (12% de microesferas de vidrio).....	114

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en evaluar el impacto de la adición de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas y la conservación de la temperatura para la colocación de mezclas asfálticas en caliente. Este enfoque se justifica en la necesidad de mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos asfálticos. El objetivo principal radica en proporcionar una comprensión integral de cómo las microesferas de vidrio afectan la estabilidad, el flujo y la capacidad de conservación térmica de las mezclas asfálticas, con el fin de identificar las dosificaciones óptimas en mezcla, bajo una metodología de investigación científica cuantitativa en el análisis de una población definida en función de la capacidad de producción de planta asfáltica de laboratorio, se define una muestra de 378 especímenes.

El desarrollo de la investigación comprendió una serie de ensayos de laboratorio, donde se analizaron diferentes porcentajes de microesferas de vidrio (0.0%, 2.0%, 5.0%, 8.0% y 12.0%) mediante la metodología Marshall. Estos ensayos permitieron evaluar la estabilidad y el flujo de las mezclas asfálticas modificadas, proporcionando información crucial sobre su comportamiento bajo condiciones de carga y deformación. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de la conservación de la temperatura en lapsos controlados de tiempo, con el fin de determinar la eficacia de las microesferas de vidrio en la retención del calor dentro de la mezcla. Además, se estudió la distancia de transporte en función de la velocidad de operación.

Como principal conclusión de la investigación, se encontró que la dosificación óptima de microesferas de vidrio se sitúa entre el 5.0% y el 8.0%, debido a que estas proporciones cumplen con las normativas vigentes en cuanto a estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas. Además, se observó que la conservación de temperatura para la mezcla con un 5.0% de microesferas de vidrio alcanzó los 184 minutos, mientras que para la mezcla con un 8.0% de microesferas de vidrio se extendió hasta los 205 minutos. Estos resultados destacan el potencial de las microesferas de vidrio como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de las mezclas asfálticas en caliente, lo que puede traducirse en una mayor durabilidad y resistencia de los pavimentos.

PALABRAS CLAVE: Microesferas de vidrio, conservación térmica, distancia de transporte, Marshall, estabilidad, flujo, mezclas asfálticas en caliente.

ABSTRACT

The present research focuses on evaluating the impact of the addition of glass microspheres on the mechanical properties and temperature conservation for the placement of hot mix asphalt. This focus is justified by the need to improve the quality and durability of asphalt pavements. The main objective is to provide a comprehensive understanding of how glass microspheres affect the stability, flow and thermal conservation capacity of asphalt mixtures, in order to identify the optimal dosages in the mixture, under a quantitative scientific research methodology in the analysis of a population defined based on the production capacity of the laboratory asphalt plant, a sample of 378 specimens is defined.

The development of the research included a series of laboratory tests, where different percentages of glass microspheres (0.0%, 2.0%, 5.0%, 8.0% and 12.0%) were analyzed using the Marshall methodology. These tests allowed the stability and flow of the modified asphalt mixtures to be evaluated, providing crucial information on their behaviour under load and deformation conditions. Subsequently, a temperature retention analysis was carried out over controlled periods of time, in order to determine the effectiveness of the glass microspheres in retaining heat within the mixture. In addition, the transport distance was studied as a function of the operating speed.

As the main conclusion of the research, it was found that the optimal dosage of glass microspheres is between 5.0% and 8.0%, since these proportions comply with current regulations regarding the stability and flow of asphalt mixtures. In addition, it was observed that temperature retention for the mixture with 5.0% glass microspheres reached 184 minutes, while for the mixture with 8.0% glass microspheres it extended to 205 minutes. These results highlight the potential of glass microspheres as an additive to improve the mechanical and thermal properties of hot-mix asphalt, which can translate into greater pavement durability and strength.

KEYWORDS: Glass microspheres, thermal conservation, transportation distance, Marshall, stability, flow, hot mix asphalt.