

as	3	3	
del diseño patrón			
on porcentaje de ligante asfáltico óptimo			
de confitillo en la mezcla asfáltica en caliente			

Diseño de pavimentos flexibles adicionando confitillo en la mezcla asfáltica en caliente

Flexible pavement design by adding confitillo to the hot asphalt mix

Fecha de entrega: 2 de julio 2024

Fecha de aceptación: 27 de febrero 2025

Ángel Delfredo Muñoz y José Luis Benites

Universidad César Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima, Perú angeldms2017@gmail.com (orcid: 0009-0009-8544-4797), jbenitez@ucv.edu.pe (orcid: 0000-0003-4459-494X)

El propósito general de esta investigación fue mostrar cómo la adición de confitillo en proporciones de 1, 2, 3, 4 y 5%, influye en la mezcla asfáltica en caliente y el diseño de pavimento flexible para las calles de una ciudad en Perú. El estudio se orientó en la metodología aplicada, enfoque cuantitativo, diseño experimental y nivel explicativo. Se realizó un muestreo, donde se utilizó 33 briquetas para la población y 18 de ellas para la muestra. La investigación evidenció que el diseño patrón se obtuvo con un cemento asfáltico CA al 5.75%, obteniéndose una estabilidad de 1204 kg, un flujo de 3.41 mm, un porcentaje de vacíos del 4.15% y un índice de rigidez de 3534 kg/cm. Al agregar confitillo en 5% en la mezcla asfáltica en caliente MAC en lugar de agregado fino, la estabilidad, el flujo, el porcentaje de vacíos y el índice de rigidez aumentaron en comparación al diseño patrón, alcanzando valores de 1498 kg, 3.81 mm, 5.01% y 3951 kg/cm, respectivamente. Así mismo se demostró que, la adición de confitillo en la MAC, influye en el espesor de la capa asfáltica reduciendo sus dimensiones y por ende en el costo por m³ de la mezcla asfáltica. Evidencias, que conllevaron a concluir que, la adición de confitillo tiene influencia en la mezcla asfáltica en caliente y el diseño del pavimento flexible.

Palabras clave: mezcla asfáltica, confitillo, estabilidad, flujo

The general purpose of this research was to show how the addition of confitillo in proportions of 1, 2, 3, 4 and 5%, influences the hot mix asphalt and the design of flexible pavement for the streets of a city in Peru. The study was focused on the applied methodology, the quantitative approach, the experimental design and the explanatory level. Sampling was carried out, where 33 briquettes were used for the population and 18 of them for the sample. The investigation showed that the standard design was obtained with an asphalt cement of 5.75%, obtaining a stability of 1204 kg, a flow of 3.41 mm, a void percentage of 4.15% and a stiffness index of 3534 kg/cm. By adding 5% of confitillo in the hot asphalt mix HAM instead of fine aggregate, the stability, flow, percentage of voids and stiffness index increased compared to the standard design, reaching values of 1498 kg, 3.81 mm, 5.01% and 3951 kg/cm, respectively. Likewise, it was demonstrated that the addition of confitillo to the HAM influences the thickness of the asphalt layer, reducing its dimensions and therefore the cost per m³ of asphalt mixture. Evidences, which led to the conclusion that the addition of confitillo has an influence on the hot mix asphalt and the design of the flexible pavement.

Keywords: asphalt mixture, confitillo, stability, flow

Introducción

Los pavimentos están contruidos para soportar cargas vehiculares durante un período de tiempo o vida útil específica, pero cambios significativos de temperatura, alta humedad, errores en el diseño de la mezcla asfáltica, fallas en los taludes, fallas en los muros de contención y falta

de confinamiento lateral pueden hacer que la estructura se deteriore más rápido de lo esperado. (Alzate, 2019). Debido a estas afirmaciones, los profesionales y las autoridades gubernamentales se han visto obligados a encontrar soluciones económicas y de mejor calidad y comodidad para los usuarios. La adición de varios ejemplares de polímeros en las mezclas bituminosas (MB) mejora las cualidades

de estos materiales, aumenta su durabilidad y promueve la sostenibilidad al alargar su vida útil, especialmente si se realizan modificaciones con materiales residuales (García, 2020). Así mismo, Kaa *et al.* (2016) indican que, los asfaltos modificados se utilizan en todo el mundo para reducir la tendencia de la capa de asfalto a distorsionarse permanentemente, aumentar la resistencia al agrietamiento por fatiga y reducir la posibilidad de agrietamiento térmico provocado por el calor y el frío extremos.

La alternativa de pavimentación más rentable para carreteras de segundo y tercer orden es el diseño, proceso y construcción de métodos de pavimentación flexible. Sin embargo, a pesar de tomar esto en cuenta, muchos proyectos han encontrado dificultades y fallas que redujeron significativamente su efectividad y longevidad, causando molestias a los beneficiarios ya que cuando están en mantenimiento se restringe el tránsito. Esta razón, ha conllevado a investigar nuevas opciones para aumentar la capacidad de reacción mecánica y dinámica de la mezcla asfáltica, variando los ingredientes que la componen. Estas alternativas incluyen adiciones como fibras de neumáticos reciclados, agregados sintéticos y de otros tipos (Reyes *et al.*, 2006; Botasso y Segura, 2013; Segura *et al.*, 2023).

En tareas de mantenimiento de vías, la carpeta asfáltica se elimina mediante la demolición o trituración, lo que produce desechos que pueden ser utilizados como material secundario debido a sus características o composición variada, como asfalto residual, material fino, material grueso y agua. El pavimento de asfalto recuperado, también conocido como RAP, ha demostrado ser una buena alternativa para usarse en nuevas mezclas que, con la adición de otros materiales como caucho, cal, cemento, cenizas, asfalto modificado y otros, mejoran el comportamiento mecánico y potencializan su desempeño (Duran y Gil, 2021).

Se han realizado investigaciones para mejorar las características de las mezclas asfálticas mediante el uso de materias primas reciclables y otros elementos, como la incorporación de cenizas de tallos, polímeros descartables y caucho triturado, entre otros. Sin embargo, hay pocos estudios realizados con desechos de piedra chancada. El confitillo de piedra chancada es una de las nuevas opciones de agregados para mejorar la calidad del concreto. El uso de áridos reciclados en el concreto se debe a la necesidad

de construir con consideraciones de sostenibilidad como guía, así como a la utilidad para el medio ambiente que actualmente se tienen en cuenta en los proyectos de construcción (Delgado, 2019).

La estabilidad es la resistencia al desplazamiento causado por cargas en movimiento o estacionarias, que varía según la cohesión de la mezcla y la fricción interna (Céspedes, 2000). La capacidad de una mezcla asfáltica para resistir impactos y surcos se conoce como estabilidad Marshall. La capacidad de una mezcla asfáltica para resistir el asentamiento y la deformación gradual sin agrietarse se conoce como flujo.

En efecto, la adición de confitillo de piedra chancada en una mezcla asfáltica en caliente MAC puede mejorar las propiedades de estabilidad, flujo, rigidez, el porcentaje de vacíos de una MAC y la durabilidad de los pavimentos flexibles. Por eso se realizará una investigación bajo dos muestras, una en la que se use una mezcla normal de elementos para asfalto convencional y otra variando los porcentajes de agregados con la sustitución de confitillo de piedra chancada y verificar si mejoran la estabilidad, el flujo, el porcentaje de vacíos y el índice de rigidez de la nueva mezcla asfáltica, con respecto a la convencional.

Metodología experimental

En esta investigación la población lo conformó 33 briquetas bajo las consideraciones mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1: Cantidad de briquetas para ensayos de laboratorio

Diseño patrón ligante asfáltico	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	Total	
Cantidad de briquetas	3	3	3	3	12	
Verificación del óptimo del diseño patrón					3	
Total de briquetas					15	
Diseño general con porcentaje de ligante asfáltico óptimo para cada porcentaje de estímulo						
Diseño sustituyendo confitillo, %	1 (X)	2 (X)	3 (X)	4 (X)	5 (x)	Total
Cantidad de briquetas	3	3	3	3	3	15
Verificación del óptimo del diseño patrón						3
Total de briquetas						18
Total de briquetas moldeadas						33

as	3	3	as
del diseño patrón			
on porcentaje de ligante asfáltico óptimo			

Resultados

Los resultados se obtuvieron en función a los siguientes objetivos específicos propuestos.

Objetivo específico 1: comprobar que la adición de confitillo influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente MAC. Los resultados de los ensayos de laboratorio se evidencian en la Tabla 2.

Tabla 2: Estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente adicionando confitillo.

Características de las mezclas asfálticas	MAC patrón	MAC adicionando confitillo					Especificaciones técnicas (MTC, 2014)	
		5.75%	1%	2%	3%	4%	5%	Mín Máx
Estabilidad, kg	1204	1219	1256	1304	1393	1498	815	---

La Tabla 2 muestra los resultados de estabilidad del diseño patrón y la mezcla asfáltica en caliente con confitillo. También muestra los valores de las especificaciones técnicas requeridos por la normativa (MTC, 2014). La estabilidad del diseño patrón es de 1024 kg, valor que aumenta hasta 1498 kg cuando se agrega un 5% de confitillo.

La contrastación de hipótesis del objetivo 1 considera H_0 : el confitillo no influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente y H_1 : el confitillo influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

Según la información de la Tabla 3, se distingue la prueba de normalidad entre la variable adición de confitillo y la estabilidad de la MAC, cuyo valor de significancia (sig.) es de 0.413. Esto indica que los datos de la variable estabilidad tienen normalidad a un nivel de significancia del 5%, según Shapiro-Wilk.

Tabla 3: Prueba de normalidad de la estabilidad de la MAC adicionando confitillo.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	sig.	Estadístico	gl.	sig.
Adición de confitillo	0.122	6	0.200	0.982	6	0.961
Estabilidad	0.196	6	0.200	0.906	6	0.413

Resultados obtenidos con SSPS-26 (IBM, 2020)

La Tabla 4 muestra la correlación r de Pearson de la

estabilidad de la MAC con la adición de confitillo. Debido a que $r = 0.959$, existe evidencia estadística significativa para concluir que la adición de confitillo en la MAC sí tiene un impacto directo y positivo. Como resultado, se refuta la hipótesis H_0 y se acepta la H_1 con un nivel de significancia del 5% después de obtener un valor calculado de $p = 0.003$, que es menor a 0.05.

Tabla 4: Coeficiente de correlación r de Pearson – Estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente adicionando confitillo

Correlaciones		Adición de confitillo	Estabilidad
Adición de confitillo	Correlación r de Pearson	1	0.959
	Significancia bilateral	-	0.003
	N	6	6
Estabilidad	Correlación r de Pearson	0.959	1
	Significancia bilateral	0.003	-
	N	6	6

Resultados obtenidos con SSPS-26 (IBM, 2020)

Objetivo específico 2: comprobar que la adición de confitillo influye en el flujo de la mezcla asfáltica en caliente. Los resultados de los ensayos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Flujo de la mezcla asfáltica en caliente adicionando confitillo

Características de las mezclas asfálticas	Muestra patrón	Mezcla asfáltica en caliente adicionando confitillo					Especificaciones Técnicas (MTC, 2014)	
		5.75%	1%	2%	3%	4%	5%	Mín Máx
Flujo, mm	3.41	3.39	3.44	3.50	3.61	3.81	3	5

La Tabla 5 indica que el flujo de la MAC patrón es de 3.41 mm. Sin embargo, al agregar confitillo de 1 al 5%, el flujo de la MAC aumenta gradualmente de 3.39 a 3.81 mm, respectivamente, lo que indica un aumento en comparación con la muestra patrón y el rango especificado por las especificaciones técnicas (MTC, 2014).

La contrastación de hipótesis del objetivo 2 considera H_0 : el confitillo no influye en el flujo de la mezcla asfáltica en caliente y H_1 : el confitillo influye en el flujo de la mezcla asfáltica en caliente. Según la Tabla 6, se tiene que los valores del flujo de la MAC con confitillo sí tienen normalidad con una significancia de 0.190 y 6 grados de libertad (gl.), según Shapiro-Wilk.

Tabla 6: Prueba de normalidad del flujo de la MAC adicionando confitillo

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	sig.	Estadístico	gl.	sig.
Adición de confitillo	0.122	6	0.200	0.982	6	0.961
Flujo	0.233	6	0.200	0.860	6	0.190

Resultados obtenidos con SSPS-26 (IBM, 2020)

Según la Tabla 7, el coeficiente de correlación de Pearson del flujo de MAC con la adición de confitillo es de $r = 0.910$, lo que indica una correlación muy alta. También hay suficiente evidencia estadística para concluir que el flujo de MAC sí está relacionado directamente y positivamente con la adición de confitillo.

Por lo tanto, se refuta la hipótesis H_0 y se acepta la H_1 con un nivel de significancia del 5% después de obtener un valor calculado de $p = 0.012$, que es menor a 0.05.

Tabla 7: Coeficiente de correlación r de Pearson – Flujo de la MAC adicionando confitillo.

Correlaciones		Adición de confitillo	Flujo
Adición de confitillo	Correlación r de Pearson	1	0.910
	Significancia bilateral	-	0.012
	N	6	6
Flujo	Correlación r de Pearson	0.910	1
	Significancia bilateral	0.012	-
	N	6	6

Resultados obtenidos con SSPS-26 (IBM, 2020)

Objetivo específico 3: Comprobar que la adición de confitillo influye en el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente. Los resultados aparecen en la Tabla 8.

Tabla 8: Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica en caliente adicionando confitillo.

Características de las mezclas asfálticas	Muestra patrón	MAC adicionando confitillo					Especificaciones técnicas	
	5.75%	1%	2%	3%	4%	5%	Mín	Máx
Porcentaje de vacíos	4.15	4.21	4.45	4.79	4.91	5.01	3	5

En la Tabla 8 se aprecia que en el diseño patrón el porcentaje de vacíos es de 4.15 y al adicionarle proporciones de confitillo entre un 1 y 5%, el porcentaje de vacíos aumenta

de 4.21 a 5.01% respectivamente, evidenciándose un incremento respecto del diseño patrón.

La contrastación de hipótesis del objetivo 3 considera H_0 : el confitillo no influye en el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente y H_1 : el confitillo influye en el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente. La Tabla 9 muestra que los valores del porcentaje de vacíos de la MAC con confitillo tienen normalidad con una significancia de 0.190 y una libertad de 6 grados, según Shapiro-Wilk.

Tabla 9: Prueba de normalidad del porcentaje de vacíos en la MAC adicionando confitillo.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	sig.	Estadístico	gl.	sig.
Adición de confitillo	0.122	6	0.200	0.982	6	0.961
Porcentaje de vacíos	0.233	6	0.200	0.860	6	0.190

Resultados obtenidos con SSPS-26 (IBM, 2020)

La Tabla 10 muestra evidencia suficiente para concluir que el porcentaje de la MAC sí tiene un impacto directo y positivo con la adición de confitillo. El coeficiente de correlación de Pearson para este porcentaje de vacíos de la MAC es de $r = 0.910$, lo que indica una correlación muy alta. Además, se encontró un valor calculado de $p = 0.012$, que es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza H_0 y H_1 se acepta con un nivel de significancia del 5%.

Tabla 10: Coeficiente de correlación r de Pearson – Porcentaje de vacíos en la MAC adicionando confitillo.

Correlaciones		Adición de confitillo	Porcentaje de vacíos
Adición de confitillo	Correlación r de Pearson	1	0.910
	Significancia bilateral	-	0.012
	N	6	6
Porcentaje de vacíos	Correlación r de Pearson	0.910	1
	Significancia bilateral	0.012	-
	N	6	6

Resultados obtenidos con SSPS-26 (IBM, 2020)

Objetivo específico 4: comprobar que la adición de confitillo influye en el índice de rigidez de la mezcla asfáltica en caliente y en el diseño de pavimento flexible. Los resultados se muestran en la Tabla 11.

as	3	3
mo del diseño patrón		
on porcentaje de ligante asfáltico óptimo		

Tabla 11: Índice de rigidez de la mezcla asfáltica en caliente adicionando confitillo.

Carac- terísticas de las mezclas asfálticas	Muestra patrón	MAC adicionando confitillo					Especificaciones técnicas	
	5.75%	1%	2%	3%	4%	5%	Mín	Máx
Índice de rigidez, kg/cm	3534	3539	3652	3730	3859	3951	1700	4000

Según la Tabla 11, la rigidez del diseño patrón es de 3534 kg/cm. Al agregar entre un 1 y 5% de confitillo, la rigidez aumenta de 3539 a 3951 kg/cm, respectivamente.

La contrastación de hipótesis del objetivo 4 considera H_0 : el confitillo no influye en el índice de rigidez de la MAC y H_1 : el confitillo influye en el índice de rigidez de la MAC.

Según la Tabla 12, el índice de rigidez tiene una significancia de 0.790 con 6 grados de libertad según Shapiro-Wilk, evidenciando de esta manera que los valores del índice de rigidez de la MAC adicionando confitillo si tienen normalidad.

Tabla 12: Prueba de normalidad del índice de rigidez de la MAC adicionando confitillo.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	sig.	Estadístico	gl.	sig.
Adición de confitillo	0.122	6	0.200	0.982	6	0.961
Rigidez	0.167	6	0.200	0.956	6	0.790

Tabla 13: Coeficiente de correlación r de Pearson – Índice de rigidez de MAC adicionando confitillo.

Correlaciones		Adición de confitillo	Índice de rigidez
Adición de confitillo	Correlación r de Pearson	1	0.988
	Significancia bilateral	-	< 0.001
	N	6	6
Índice de rigidez	Correlación r de Pearson	0.988	1
	Significancia bilateral	< 0.001	-
	N	6	6

La Tabla 13 muestra una correlación de Pearson de $r = 0.988$ entre el índice de rigidez de la MAC y la adición de confitillo, lo que indica una correlación muy alta. Este valor permite concluir que el índice de rigidez de la MAC sí está relacionado positivamente y directamente con la

adición de confitillo. Además, se encontró que el valor p calculado fue $p = 0.001$, que es menor a 0.05 tabulado, por lo que estos valores rechazan H_0 y aceptan H_1 con un nivel de significancia del 5%.

Objetivo específico 5: comprobar que la adición de confitillo influye en el espesor de la mezcla asfáltica en caliente y en el diseño de pavimento flexible. Los resultados se aprecian en la Tabla 14.

Tabla 14: Espesores de la estructura del pavimento según el diseño patrón y adicionando confitillo.

Espesores	Diseño patrón, cm	Diseño con 1% de confitillo, cm	Diseño con 2% de confitillo, cm	Diseño con 3% de confitillo, cm	Diseño con 4% de confitillo, cm	Diseño con 5% de confitillo, cm
Carpeta asfáltica	10	5	5	5	5	5
Base granular	30	16	16	16	16	16
Subbase	40	20	20	20	20	20

De acuerdo a la Tabla 14, el espesor de la estructura asfáltica patrón es de 10 cm de carpeta asfáltica, 30 cm de base granular y de la subbase es 40 cm de altura. Sin embargo, al adicionar confitillo de 1 a 5%, los espesores disminuyen y son los mismos para las cinco proporciones, es decir 5 cm de carpeta asfáltica, 16 cm de base granular y 20 cm de subbase granular. Podemos concluir que la adición de confitillo influye positivamente en la mezcla asfáltica en caliente y el diseño del pavimento flexible, pues, reduce las dimensiones de los espesores de la estructura asfáltica

Objetivo específico 6: comprobar que la adición de confitillo influye en el presupuesto de la mezcla asfáltica en caliente y en el diseño de pavimento flexible. Los resultados están en la Tabla 15.

En la Tabla 15, se tiene el análisis unitario del costo de los insumos del diseño patrón de la MAC sin IGV, la cantidad de insumos, su precio unitario y costo parcial, así mismo se aprecia que el costo total de 1 m³ con estas características es de 370 soles peruanos.

as	3	3	3
óptimo del diseño patrón			
5			
on porcentaje de ligante asfáltico óptimo p			
de asfalto 6.1% de CA y 2.00% de			

Tabla 15: Análisis de costos unitarios de materiales del diseño patrón.

Partida	Producción de MAC PEN 120-150 ^a			
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
PEN 120/150	Gal	18.5000	11.50	212.75
Piedra chancada 3/4"	m³	0.4000	65.00	26.00
Arena zarandeada 3/8"	m³	0.2000	90.00	18.00
Arena chancada 3/8"	m³	0.3800	80.00	30.40
Cemento Portland	m³	0.0200	29.00	5.80
Herramientas manuales	%MO	0.0500	0.60	0.03
Cargador sobre ruedas 180 HP	HH	0.0229	245.00	5.60
Planta de asfalto en caliente 60-115 ton	HH	0.0229	2963.24	67.87
Energía eléctrica	Mes	0.0005	7000.00	3.50
Total (sin IGV) ^b				370

^a Penetración del asfalto a 25°C (ASTM D5, 2020)

^b IGV: impuesto general de ventas

Tabla 16: Costo en soles por m³ de asfalto del diseño patrón y adicionando confitillo a la MAC.

Diseño patrón	1% de confitillo	2% de confitillo	3% de confitillo	4% de confitillo	5% de confitillo
370.0	369.3	368.7	368.0	367.4	366.7

La Tabla 16 muestra el costo por m³ de asfalto tanto para el diseño patrón como para MAC adicionando confitillo, valores que nos permiten comparar el incremento o disminución de los costos. Constatándose que, 1 m³ de asfalto con las características del diseño patrón cuesta 370 soles. Sin embargo, el costo por m³ de asfalto adicionando confitillo en porcentajes de 1 a 5%, ligeramente tiende a disminuir, eso implica que, para grandes volúmenes habría un ahorro económico significativo.

Discusión de los resultados

En esta investigación se determinó que la estabilidad en el diseño patrón fue de 1204 kg y al adicionar el 5% de confitillo en lugar del agregado fino, la estabilidad en la MAC aumentó a 1498 kg, respecto del diseño patrón. Comparando con esta investigación, Medina (2021) al adicionar 5% de vidrio molido a un 5.75% de asfalto, obtuvo una estabilidad de 950 kg, siendo el mínimo

requerido de 815 kg según la norma. También Rosales (2019) al adicionar 10% de cenizas de carbón mineral al 5.5% de asfalto patrón, adquirió una estabilidad en de 2358 kg indicando un valor considerable en comparación con el mínimo requerido de 815 kg. Los resultados de León *et al.* (2020) con un óptimo de 6.1% de CA y adicionando 2% de polímeros SBS su estabilidad es de 1119 kg. También el resultado de Espino *et al.* (2019), al adicionar a una MAC, 10% del material reciclado y 7% de CA, la estabilidad fue de 900 kg. Así mismo la investigación de Cardona-Moncada *et al.* (2023), adicionando 10% de toba volcánica en la mezcla asfáltica obtuvieron una estabilidad de 999 kg.

Al adicionar el 5% de confitillo en MAC, se obtuvo un flujo de 3.81 mm, flujo que incrementó, en comparación al flujo del diseño patrón que fue de 3.41 mm, concordando con el resultado obtenido por Medina (2021) que obtuvo un flujo en la MAC de 3.60 mm al agregar 5 % de vidrio molido a un 5.75% de asfalto patrón, mostrando un incremento referente a 3 mm que es el valor mínimo que nos indica las especificaciones técnicas de la norma del ensayo Marshall. Cardona-Moncada *et al.* (2023) al adicionar 10% de toba volcánica a la mezcla asfáltica obtuvieron un flujo de 4.4 mm y León *et al.* (2020) adicionaron en la MAC 3% de SBS obteniendo un flujo de 3 mm. Igualmente, Espino *et al.* (2019) al adicionar 10% de agregado reciclado de residuos de construcción en la mezcla asfáltica con 5.5% de CA, obtuvieron 4 mm de flujo.

Por otro lado, se discrepa con el resultado obtenido por Rosales (2019), quien al adicionar el 10% de cenizas de carbón mineral al 5.5% de AC, obtuvo un flujo tan solo de 2.6 mm, fuera del intervalo establecido por la norma que considera un mínimo de 3 mm y un máximo de 5 mm.

Al adicionar 5% de confitillo en la MAC, el porcentaje de vacíos aumentó hasta 5.01% en comparación al 4.15% de vacíos del diseño patrón, resultado que supera al valor máximo permitido por las especificaciones técnicas de la norma que es 5 mm. Sin embargo, al adicionar el 4% de confitillo, el porcentaje de vacíos es de 4.91% coincidiendo con el resultado de la investigación que realizó Medina (2021) quien al adicionar 5% de vidrio molido a un 7.75% de asfalto, obtuvo un porcentaje de vacíos del 4% en la MAC. Además, Rosales (2019), con un asfalto de 5.5% y 10% de cenizas de carbón mineral, obtuvo 4.70% de vacíos. De la misma forma, Paz y Rojas (2022) al adicionar

as	3	3
óximo del diseño patrón		
on porcentaje de ligante asfáltico óptimo		

4% de cenizas de carbón mineral obtuvieron un porcentaje de vacíos del 3.1% en la mezcla asfáltica y León *et al.* (2020) obtuvieron 5.1% de vacíos al agregar 3% de SBS a la MAC para un óptimo de 6.10% de CA.

En esta investigación se encontró que el índice de rigidez del diseño patrón fue de 3534 kg/cm, mientras que al adicionar 1, 2, 3, 4 y 5%, los índices de rigidez fueron incrementándose a 3599, 3652, 3730, 3859 y 3951 kg/cm, respectivamente, concordando con Paz y Rojas (2022) quienes al adicionar 4% de cenizas de carbón mineral en una mezcla asfáltica obtuvieron un índice de rigidez de 3608 kg/cm. Así mismo, Rosales (2019) al adicionar 10% de carbón mineral al 5.5% de asfalto obtuvo una rigidez de 3561 kg/cm, valor cercano al obtenido al adicionar 1% de confitillo. Medina (2021), adicionando 5% de vidrio molido en 5.75% de AC, obtuvo 2635 kg/cm de índice de rigidez, un valor muy por debajo de los obtenidos en las investigaciones mencionadas.

En la presente investigación, el costo generado por la elaboración de 1 m³ de MAC del diseño patrón, sin IGV es de 1450 soles. Sin embargo, al adicionar confitillo a la MAC, el costo se vio reducido a 1400 soles, distinguiendo un ahorro de 50 soles. La disminución del costo general de la elaboración de 1 m³ de MAC, se debe a que el costo de confitillo es menor que la de arena zarandeada, anotando también que el costo depende del contexto y de la cantera de la cual se adquieren los materiales.

Conclusiones

Adicionar confitillo en lugar de agregado fino en la MAC en porcentajes de 1, 2, 3, 4 y 5%, influye positivamente en la estabilidad, pues a medida que se adiciona más confitillo, la estabilidad incrementa, en comparación a la estabilidad obtenida en el diseño patrón. Al comparar el flujo del diseño patrón con la MAC adicionando confitillo en lugar del agregado fino en 1, 2, 3, 4 y 5%, se obtuvo un incremento en el flujo, concluyendo que, a más adición de confitillo mayor es el flujo en la MAC. Además, el porcentaje de vacíos aumenta, acercándose al máximo permitido por la norma cuando se adiciona porcentajes menores al 5%. Sin embargo, cuando se adiciona 5% de confitillo, el porcentaje de vacíos supera al máximo indicado por las especificaciones de las normas MTC (2014), ASTM D1883 (2021) y AASHTO (1993). También la adición de confitillo

de 1 a 5% en la MAC mejora positivamente el índice de rigidez en comparación al diseño patrón, concluyendo que, a mayor adición de confitillo, mayor es el índice de rigidez de la MAC.

Los valores de CBR encontrados son de 3.8% y 3.3% que corresponden a suelos arcillosos y limosos. Estos valores corresponden a una subrasante regular según CE-010 (2010). Según esto, la estructura del pavimento comprende 10 cm de carpeta asfáltica, 30 cm de base granular y 40 cm de subbase granular. La adición de confitillo en la MAC reduce el espesor de la capa asfáltica a 5 cm, la base granular a 16 cm y la sub base a 20 cm, acorde con la norma CE-010 (2010). Finalmente, adicionar confitillo en de 1 a 5% a la MAC, en lugar de agregado fino reduce el costo por m³ de asfalto, en comparación a los generados en una MAC convencional, generando un ahorro a tener en cuenta.

Referencias

- AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway Transportation Officials. Washington DC, USA
- Alzate, S. (2019). *Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones*. Proyecto de título de Ingeniero Civil, Especialista en Vías y Transporte. Universidad EIA, Colombia
- ASTM D5 (2020). Standard test method for penetration of bituminous materials. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D1883 (2021). Standard test method for California Bearing Ratio (CBR) of laboratory-compacted soils. West Conshohoken PA, USA
- Botasso, G. y Segura, A. (2013). Estudio experimental de microaglomerado asfáltico antiderrapante modificado con NFU. *Obras y Proyectos* 14, 36-44
- Cardona-Moncada, V.H., López-Lara, T., Horta-Rangel, J.M. y Hernández-Zaragoza, J.B. (2023). Estabilidad y flujo en una mezcla asfáltica con sustitución parcial en el agregado pétreo por desechos de toba volcánica. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* 24(1), 1-12
- CE.010 (2010). Pavimentos urbanos DS N° 010-2010. Lima, Perú

- Céspedes, J. (2000). *Los pavimentos en las vías terrestres*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú
- Delgado, V.M. (2019). *Evaluación del confitillo de la piedra chancada como material de agregado y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto*. Trabajo de título de Ingeniero Civil, Universidad Alas Peruanas. Huánuco, Perú.
- Duran, O.D. y Gil, G.G. (2021). *Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas con 100% RAP y adición de cal hidratada*. Trabajo de título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia
- Espino, C.U., Lara, C., Trujillo, I., Tafolla, E. y Nuñez, E.A. (2019). Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición (concreto hidráulico) en un 10% y 20% como sustitución de agregado pétreo natural. *XV Congreso Latino-Americano de Patología de Construcción- XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción*. F.A. Alonso y F.J. Olguín (eds.), Chiapas, México
- García, C. (2020). *Reutilización de residuos poliméricos para la fabricación de mezclas asfálticas sostenibles con áridos volcánicos marginales de Canarias*. Tesis doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España
- IBM (2020). Statistical package for the social sciences. New York, USA
- Kaa, B., Mogoruzza, R. y Anguizola, I. (2016). Análisis de propiedades de mezclas asfálticas modificadas en Panamá. *Revista de Iniciación Científica* 2 (1), 48-53
- León, P.J., Maila, J.H. y Albuja, E.W. (2020). Influencia de aditivos (polímeros y polialuminio) en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* 9(1), 60-71
- Medina, M.R. (2021). *Utilización del vidrio reciclado para mejorar la carpeta asfáltica del pavimento flexible en la Av. Leguía cuadras 01 a 26 Chiclayo – Lambayeque 2021*. Trabajo de título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú
- MTC (2014). Manual de carreteras, suelos geología, geotecnia y pavimentos. Instituto de la Construcción y Gerencia ICG. Lima, Perú
- Paz, H. y Rojas, A.A. (2022). *Evaluación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica con cenizas de carbón mineral*. Trabajo de título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Reyes, O.J., Troncoso, J.R. y Camacho, J.F. (2006). Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes. *Ingeniería y Universidad* 10(1), 1-30
- Rosales, J.G. (2019). *Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral*. Trabajo de título de Ingeniero Civil. Universidad San Pedro. Lima, Perú
- Segura, A., Botasso, G., Raggiotti, B., Zapata, I. y Rebollo, O. (2023). Valoración inicial de mezclas asfálticas retardante de fisuras reflejas elaboradas con asfaltos con alta incorporación de NFU. *Obras y Proyectos* 34, 18-28