





INFLUENCIA DE LA CÁSCARA Y FIBRA DE COCO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

INFLUENCE OF COCONUT SHELL AND FIBER IN HOT MIXTURES ASPHALT

 Harold Roosevelt Castro Jerónimo^{1a}
 Bryan Ricardo Romero Rodríguez^{1b}
 César Augusto Vásquez Mendoza^{1c}
 Guillermo Gustavo Arriola Carrasco^{2d}



Fecha de recepción : 05 de Octubre del 2020
Fecha de aprobación : 30 de Noviembre del 2020
DOI : <https://doi.org/>

Resumen

Las nuevas tecnologías en la producción de mezclas asfálticas se han visto influenciadas por la utilización de materiales amigables con el medio ambiente tales como polímeros, aceites y fibras naturales siendo en esta investigación el material estudiado el coco, que es un material que se presenta en la mayoría de regiones del Perú, además se facilita su uso, transporte y pues algunos estudios han demostraron que la cáscara de coco puede mejorar la resistencia a la tracción indirecta y el comportamiento de fluencia estática del asfalto, mientras que la fibra de coco puede aumentar la estabilidad, la resistencia al deslizamiento y el módulo de elasticidad. El objetivo de la investigación correspondió a determinar la influencia de la cáscara y fibra de coco en la mezcla asfáltica en caliente, para la cual se estudiaron previamente las características de la cáscara y la fibra para aplicarlos al asfalto como componentes en porcentaje dentro de una mezcla asfáltica en caliente, luego fue necesario evaluar los resultados según la normatividad peruana y la ASTM, finalmente se desarrollo el método Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto contrastando dichos rangos con una mezcla asfáltica convencional para de esa manera validar los resultados. Las conclusiones muestran que la cáscara y la fibra de coco si mejoran las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente cuando se combinan con un asfalto, sin embargo no se descarta su aplicación en otro tipo de mezclas.

Palabras clave: Cáscara de coco, contenido de asfalto, fibra de coco, mezcla asfáltica en caliente, temperatura.

Abstract

The new technologies in production of mixtures asphalt have been influenced by the use of environmentally friendly materials such as polymers, oils and natural fibers, in this research the material studied being coconut, which is a material that is presented in the regions of Peru, its use, transportation is also facilitated and as some studies have shown that coconut shell can improve the resistance to indirect traction and the static creep behavior of asphalt, while coconut fiber can increase the stability, slip resistance and modulus of elasticity. The objective of the research corresponded to determine the influence of the shell and coconut fiber in the hot mix asphalt, for which the characteristics of the shell and the fiber were previously studied to apply them to the asphalt as percentage components within a hot mix asphalt, then it was necessary to evaluate the results according to Peruvian normativity and ASTM, finally the Marshall method was developed to obtain the optimum percentage of asphalt, contrasting these ranges with a conventional mix asphalt in order to validate the results. The conclusions show that the shell and the coconut fiber do improve the properties of hot asphalt mixtures when combined with a asphalt, however their application in other types of mixtures is not ruled out.

¹ Universidad Ricardo Palma - Lima, Perú

² Universidad Señor de Sipan, Pimentel – Chiclayo – Perú.

^a Ingeniero Civil, roosvcj@gmail.com

^b Ingeniero Civil, brromero1987@gmail.com

^c Ingeniero Civil, cvasquezm10@gmail.com

^d Ingeniero Civil, garriola@crece.uss.edu.pe

Keywords: *Coconut shell, asphalt content, coconut fiber, hot mix asphalt, temperature.*

1. Introducción

La tendencia del mundo actual en pleno siglo XXI sobre el uso de nuevas tecnologías para la disminución de gases tóxicos y nocivos para el medio ambiente cuando se elaboran mezclas asfálticas en caliente ha llevado a diversas empresas e investigadores a proponer diversos materiales que al mezclarse en su totalidad minimicen el impacto ambiental. Estos materiales pueden ser desde elementos artificiales hasta los que se pueden encontrar en estado natural por ejemplo plásticos, vidrios, caucho, polímeros, escoria de acero, zeolita, puzolana, aceites, fibras, etc. Sin embargo no todos los materiales al ser combinados con el asfalto logran mantener y/o mejorar las propiedades tanto físicas como mecánicas de la mezcla asfáltica puesto que a nivel químico y molecular sus partículas no logran enlazarse convenientemente o en todo caso lo hacen en forma rápida pero prematura ocasionando en corto y mediano plazo fallas en la mezcla y por ende la capa superficial del pavimento se vería afectada provocando un aumento en los costos de mantenimiento y conservación vial.

Vista entonces la necesidad de estudiar algunos de estos materiales se consideró importante estudiar al coco tanto a nivel de fibra como su cáscara puesto que diversas investigaciones a nivel internacional lo señalan como un excelente elemento que aporta buena resistencia y estabilidad a la mezcla asfáltica; se descartó emplear otros materiales como los indicados anteriormente debido a que en su mayoría ya se han abordado en múltiples investigaciones y se han aplicado exitosamente en nuestro país, pese a ello con respecto al coco como material natural no existen muchas investigaciones en el Perú en cuanto a los bondades de este material como componente de una mezcla asfáltica en caliente.

Para el buen desarrollo de la presente investigación se planteó como objetivo general determinar la influencia de la cáscara de coco y fibra de coco en una mezcla asfáltica en caliente y como objetivos específicos estudiar las características de la cáscara y la fibra de coco para aplicarlos al asfalto como componentes en porcentaje dentro de una mezcla asfáltica en caliente, luego fue necesario evaluar los resultados obtenidos según la normatividad peruana y las ASTM y como tercer objetivo específico desarrollar el método Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto tanto de la adición con la fibra y cáscara de coco como de la mezcla asfáltica convencional para de esa manera evaluar su influencia. La principal justificación de esta investigación es que el coco, así como otros materiales amigables con el medio ambiente, se producen en todo el mundo y en el Perú casi todas las regiones lo siembran y cosechan; además su costo de producción es bajo en relación a una planta de producción de asfalto y por último que es sostenible en el tiempo pues también se puede reciclar.

Luego haciendo un análisis de otras investigaciones relacionadas al tema del presente estudio, destacan algunas sobre la caracterización del coco a nivel químico ya que es importante conocer esas propiedades. Se sabe que está compuesto de 33,61% de celulosa, 36,51% de lignina, 29,27% de pentosanos y 0,61% de cenizas según lo indicado por Shelke, A., Ninghot, K., Kunjekar, P., & Gaikwad, S. (2014), que favorece su incorporación al asfalto y en su conjunto a la mezcla asfáltica, así mismo actúa como aditivo estabilizador cuando se agrega a la mezcla de asfalto alrededor de 180°C, ideal para una mezcla en caliente. Además, los investigadores citados señalan que la absorción del agua por parte de la cáscara de coco es mayor que la del agregado convencional, también es más resistente al impacto, aplastamiento y abrasión en comparación con otros agregados de granito triturado convencionales y por último se puede usar para mezclar con la mezcla de asfalto directamente para el ensayo de laboratorio, excepto para la prueba de absorción de agua y esto se debe a que la cáscara de coco tiene una alta capacidad de absorción de agua y no es adecuada para mezclar sin previo tratamiento.

Para Da Silva, T., & Albuquerque, B. (2014), la cáscara de coco genera muchas ventajas cuando reacciona con la mezcla asfáltica en caliente, ya que puede hacer avanzar la macrotextura del recubrimiento y también como sostienen Beligni, M., Villibor D., & Cincerre, J. (2000) la cáscara puede ayudar a reformar las características mecánicas y mejorar el drenaje superficial del pavimento de los neumáticos permitiendo el uso de granos discontinuos, que pueden aumentar el contenido de aglutinante

por lo que los agregados se recubrirán con una película más gruesa. En ese sentido también Lay Ting, T., Putra Jaya, R., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., & Sri Jayanti, D. (2015) indican que esto puede reducir la oxidación de las mezclas asfálticas, la penetración y separación de la humedad, sin embargo para Al-Hadidy, A., & Yi-Qiu, T. (2009) todas las aplicaciones de asfalto tienen un problema, se volverá quebradizo a bajas temperaturas y blando a altas temperaturas, en ese sentido puede ser conveniente el uso de la cáscara y la fibra de coco pudiendo aumentar el rango de temperatura del asfalto y así cumplir con las exigencias técnicas de una mezcla asfáltica en caliente y además esta función puede reducir el secado y el agrietamiento que se producen en el pavimento asfáltico convencional cuando se enfrenta sobre todo a diversos climas a lo largo y ancho de nuestro país.

También sostienen Do Vale, A., Casagrande, M., & Soares, J. (2006) que a altas temperaturas de mezcla y compactación este material ayuda a reducir el flujo de asfalto, por lo que puede ayudar a prevenir el revenimiento y asegurarse de que el contenido de los vacíos generados por el aire no se obstruya con el ligante de asfalto sobre todo en altas temperaturas. Finalmente, otro antecedente destacable es lo señalado por Tan, I., Wu, W.H., Chan, R.A., & Lim, L. (2014) y Chen, H., & Xu, Q. (2010) en sus respectivas investigaciones, pues afirman que tanto la fibra como la cáscara tienen una excelente absorción de humedad porque la irregularidad de la superficie de la sección transversal proporciona una estructura única, dicha estructura da como resultado una mejor permeabilidad al aire y conductividad de la humedad como mezcla; además mejorará la susceptibilidad a la humedad, la viscoelasticidad y la resistencia a la formación de surcos y ondulaciones, así como las propiedades que evitan el agrietamiento al bajar la temperatura, durabilidad, tenacidad del material, resistencia a la fatiga y reducirá el agrietamiento reflectante de la mezclas y la capa de asfalto.

2. Materiales y Métodos

Como parte de la muestra de la investigación fue necesario realizar un análisis en porcentajes de adición de fibra y de cáscara por medio de la elaboración de briquetas con una cantidad total de 180, es decir tres briquetas para cada caso y una adicional para la muestra patrón para establecer previamente si cumplían con los requisitos mínimos exigidos por la normatividad vigente (ver tabla 1). El lugar de desarrollo de la investigación fue en el laboratorio de JBO Ingenieros S.A.C. (ver figura 1) y los laboratorios de mecánica de suelos y ensayo de ensayo de materiales ambos de la Universidad Ricardo Palma (ver figura 2), dichos laboratorios están ubicados en la ciudad de Lima. El período de realización del muestreo, recolección de datos, ensayos de laboratorio, procesamiento de datos y resultados se desarrolló entre los meses de abril a diciembre del 2018.

Tabla 1

Cantidad de muestras realizadas expresadas en número de briquetas por % de adición y tránsito.

Adición en % de coco		Mezcla asfáltica en caliente convencional	Cantidad de briquetas según los tipos de tránsito		
En fibra (%)	En cáscara (%)		Liviano	Medio	Pesado
0.50	2.50	Ninguno	10.00	10.00	10.00
0.80	2.20	Ninguno	10.00	10.00	10.00
1.00	2.00	Ninguno	10.00	10.00	10.00
1.50	1.50	Ninguno	10.00	10.00	10.00
2.00	1.00	Ninguno	10.00	10.00	10.00
2.50	0.50	Ninguno	10.00	10.00	10.00

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1. Laboratorio de ensayo de materiales – Universidad Ricardo Palma.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Laboratorio de JBO Ingenieros S.A.C. – Lima.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al tipo de investigación, ésta correspondió de acuerdo al fin que se desea alcanzar como cuantitativa cuasi experimental y el tipo de diseño fue experimental. En cuanto a los materiales para la ejecución de la investigación se emplearon los de la cantera “Debora” (ver tabla 2, tabla 3, tabla 4 y figura 3) ubicada en el norte del Perú, específicamente entre Piura y Sullana cuyas características cumplen con los requisitos mínimos exigidos por la normatividad del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y ASTM.

En cuanto a la cal empleada, dicho material es una sustancia alcalina constituida por óxido de calcio (CaO), de color blanco o blanco grisáceo y se adquirió en la ciudad de Lima. La cal en mezclas asfálticas funciona como filler usualmente en porcentajes que van desde el 0.10% hasta el 1.00% y al igual que los demás materiales empleados cumplió con los requerimientos de las normatividades del MTC y ASTM.

Tabla 2

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (combinación) según norma MTC E 204-2015.

Mallas		Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)	Huso según
Serie americana (pulg)	Abertura (mm)				MAC - 2 y la EG-2013-MTC
3"	75.000	----	----	----	----
2 1/2"	62.500	----	----	----	----
2"	50.000	----	----	----	----
1 1/2"	37.500	----	----	----	----
1"	25.000	----	----	----	----
3/4"	19.000	----	----	100.0	100 - 100
1/2"	12.500	7.7	7.7	92.3	80 - 100
3/8"	9.500	13.4	21.1	78.9	70 - 88
1/4"	6.250	12.3	33.4	66.6	
N°4	4.750	6.6	40.0	60.0	51 - 68
N°6	3.350	3.8	43.8	56.2	
N°8	2.360	6.1	49.9	50.1	
N°10	2.000	4.0	53.9	46.1	38 - 52
N°16	1.180	8.5	62.4	37.6	
N°20	0.850	5.2	67.6	32.4	
N°30	0.600	5.6	73.2	26.8	
N°40	0.425	4.3	77.5	22.5	17 - 28
N°50	0.300	4.4	81.9	18.1	
N°80	0.177	5.5	87.4	12.6	8 - 17
N°100	0.150	3.2	90.6	9.4	
N°200	0.075	3.7	94.3	5.7	4 - 8
> a N°200	MTC E 202	5.7	100.0	0.0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Análisis de peso específico y absorción de agregados gruesos según norma MTC E 206-2016.

Descripción	Unidad	Agregado grueso
Peso de material saturado y superficie seca (en aire)	gramo	1480.0
Peso de material saturado y superficie seca (en agua)	gramo	934.5
Volumen de sólidos + volumen de vacíos	cm ³	545.5
Peso de material seco a 105°C	gramo	1475.6
Volumen de sólidos	cm ³	541.1
Peso bulk base seca	g/cm ³	2.705
Peso bulk base saturada	g/cm ³	2.713
Peso aparente base seca	g/cm ³	2.727
Absorción	%	0.30

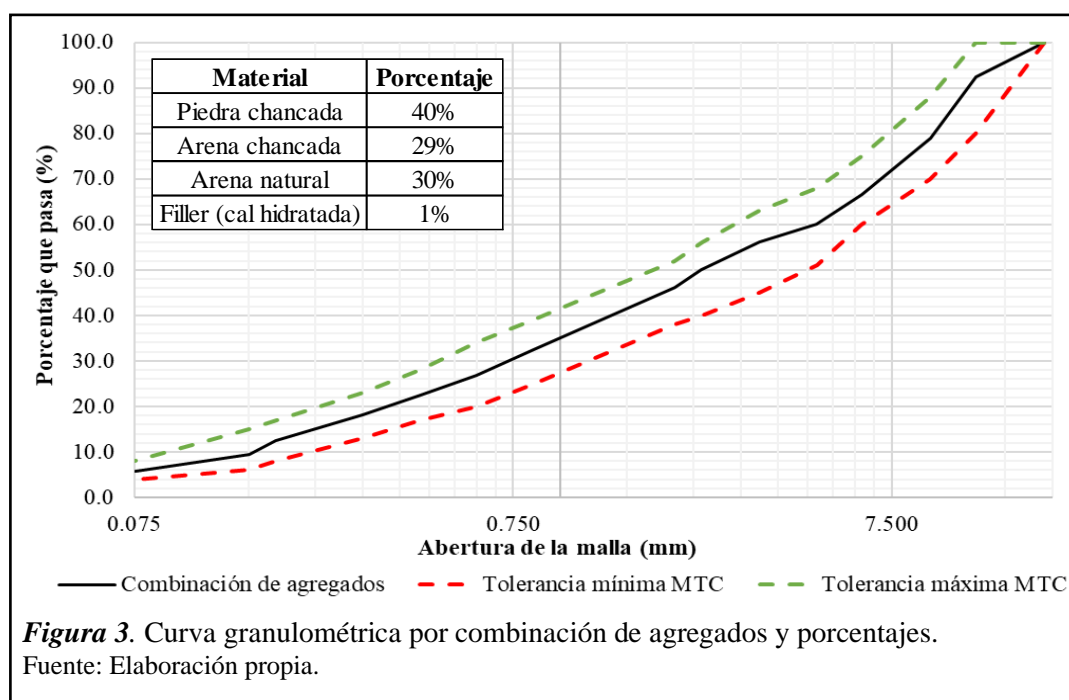
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Análisis de la adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos – MTC E 220-2016.

Denominación	Indicador	Agregado: Arena chancada		Agregado: Arena natural	
		Ligante bituminoso sin mejorador de adherencia	Ligante bituminoso con mejorador de adherencia	Ligante bituminoso sin mejorador de adherencia	Ligante bituminoso con mejorador de adherencia
Agua destilada	0	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Concentración de carbonato sódico	M/256	1	Nulo	Nulo	Nulo
	M/128	2	Nulo	Nulo	Parcial
	M/64	3	Parcial	Nulo	Parcial
	M/32	4	Parcial	Nulo	Parcial
	M/16	5	Parcial	Parcial	Parcial
	M/8	6	Parcial	Parcial	Total
	M/4	7	Total	Parcial	Total
	M/2	8	Total	Parcial	Total
	M/1	9	Total	Parcial	Total
Resultados		Parcial - Grado 3 y Total - Grado 7	Parcial - Grado 5 y Total - Grado 10	Parcial - Grado 2 y Total - Grado 6	Parcial - Grado 4 y Total - Grado 8

Fuente: Elaboración propia.



Respecto al tipo de asfalto que se empleó fue un PEN 60-70 (ver tabla 5) que cumple con las especificaciones técnicas del MTC, además se incluyó un aditivo mejorador de adherencia del tipo amina que en peso representó el 0.5% del asfalto.

Tabla 5

Especificación del cemento asfáltico empleado en la investigación caracterizado por su penetración.

Tipo	Denominación	Ensayo	Penetración 60-70	
			Mínima	Máxima
	Prueba sobre el material bituminoso	----	----	----
	Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	60	70
	Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232	----
	Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	----
	Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99	----
	Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	1
	Ensayo de la Mancha (Oliensies)	----	----	----
	Solvente Nafta – Estándar			
	Solvente Nafta – Xileno, % Xileno	AASHTO M 20	Negativo	
	Solvente Heptano – Xileno, % Xileno			
	Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h	----	----	----
	Pérdida de masa, %	ASTM D 1754	----	0.8
	Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	52+	----
	Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	50	----

Fuente: Especificaciones técnicas del MTC.

El coco es una fruta tropical obtenida del cocotero (*Cocos nucifera*), la palmera más cultivada a nivel mundial. Tiene una cáscara exterior gruesa (exocarpio) y un mesocarpio fibroso y otra interior dura, vellosa y marrón (endocarpio) que tiene adherida la pulpa (endospermo), que es blanca y aromática. Mide de 20.00 a 30.00 centímetros. y llega a pesar en promedio 2.60 Kilogramos.



Figura 4. Selección, separación y corte manual de la fibra y cáscara de coco

Fuente: Elaboración propia.

Este fue previamente seleccionado de la provincia y distrito de Bagua, Región Amazonas y enviados a Lima y a los respectivos laboratorios, luego se procedió al separado de la primera capa exocarpio, usando la parte intermedia el mesocarpio, luego estas fueran deshilachadas y cortadas en longitudes de 1.00 a 3.00 centímetros máximo en forma directa y manual (ver figura 4). La composición proximal se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la Association of Official Analytical Chemist (AOAC), comprendiendo los siguientes análisis: humedad (M925.10), cenizas totales (Método 930.05), proteína total (Método 978.04), extracto etéreo (Método 930.09), fibra cruda (Método 7.073) y carbohidratos totales como extracto libre de nitrógeno (ELN).

El principal fin al escoger la fibra de coco como adición para la mezcla de asfalto, fue el querer buscar un material que sea desechado por falta de uso, generalmente el coco solamente es aprovechado en su interior (líquido y fruto) y su parte externa es desechada generando residuos en el sitio donde es consumido o en lugares de mercado y con el fin de reducir costos y gastos energéticos; la fibra de coco no sufre ninguna alteración química debido a que lo que se busca es la implementación de alternativas amigables y que no causen daño al medio ambiente, entonces para la utilización de este material en la mezcla solamente son necesarias herramientas básicas como lo son las tijeras pero a futuro al querer industrializar y generar fibras de coco para utilizarlas en mezclas asfálticas en caliente se necesitaría de una trituradora que genere la calidad y cantidad de material en un menor tiempo en condiciones óptimas.

Se tiene muy pocas experiencias en el Perú sobre el proceso de adición de la fibra y la cáscara de coco a la mezcla asfáltica o al menos no se sabe en que porcentajes se debería adicionar durante el proceso de mezclado por lo cual se recurrió a algunas investigaciones relacionadas al tema para sustentar el procedimiento, por ejemplo Abiola, O., Kupolati, W.K., Sadiku, E.R., & Ndambuki, J. (2014) señalan que existen dos métodos para mezclar la fibra en la modificación del betún, el proceso húmedo mezcla las fibras con el aglutinante asfáltico antes de incorporar el aglutinante a la mezcla, mientras que el proceso seco mezcla la fibra con el agregado antes de agregar el asfalto. A partir del resultado del experimento, también Abtahi, S., Hejazi, S., Sheikhzadeh, M., & Semnami, D. (2008) afirman que no hay diferencia en las propiedades del ensayo Marshall entre el proceso seco y el proceso húmedo, sin embargo, el proceso en seco es más fácil de realizar y distribuye mejor la fibra en la mezcla.

Para los investigadores Do Vale, A., Casagrande, M., & Soares, J. (2006) proponen aplicar la fibra de coco en Stone Matrix Asphalt (SMA) utilizando dos métodos diferentes que son Marshall y Superpave. Indican además que el método Marshall controla el vacío durante la compactación de las mezclas con diferentes golpes adoptados para cada cara. Las muestras en Superpave se compactaron en cilindro de 100 milímetros con 100 vueltas para la muestra sin fibra y con fibra de celulosa y 160 vueltas para las muestras con fibra de coco para alcanzar el 4.00% de contenido de huecos de aire. Las muestras de Superpave y Marshall se habían utilizado para resistencia a la tracción indirecta, prueba de drenaje, módulo elástico, susceptibilidad a la humedad y resistencia a la fatiga.

Muestran también que la resistencia a la tracción y el módulo de resiliencia del tipo de asfalto caracterizado por penetración 50/70 con fibra de coco fue mayor usando el método Superpave y fue el más alto entre tres diferentes condiciones de muestras: sin fibra, con fibra de coco y con fibra de celulosa. Recomiendan también que las fibras de coco se utilizan para evitar el flujo de asfalto a altas temperaturas de compactación y mezcla, por último, respecto a los porcentajes de fibra utilizados son de 0.10% a 0.70%, luego se calentaron por separado con agregado a 175 ° C antes de mezclar con ligante asfáltico de manera que como resultados obtuvieron que el 0.50% de fibra cortada de coco es factible en mezclas de tipos SMA con CAP 50/70. La longitud de la fibra de coco no debe superar los 20 mm, es decir de 2.00 centímetros.

Finalmente se decidió emplear el procedimiento señalado por Abiola, O., Kupolati, W.K., Sadiku, E.R., & Ndambuki, J. (2014), las recomendaciones de Abtahi, S., Hejazi, S., Sheikhzadeh, M., & Semnami, D. (2008) y los procedimientos comunes para el desarrollo de una mezcla asfáltica en caliente (HMA) bajo condiciones normales que se ejecutan en laboratorio (ver figura 5).



3. Resultados

Los resultados obtenidos se basaron en tres enfoques analizados a partir del ensayo Marshall, el primero para la mezcla asfáltica en caliente con adición de la fibra y cáscara de coco en porcentajes (ver tabla 6 y figura 6); el segundo enfoque basado en una mezcla asfáltica en caliente convencional (ver tabla 7 y figura 7); el tercer enfoque relacionado a la comparación de los resultados (ver tabla 8).

Tabla 6

Resultados del ensayo Marshall para la mezcla asfáltica en caliente con adición de coco óptimo.

Parámetro	Unidad	Norma	Valor inicial	Valor medio	Valor final
N° de golpes	----	MTC		75.00	
Fibra de coco	%	----		2.00	
Cáscara de coco	%	----		1.00	
Contenido de asfalto en peso	%	----	6.10	6.40	6.70
Peso específico	g/cm ³	ASTM D-1188	2.367	2.372	2.375
Estabilidad	Lbs	ASTM D-1559	2629	2653	2630
Flujo	0,01"	ASTM D-1559	20.50	21.60	22.60
Vacíos de aire	%	ASTM D-3203	4.60	4.00	3.50
Vacíos de agregado mineral	%	ASTM D-1559	17.80	17.60	17.30
Vacíos llenos de asfalto	%	ASTM D-1559	73.90	76.90	79.70
Absorción del asfalto	%	ASTM D-4469		0.34	
Estabilidad / Flujo	Kg/cm	ASTM D-1559	2290	2199	2078
Relación polvo - asfalto	----	----	1.00	1.00	0.90
Temperatura máxima de mezcla	°C	----		145.00	

Fuente: Elaboración propia.

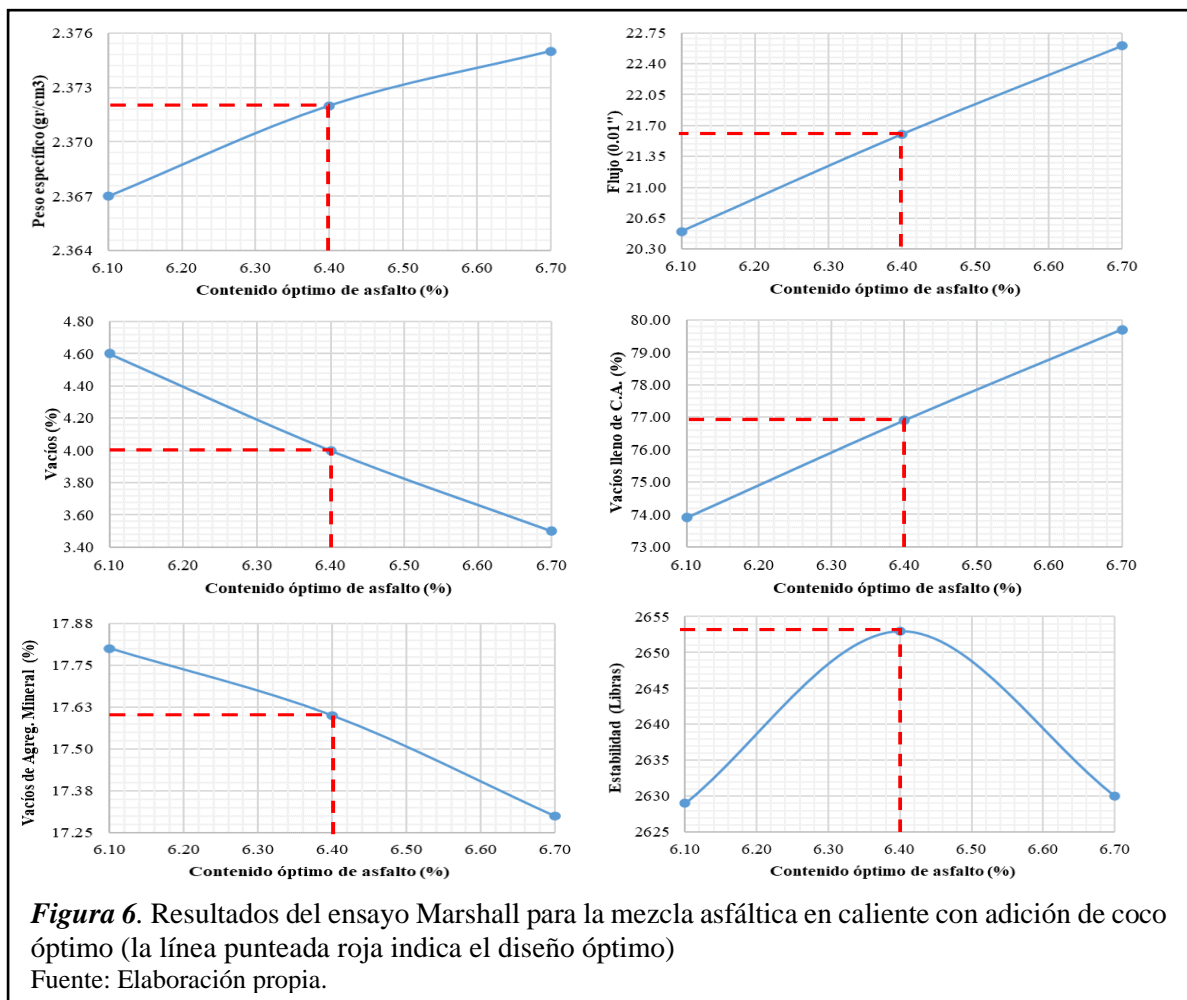


Tabla 7

Resultados del ensayo Marshall para la mezcla asfáltica en caliente convencional.

Parámetro	Unidad	Norma	Valor inicial	Valor medio	Valor final
N° de golpes	----	MTC		75.00	
Contenido de asfalto en peso	%	----	5.40	5.70	6.00
Peso específico	g/cm ³	ASTM D-1188	2.334	2.341	2.345
Estabilidad	Lbs	ASTM D-1559	2683	2838	2894
Flujo	0,01"	ASTM D-1559	12.80	13.20	13.40
Vacíos de aire	%	ASTM D-3203	4.90	4.10	3.50
Vacíos de agregado mineral	%	ASTM D-1559	17.00	16.90	16.80
Vacíos llenos de asfalto	%	ASTM D-1559	71.30	75.60	79.10
Absorción del asfalto	%	ASTM D-4469		0.18	
Estabilidad / Flujo	Kg/cm	ASTM D-1559	3752	3854	3854
Relación polvo - asfalto	----	----	1.00	0.90	0.90
Temperatura máxima de mezcla	°C	----		145.00	

Fuente: Elaboración propia.

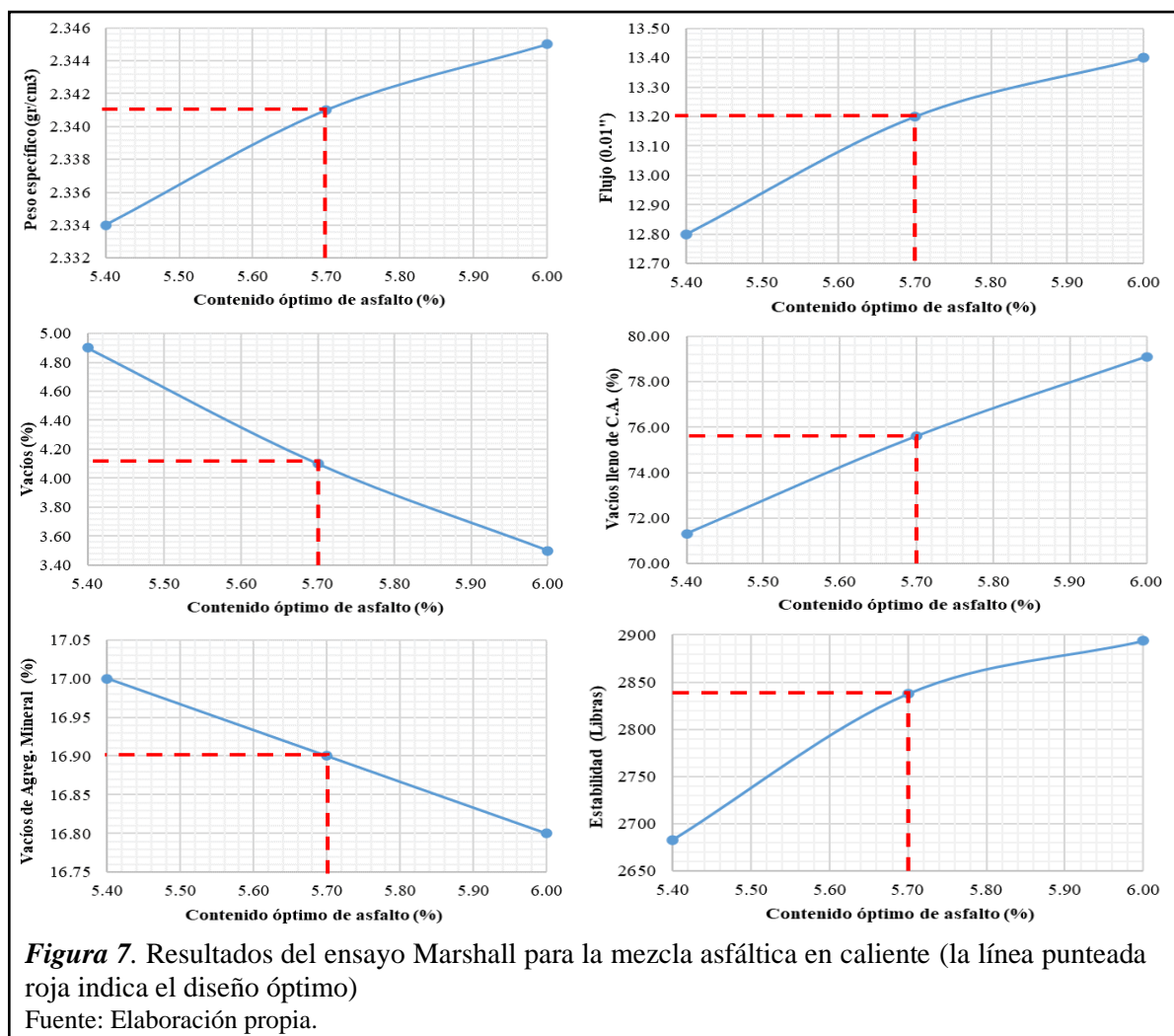


Tabla 8

Comparación de los resultados obtenidos para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente.

Parámetro	Unidad	Mezcla asfáltica en caliente		Especificación técnica del MTC
		Con fibra y cáscara de coco	Convencional	
Óptimo contenido de asfalto	%	6.40	5.70	----
Peso específico	g/cm ³	2.37	2.34	----
Vacíos de aire	%	4.00	4.10	De 3% a 5%
Vacíos de Agregado Mineral	%	17.60	16.90	Mínimo 14%
Vacíos llenos de asfalto	%	76.90	75.60	De 65% a 75%
Flujo	mm	5.46	3.34	De 2 mm a 4 mm
Estabilidad	Lbs	2653.00	2838.00	Mínimo 815 Lbs
Relación Estabilidad / Flujo	Kg/cm	2199.00	3854.00	De 1700 Kg/cm a 4000 Kg/cm

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos destaca el óptimo contenido de asfalto, pues en el caso de la adición de la fibra y cáscara de coco con respecto a la mezcla asfáltica convencional el valor aumenta en 0.70%, esto se puede deber a que tanto la fibra y la cáscara de coco no logran completar los vacíos necesarios llegando a un valor superior al 1.00% respecto a la mezcla que no se adicionó y a pesar de ello no estarían cumpliendo los vacíos llenos de asfalto con la especificación del MTC.

Respecto al parámetro flujo no estaría cumpliendo con la especificación general del MTC pues supera 2.13 mm en relación a la mezcla convencional, esto se puede deber a los porcentajes de mezclas de la fibra y la cáscara.

A pesar de que la adición de coco a la mezcla asfáltica no estaría cumpliendo dos especificaciones del MTC, se puede decir que esta presenta mejor comportamiento en cuanto a la relación estabilidad / flujo, puesto que la mezcla asfáltica convencional su valor obtenido está muy cerca al valor límite permisible.

4. Discusión

Tal y como lo señalan Rahman, M. T., Mohajerani, A., & Giustozzi, F. (2020), el reciclaje y la reutilización de materiales naturales y/o artificiales son los métodos más eficientes en la gestión de residuos y por ende los pavimentos son una industria prometedora para su desarrollo, debido a ello la presente investigación es sostenible y amigable con el medio ambiente pues se empleó las fibras y cáscaras de coco como elementos que se adicionan a la mezcla asfáltica en caliente sustentado también por Slebi-Acevedo, C. J., Lastra-González, P., Pascual-Muñoz, P., & Castro-Fresno, D. (2019), dando buenos resultados con un mayor énfasis en una mejor relación estabilidad flujo, esto implicó que la adición de estos materiales sean en porcentajes tomando como referencia la investigación de Loaiza, A., Garcia, E., & Colorado, H. A. (2019) que emplearon porcentajes de hasta 5.00%; para el desarrollo de nuestra investigación se creyó conveniente usar un máximo de 3.00% de ambos materiales y pues como se contrastó con los resultados si se agregara más fibra y/o cáscara de coco generaría mayores vacíos en la mezcla asfáltica provocando a futuro problemas mecánicos en la futura capa de rodadura.

Para los investigadores Rachman, F., & Syammaun, T. (2019), Syammaun, T., & Rachman, F. (2019), Norhidayah, A. H., Haryati, Y., Nordiana, M., Khairul Idham, M. S. M., Juraidah, A., & Ramadhansyah, P. J. (2019) y Tandibua, J., Rachman, R., & Tanijaya, J. (2020) las condiciones de

durabilidad está asociada a la capacidad del cemento asfáltico para aceptar la repetición de cargas de tráfico, la fricción, el desgaste del clima y con mayor énfasis en la capacidad de drenaje y/o permeabilidad, ello implica que tanto la estabilidad y el flujo con la adición de cáscara y fibra de coco sean las óptimas, por lo expuesto en los resultados se recomendaría disminuir la cantidad de cáscara de coco y a la vez mantener el porcentaje de fibra en la mezcla asfáltica en caliente sobre todo para tipos de tránsitos medios y pesados.

Se debe realizar una investigación detallada sobre los mecanismos de refuerzo similares de las fibras y cáscaras de cocos, así pues lo manifiestan Lay Ting, T., Putra Jaya, R., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., & Sri Jayanti, D. (2015), indican además que las diversas propiedades de estos componentes del coco deben centrarse en el pavimento asfáltico investigaciones futuras, entonces por lo expuesto la presente investigación si podría ser aplicable en el Perú salvo con los ajustes de los porcentajes sobre todo de la fibra de coco y además considerando que el proceso de mezcla cumplan los requerimientos exigidos por el MTC y la normas ASTM.

También creemos conveniente que en futuras investigaciones se emplee otros tipos de mejoradores de adherencia y se pruebe además con distintos tipos y/o características de coco pues en nuestro país existen diversas variedades de coco que incluya la variabilidad de la longitud de la fibra, el diámetro y espesor de la cáscara de coco, la variación de la temperatura de la mezcla asfáltica y la posibilidad de que se pueda emplear este material en el desarrollo de mezclas tibias y mezclas templadas, pues como lo sostiene Maharaj, R., Ali, R., Ramlochan, D., & Mohamed, N. (2019) la influencia de la fibra de coco añadida de varias longitudes (de 2,5 mm a 10 mm) y dosis (hasta 8% en peso) influyen directamente en las propiedades reológicas del asfalto y por ende en la mezcla asfáltica, incluye también el estudio futuro del comportamiento a nivel molecular según Hidalgo-Salazar, M. A., Correa-Aguirre, J. P., García-Navarro, S., & Roca-Blay, L. (2020) ya que evaluaron las propiedades de una matriz de mezcla de poliolefinas y la modificaron mediante la adición de fibra de coco y mostraron que sus resultados abren una oportunidad factible para considerarlo como material alternativo para el diseño y fabricación de productos sostenibles con el medio ambiente.

5. Conclusiones

Se estudiaron las características de la cáscara y fibra de coco en porcentajes y se aplicaron al asfalto de tipo PEN 60-70 para una mezcla asfáltica en caliente empleando para ello cocos de la zona de Bagua, Región Amazonas y luego los agregados de la cantera “Debora” de Piura – Sullana, Región Piura que fueron llevados a los respectivos laboratorios ubicados en la ciudad de Lima, Región Lima, cumpliendo finalmente todos los materiales según las especificaciones del MTC, normas de la ASTM y métodos de la AOAC.

Se evaluaron los resultados obtenidos según la normatividad peruana y ASTM obteniéndose que cumplen con los requisitos mínimos establecidos, sin embargo no se descarta emplear en futuras investigaciones otras canteras disponibles en nuestro país para contrastar los resultados obtenidos, continuar con la validación de resultados y abrir la posibilidad de que se pueda normar y/o estandarizar los rangos de incorporación de materiales amigables y sostenibles en la construcción de carreteras como en este caso es la fibra de coco y la cáscara de coco.

Se desarrolló el ensayo por el método Marshall para obtener los porcentajes óptimos de asfalto tanto de la adición con la fibra de coco y cáscara de coco como de la mezcla asfáltica convencional, obteniéndose que la adición de este material hace aumentar en porcentaje en casi una unidad, sin embargo, se determinó que si influye en la relación estabilidad / flujo pues se obtuvo un valor muy por debajo del máximo permisible y una adecuada estabilidad en comparación a la mezcla convencional.

6. Referencias

- Abiola, O., Kupolati, W.K., Sadiku, E.R., & Ndambuki, J. (2014). Utilisation of natural fibre as modifier in bituminous mixes: A review. *Construction and Building Materials*, 54, 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.037>
- Abtahi, S., Hejazi, S., Sheikhzadeh, M., & Semnami, D. (2008). An Investigation on the Use of Textile Materials to Mechanical Reinforcement of Asphalt-Concrete (AC) Structures and Analysis of Results by an Artificial Neural Network (ANN). 4th Nat Cong on Civil Eng. <https://abtahi.iut.ac.ir/paper9>
- Al-Hadidy, A., & Yi-Qiu, T. (2009). Mechanistic Approach for Polypropylene-modified Flexible Pavements. *Materials & Design*. 30(4): 1133-1140. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.06.021>
- Beligni, M., Villibor D., & Cincerre, J. (2000). Misturas Asfálticas do Tipo SMA (Stone Matic Asphalt): Solução para Revestimentos de Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas de Tráfego Intenso. *Anais da Reunião Anual de Pavimentação-32 ° RAPv. Brasil*. 1: 590-605.
- Chen, H., & Xu, Q. (2010). Experimental study of fibers in stabilizing and reinforcing asphalt binder. *Fuel*, 89(7), 1616-1622. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.08.020>
- Da Silva, T., & Albuquerque, B. (2014). Potential utilization of green coconut in asphalt paving in Rio de Janeiro and its benefits for the environment. *Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment*, 7p. <https://trid.trb.org/view/1316928>
- Do Vale, A., Casagrande, M., & Soares, J. (2006). Application of Coconut Fibers in SMA Mixtures. *Pavements Mechanics Laboratory, Transport Engineering Department Federal University of Ceara, Brazil*. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.539.480&rep=rep1&type=pdf>
- Hidalgo-Salazar, M. A., Correa-Aguirre, J. P., García-Navarro, S., & Roca-Blay, L. (2020). Injection Molding of Coir Coconut Fiber Reinforced Polyolefin Blends: Mechanical, Viscoelastic, Thermal Behavior and Three-Dimensional Microscopy Study. *Polymers* (20734360), 12(7), 1507. <https://doi.org/10.3390/polym12071507>
- Lay Ting, T., Putra Jaya, R., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., & Sri Jayanti, D. (2015). A review of utilization of coconut shell and coconut fiber in road construction. *Jurnal Teknologi*, 76(14), 121-125. <https://doi.org/10.11113/jt.v76.5851>
- Loaiza, A., Garcia, E., & Colorado, H. A. (2019). Evaluation of asphalt binder blended with coconut coir dust and residual coconut fibers for structural applications. [Evaluación de asfalto mezclado con polvo de corteza y fibras residuales de coco para aplicaciones estructurales] *Revista De La Construccion*, 17(3), 542-554. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.3.542>
- Maharaj, R., Ali, R., Ramlochan, D., & Mohamed, N. (2019). Utilization of coir fibre as an asphalt modifier. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 35(2), 59-74. <https://doi.org/10.1177/1477760618795996>
- Norhidayah, A. H., Haryati, Y., Nordiana, M., Khairul Idham, M. S. M., Juraidah, A., & Ramadhansyah, P. J. (2019). Permeability coefficient of porous asphalt mixture containing coconut shells and fibres. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 244(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012037>

- Rachman, F., & Syammaun, T. (2019). Evaluation of asphalt porous mixture properties due to addition of arenga pinnata and coconut fibers. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 674(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012022>
- Rahman, M. T., Mohajerani, A., & Giustozzi, F. (2020). Recycling of waste materials for asphalt concrete and bitumen: A review. *Materials*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/ma13071495>
- Shelke, A., Ninghot, K., Kunjekar, P., & Gaikwad, S. (2014). Coconut Shell as Partial Replacement for Coarse Aggregate: Review. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(3), 211-214. https://www.ripublication.com/ijcer_spl/ijcerv5n3spl_02.pdf
- Slebi-Acevedo, C. J., Lastra-González, P., Pascual-Muñoz, P., & Castro-Fresno, D. (2019). Mechanical performance of fibers in hot mix asphalt: A review. *Construction and Building Materials*, 200, 756-769. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.171>
- Syammaun, T., & Rachman, F. (2019). Comparison of cantabro test using arenga pinnata fiber and coconut fiber in porous asphalt. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 674(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012026>
- Tan, I., Wu, W.H., Chan, R.A., & Lim, L. (2014). Effect of Mercerization and Acetylation on Properties of Coconut Fiber and its Influence on Modified Bitumen. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 5(1), 17-22. <https://doi.org/10.33736/jcest.128.2014>
- Tandibua, J., Rachman, R., & Tanijaya, J. (2020). Study of laston BC durability and permeability using coconut shell addition materials. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 419(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012035>