

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

## **Evaluación del asfalto modificado a base de caucho reciclado de neumáticos en comparación del asfalto convencional**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Civil

Por:

Saul Ruben Santos Carlos

Julio Cesar Lobato Campos

Asesor:

Leonel Chahuares Paucar

Lima, noviembre 2020

## DECLARACION JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACION

Mg. Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "Evaluación del asfalto modificado a base de caucho reciclado de neumáticos en comparación del asfalto convencional" constituye la memoria que presenta los estudiantes Saul Ruben Santos Carlos y Julio Cesar Lobato Campos para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los 4, diciembre del 2020.



Leonel Chahuares Paucar

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....26.....día(s) del mes de.....Noviembre.....del año 2020 siendo las.....10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): ..... Ing. Ferrer Canaza Rojas....., el (la) secretario(a): ..... Ing. Fiorella Maira Zapata Antezana..... y los demás miembros: ..... Ing. Giuliano Ricardo Moreno Patiño y el (la) asesor(a)... Mg. Leonel

Chahuares Paucar.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Evaluación del asfalto modificado a base de caucho reciclado de neumáticos en comparación del asfalto convencional". de los (las) egresados (as):

.....a)..... **SAUL RUBEN SANTOS CARLOS**.....  
 .....b)..... **JULIO CESAR LOBATO CAMPOS**.....

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

.....**INGENIERÍA CIVIL**.....  
 (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): ..... **SAUL RUBEN SANTOS CARLOS**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesima I	Literal	Cualitativa	
APROBADO	15	B-	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b): ..... **JULIO CESAR LOBATO CAMPOS**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesima I	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al.... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente  
 Ing. Ferrer Canaza  
 Rojas



\_\_\_\_\_  
 Secretario  
 Ing. Fiorella Maira  
 Zapata Antezana

\_\_\_\_\_  
 Asesor  
 Mg. Leonel Chahuares  
 Paucar

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Ing. Giuliano Ricardo  
 Moreno Patiño

\_\_\_\_\_  
 Candidato (a)  
 Saul Ruben Santos  
 Carlos

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)  
 Julio Cesar Lobato  
 Campos

# Evaluación del asfalto modificado a base de caucho reciclado de neumáticos en comparación del asfalto convencional

Saul Ruben Santos Carlos\*, Julio Cesar Lobato Campos\*

*EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú*

## Resumen

En la actualidad la acumulación de neumáticos ha generado una gran contaminación en los años que afecta el medio ambiente, algunas soluciones son la incorporación de productos industriales como el neumático de llantas reciclables para ser parte constitutiva de la estructura de pavimento al dar a las mezclas asfálticas un comportamiento mecánico, propiedades de resistencia, durabilidad que aumente los años de vida útil para su mantenimiento y reducir su costo total. Para la cual, se necesita determinar su composición y temperatura adecuadas para la mezcla de asfalto-caucho, que debe cumplir con lo especificado en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Por lo general tener conciencia en las 3R: reducir, reusar y reciclar que en lo general estos recursos están en la basura de cada día que dentro de poco tiempo hará mucha falta. La construcción de carreteras es altamente productiva y por la cual genera altos consumos de materiales, siendo así una solución para el reciclado de neumáticos. Mediante esta investigación se realizó un análisis comparativo del asfalto modificado y el asfalto convencional; en el aspecto de análisis económico; y las ventajas que estos asfaltos modificados tienen, donde la investigación tuvo un análisis de revisión que se logró mediante otras investigaciones ya realizadas y publicadas.

**Palabras claves:** Pavimentos, asfalto convencional, asfalto modificado, neumático.

## Abstract

Currently the accumulation of tyres has generated a great pollution in the years that affects the environment, some solutions are the incorporation of industrial products such as the tire of recyclable tires to be a constituent part of the pavement structure by giving asphalt mixtures a mechanical behavior, resistance properties, durability that increases the years of service life for its maintenance and reduces its total cost. For which, it is necessary to determine its proper composition and temperature for the mixture of asphalt-rubber, which must comply with what is specified in the Road Manual of the Ministry of Transport and Communications. Usually be aware of the 3Rs: reduce, reuse and recycle that usually these resources are in the trash every day that will soon be much needed. The construction of roads is highly productive and by which it generates high consumption of materials, thus being a solution for the recycling of tyres. This research conducted a comparative analysis of modified asphalt and conventional asphalt; economic analysis; and the advantages that these modified asphalts have, where the research had a review analysis that was achieved through other research already carried out and published.

**Keywords:** Pavement, conventional asphalt, modified asphalt, pneumatic

\*Correspondencia de Saul Ruben Santos Carlos, Julio Cesar Lobato Campos  
Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima.  
E-mail: [saulsantos@upeu.edu.pe](mailto:saulsantos@upeu.edu.pe)

## 1. INTRODUCCIÓN

El caucho es un producto natural de formidables cualidades elastoplásticas. Se obtiene a partir del látex, un fluido lechoso y con aspecto gomorresinoso que se encuentra en las células de numerosas especies de arbustos y árboles: El hevea brasilienses del Amazonas, el castillo elástica o árbol de hule de Méjico y muchas otras especies de Indonesia, Malasia, Tailandia, la china y la India países en donde se produce el 90% del caucho que se usa en el mundo según (Contreras Martínez & Vilcatoma Mamani, 2020).

En el mercado mundial se utilizan dos tipos de caucho, el sintético y el natural. El primero, se obtiene mediante distintos polímeros y sirve para la producción de muchas variedades de productos. En cuanto al caucho natural, este se genera en el continente asiático (sudeste), en lo que el caucho sintético procede primordialmente de países industrializados como Japón, Europa Oriental y Occidental, USA. En Centro y Sudamérica, solo Brasil posee una industria a gran escala de caucho sintético. Cabe mencionar que el 75 % del caucho natural y el 60% del sintético se destinan a la industria de los neumáticos y afines, ya que estos productos generan empleo a más de medio millón de personas en el mundo según (Contreras Martínez & Vilcatoma Mamani, 2020).

El asfalto se considera viscoso cuando es sometido a temperaturas altas, mientras que en condiciones donde la temperatura es baja se vuelve sólido con propiedades elásticas. Se utilizan curvas o monogramas para conocer las características del flujo del asfalto para distintos cambios de temperatura, que están relacionados principalmente con las propiedades del asfalto (Moreno, 2016).

El método propuesto determina evaluar la resistencia, durabilidad y el costo del asfalto convencional y del asfalto modificado mediante gráficos estadísticos con el fin de incrementar su vida útil del pavimento ante posibles problemas de fisuras, agrietamientos, desgaste, deterioro, deformaciones por las cargas sometidas por el tráfico y la alta demanda de vehículos en nuestro país.

El método del diseño consiste en determinar las cualidades (durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, estabilidad, etc.) que debería tener la mezcla de pavimentación. Así mismo, se debería elegir un tipo de agregado y otro compatible de asfalto que al instante de mezclarse se obtenga un producto de buenas cualidades. Al término de este proceso se comienza con la preparación de estos ensayos según (Carrizales Apaza, 2015).

## **2. DESARROLLO**

El asfalto se define como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido, primordialmente, por betunes que tienen la posibilidad de ser naturales u conseguidos por extracción y/o refinación del petróleo. Además, se presenta en proporciones variables en la mayor parte de los petróleos crudos (ASTM). Asimismo (Vega Zurita, 2016) aporta con el concepto de que, el asfalto es un material de color marrón oscuro a negro, cementante, que puede variar ampliamente en su consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a diferentes temperaturas ambientes.

El asfalto usado en trabajos de pavimentación proviene de la destilación del petróleo. Debido a la versatilidad de los materiales bituminosos, hacen que sean los más utilizados para la construcción de estructuras de pavimentos y su mantenimiento posterior. Los principales tipos de ligantes bituminosos más usados en la actualidad para la elaboración del diseño de mezclas asfálticas son los cementos asfálticos o de penetración, asfaltos líquidos (rebajados), las de emulsiones asfálticas, los naturales y los crudos de petróleo según (Contreras Martínez & Vilcatoma Mamani, 2020).

### **2.1. Propiedades de las mezclas asfálticas:**

Según (Carrizales Apaza, 2015) Las mezclas asfálticas soportan las diferentes cargas producidas por los neumáticos y estas las transmiten a las capas inferiores, proporcionando las condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en las capas superficiales; y es un material muy resistente tanto en lo estructural como en lo mecánico en las diferentes capas. Como resumen, se puede decirse que, en una mezcla asfáltica, generalmente, se debe optimizar las propiedades siguientes:

#### **2.1.1. Estabilidad:**

Es la resistencia al desplazamiento y a la deformación que dependen de las cargas de tráfico. La estabilidad va depender de manera directa de la fricción y la cohesión interna en la mezcla según (Tueros Dávila, 2017).

La fricción que existe internamente es aportada por el material pétreo y es dependiente del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras. Las mezclas con materiales más gruesos y de caras angulosas van a tener mayor estabilidad que mezclas con materiales finos según (Ramírez Palma, 2006).

La cohesión es la fuerza aglutinante de una mezcla que es dependiente la capacidad básicamente para mantener unidas las partículas del asfalto como un agregado. básicamente de la capacidad que tenga el asfalto de mantener unidas las partículas del agregado. La cohesión cambia inversamente con la temperatura hasta llegar al óptimo aumentado el contenido de asfalto, después cambia a un efecto lubricador. La pérdida de su estabilidad en un pavimento también se reconoce como ahuellamientos y Ondulaciones según (Ramírez Palma, 2006).

### **2.1.2. Durabilidad:**

Propiedad de la mezcla que provoca que el pavimento pueda soportar la desintegración sometido al tránsito y a los cambios climáticos. sea capaz de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima. Éste último, afecta principalmente a la capa superior del asfalto por estar expuesto al agua, sol, aire, hace que este material pierda sus propiedades aglutinantes, llegue a endurecer, envejecer y hasta oxidarse afectando así la vida útil de la mezcla asfáltica (Ramírez Palma, 2006). Esta propiedad se mejora de 3 maneras: Utilizando la mayor cantidad posible de asfalto; Utilizando la gradación compacta de agregado resistente a la separación; Diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad (Tueros Dávila, 2017).

### **2.1.3. Resistencia a la fatiga:**

Capacidad de soportar los esfuerzos provocados por las repetitivas pasadas del tránsito vehicular según (Ramírez Palma, 2006). A su vez se conoce que, por medio de algunos estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga según (Tueros Dávila, 2017).

## **2.2. Propiedades y Aplicación del caucho de neumáticos en las mezclas asfálticas:**

El caucho en su estado natural posee propiedades como una buena resistencia a la abrasión, poca resistencia al calor, a los aceites y al ozono, ya que tiene un comportamiento lastómero. Por lo general, la característica del comportamiento mecánico del material es su dependencia a los cambios de temperatura y el tiempo, a este factor se le conoce como un comportamiento visco elástico. Este comportamiento dependerá de la temperatura, del tiempo de ejecución de la carga (carácter visco elástico) y de la magnitud de la carga aplicada según (Contreras Martínez & Vilcatoma Mamani, 2020).

### **2.2.1. Propiedades del caucho:**

El caucho a temperaturas bajas, su estado cambia a rígido y cuando se aproxima a su congelamiento adquiere una estructura fibrosa. Cuando sobrepasa los 100°C comienza a tener alteraciones y llega a su estado plástico. Si el caucho es sometido a fuertes deformaciones y estiramientos no recobra su estado original (por un lapso de tiempo) según (Contreras Martínez & Vilcatoma Mamani, 2020).

### **2.2.2. Aplicación del caucho:**

La producción del caucho natural comienza a crecer de nuevo debido al impulso de las nuevas tecnologías en el campo de la explotación de los recursos naturales (materia prima), ya que se está utilizando nuevos procedimientos para la transformación del producto. El caucho natural y los sintéticos se elaboran para distintos productos como revestimientos de pisos con calidades muy altas, la utilización del caucho en temas de respuestas acústicas, en apariencias estéticas y de seguridad. También es usado en soluciones de acondicionamientos termoacústicos, soluciones en temas de transmisión de vibraciones, absorción de desplazamientos y rotaciones, y soluciones en disipación de energía según (Contreras Martínez & Vilcatoma Mamani, 2020).

Este puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de 3 métodos diferentes como: Proceso por Vía Húmeda, Proceso por Vía Seca y Proceso en Refinería según (Ramírez Palma, 2006).

### **2.3. Evaluación de resistencia.**

Según Moreno (2016), el asfalto tiene la capacidad de resistir grandes esfuerzos y fluir por acciones de cargas permanentes. Además, de ser un material cohesivo, adherente y muy permeable, es muy utilizado en la construcción de pavimentos, ya que puede cumplir con las siguientes funciones y aplicarlas según sus características.

La preferencia por el uso de este modificador particular era debido al hecho de que no sólo la utilización de las llantas usadas puede ayudar a resolver los problemas ambientales, sino que también ofrece otros beneficios como el aumento de la resistencia al deslizamiento, la mejora de la flexibilidad y la resistencia al agrietamiento, y reduce el ruido del tráfico. (Cesar Díaz, Liliana Castro).



Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la resistencia a la fatiga en una mezcla asfáltica que resiste a la flexión continua de las cargas de tráfico vehicular. Se ha concluido por medio de las investigaciones que los vacíos relacionados con el contenido de asfalto y la viscosidad del asfalto tienen una finalidad considerable sobre la resistencia a la fatiga. Es así que el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica aumenta a causa del diseño o por la falta de compactación y la resistencia a la fatiga descende. Asimismo, una mezcla asfáltica que se calienta y endurece considerablemente presenta menor resistencia a la fatiga.

### **Recolección de datos**

Técnica de fuente primaria: investigación bibliográfica. En la recolección de datos se utilizaron varias tesis, donde de cada uno se obtuvieron datos de ensayos que se están evaluando. Leyenda de tesis:

Tesis1: Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016.

Tesis 2: Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tesis 3: Reducción de la deformación permanente en pavimentos diseñados con mezclas asfálticas en caliente a través de la incorporación de polvo de caucho proveniente de neumáticos usados.

Tesis 5: Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas.

## Cuadros comparativos de tesis:

Tabla 1. Ensayo de Índice de Rigidez

	Índice de rigidez (kg/cm)			
	tesis 1		tesis 5	
asfalto modificado	1.0%	2513	1.0%	5259
	2.0%	1884		
	3.0%	1473		
asfalto convencional	0.0%	2643	0.0%	4513

Fuente: Propia

Tabla 2. Ensayo de Flujo

	Flujo (mm)					
	tesis1		tesis 2		tesis 3	
asfalto modificado	1.0%	4.10	0.5%	3.30	0.5%	3.30
	2.0%	4.10	1.0%	3.63	1.0%	3.30
	3.0%	5.20	1.5%	3.73	1.5%	3.40
asfalto convencional	0.0%	3.90	0.0%	3.04	0.0%	3.10

Fuente: Propia

Tabla 3. Ensayo de Estabilidad

	Estabilidad (KN)					
	tesis1		tesis 2		tesis 3	
asfalto modificado	1.0%	11.06	0.5%	20.65	0.5%	10.68
	2.0%	8.27	1.0%	17.68	1.0%	10.40
	3.0%	7.40	1.5%	16.34	1.5%	6.84
asfalto convencional	0.0%	10.15	0.0%	12.59	0.0%	12.87

Fuente: Propia

### 2.4. Evaluación de durabilidad.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la durabilidad consiste en la resistencia de los materiales como en desintegración del agregado de una mezcla asfáltica, así también existen cambios en las propiedades de polimerización, oxidación y separación de las partículas en una mezcla asfáltica. Asimismo, la durabilidad se mejora en tres formas: primero utilizando una gran cantidad de los agregados de gradación densa que se resiste a la separación, segundo

utilizando la mezcla asfáltica en grandes cantidades y por último con el fin de obtener la máxima impermeabilidad compactando y diseñando la mezcla asfáltica.

Según (Huamán, 2011) El ahuellamiento es la acumulación de deformaciones pequeñas permanentes en el asfalto y para incrementar la fuerza contra el deslizamiento no es necesario que el material utilizar sea más duro, sino otro que en temperaturas altas estas se comporten más como un material solido elástico; así que cuando se apliquen dichas cargas estas se deformen y a la vez estas regresen a su posición original.

Según (Ramírez, 2006). Las condiciones en nuestro medio en las cuales las mezclas asfálticas no son las idóneas de resistir el tráfico vehicular y los constantes cambios climáticos, por la cual es necesario implementar nuevos métodos de diseño en las mezclas asfálticas para mejorar sus propiedades mecánicas como también su resistencia, recalcando su durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga. El beneficio o aprovechamiento del asfalto modificado que se pueden conseguir son:

- Aumentar la durabilidad de la mezcla asfáltica.
- Reducir la sensibilidad térmica, de modo que se incrementa la rigidez a una temperatura alta de servicio, alcanzar la resistencia a la deformación permanente de una mezcla asfáltica y disminuir la fragilidad expuesta por temperaturas bajas cuidándose así las fisuras térmicas.
- Incrementar la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Intensificar la adhesión de la mezcla asfáltica con los agregados pétreos.
- Aumentar la cohesión, ofrecer mejor retención de los agregados.
- Disminuir el envejecimiento en servicio, ampliando su vida útil de las mezclas asfálticas y mantener las ventajas iniciales.

### **Recolección de datos**

Técnica de fuente primaria: investigación bibliográfica. En la recolección de datos se utilizaron varias tesis, donde de cada uno se obtuvieron datos de ensayos que se están evaluando. Leyenda de tesis:

Tesis1: Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016.

Tesis 2: Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tesis 4: Estudio del pavimento flexible con polvo de caucho frente al efecto de fatiga

### Cuadro comparativo de tesis:

Tabla 4. Detalle de Datos: Ensayo de % de desgaste

	% de desgaste					
	tesis1		tesis 2		tesis 4	
asfalto modificado	1.0%	20.560	0.5%	3.60	1.0%	2.30
	2.0%	25.960			2.0%	2.10
	3.0%	30.150			3.0%	2.40
asfalto convencional	0.0%	52.300	0.0%	3.50	0.0%	5.50

Fuente: Propia

## 2.5. Ventajas y desventajas del asfalto modificado:

### 2.5.1. Ventajas:

#### 2.5.1.1. Técnicas:

La mezcla asfalto-caucho es más flexible a temperaturas bajas y a temperaturas altas estas son menos plástica, por lo concerniente es menos susceptible a los diferentes cambios de temperatura (Díaz Claros & Castro Celis, 2017). Concuenda con (Ramírez Palma, 2006) en la disminución de la susceptibilidad térmica, de modo que este aumente su rigidez a altas temperaturas de servicio, llegando a mejorar la resistencia de las mezclas a la deformación permanente, por otro lado esta reduce la fragilidad del asfalto expuesto a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.

Aumenta la resistencia frente al calor ligante asfáltico, al envejecimiento, al agrietamiento y oxidación del ligante asfáltico; disminuye el ruido de rodadura. Reducir el

envejecimiento en servicio y ampliando su vida útil de las mezclas asfálticas, ya que se mantienen las ventajas iniciales, y también comenta que aumenta la durabilidad del pavimento. (Ramírez Palma, 2006).

Dicen que este tipo de mezclas modificadas disminuyen el espesor del pavimento y también Mejora la resistencia al deslizamiento, a su vez también expresa que las Mezclas más resistentes a los fenómenos de fatiga, ahuellamiento (Díaz Claros & Castro Celis, 2017).

#### **2.5.1.2. Económicas:**

Debido a que son mezclas más durables, existe una menor necesidad de mantenimiento, el cual puede disminuirse en un 20% y 50 % (Fajardo Cachay & Vergaray Huamán, 2014). Y (Pereda Rodríguez & Cubas Parimango, 2015) concuerda que el costo, depende básicamente de su mantenimiento ya que con estos requerirán menos y su tiempo de vida sería más largo.

#### **2.5.1.3. De protección ambiental:**

Ayuda a disminuir el impacto ambiental negativo que producen las llantas usadas según (Fajardo Cachay & Vergaray Huamán, 2014).

#### **2.5.1.4. Social:**

Genera trabajo, debido a que podrán formarse pequeñas empresas de recolección de neumáticos usados según (Fajardo Cachay & Vergaray Huamán, 2014).

#### **2.5.2. Desventajas para el uso de asfalto modificado.**

La mezcla asfáltica podría ser muy blanda y delicada, ya que la obtención o absorción tienen impacto en el factor adhesivo. Necesidad de una maquinaria especializada en separación del caucho e hilos acerados dentro de las llantas. El caucho pulverizado no debe estar ni húmedo ni sucio. Las temperaturas mínimas de distribución son de 125°C por su rápido endurecimiento según (Capcha Espinoza, 2018).

#### **2.6. Comparación Económica:**

Estos resultados de costos se obtuvieron de la tesis de: Vega Zurita, D. S. (2016). Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico.

### **2.6.1. Asfalto Convencional:**

Longitud: 1 km.

Ancho: 7.20 m.

Espesor: 2" (0.05 m)

Volumen

$$1000 \times 7.20 \times 0.05 = 360 \text{ m}^3$$

$$360 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 360\,000 \text{ kg.}$$

Cantidad de Asfalto (Aproximadamente 6% del peso de la mezcla)

$$360\,000 \times 0.06 = 21\,600 \text{ kg.}$$

Asfalto en litros

$$21\,600 / 1.03 = 20\,970.8 \text{ litros}$$

Cantidad de Galones

$$20\,970 / 3.75 = 5\,592.2 \text{ Galones}$$

Costo del Asfalto RC – 70 (s/. 6.90)

$$5\,593 \times 6.90 = \text{s/. } 38\,591.7$$

### **2.6.2. Asfalto Modificado:**

Asfalto Modificado

Costo del Caucho

$$1 \text{ kg.} = \$ . 0.6$$

$$\$ 0.6 \times 3.29 = \text{s/. } 1.97$$

Cantidad de caucho (20%)

$$21\ 600 \times 0.2 = 4\ 320 \text{ kg.}$$

Costo del Caucho Reciclado de Llantas

$$4\ 320 \times 1.97 = \text{s/. } 8\ 510.4$$

Cantidad de Azufre

$$21600 \times 0.015 = 324 \text{ kg.}$$

Costo del Azufre

$$1 \text{ kg} = \$ . 1.50$$

$$1.50 \times 3.29 = \text{s/. } 4.93$$

$$21\ 600 \times 4.93 = \text{s/. } 1\ 077.3$$

**COSTO TOTAL**

$$8\ 510.4 + 1\ 077.3 = \text{s/. } 9\ 587.7$$

Costo expresado en Porcentaje

$$(9\ 587.7 * 100) / 38\ 591.7 = 24.8\%$$

El costo del Asfalto Modificado resulta ser 26.2% más que el convencional.

### 3. Conclusiones

En el ensayo de Índice de rigidez(kg/cm) se puede concluir, que en la tesis 1, en su asfalto convencional tiene un valor mayor (2643 KN) con respecto al asfalto modificado; pero en cambio en la tesis 5 al asfalto modificado tiene un valor mayor (5259 KN) con respecto al asfalto convencional.

En el ensayo de Flujo(mm) se concluye, que en la tesis 1,2,3 en el asfalto modificado tiene valores mayores (3.9, 3.04, 3.10 mm respectivamente) con respecto al asfalto convencional en todas las tesis, y también mientras se va aumentando el porcentaje de caucho el flujo va aumentando.

En el ensayo de estabilidad (KN) se concluye, que en la tesis 1 la estabilidad del asfalto convencional tiene un valor intermedio (10.15KN) con respecto al asfalto modificado, y en la tesis 2 la estabilidad del asfalto convencional es menor (12.59 KN) con respecto al del asfalto modificado, y en la tesis 3 la estabilidad del asfalto convencional es mayor (12.87 KN) con respecto al asfalto modificado

En el ensayo de Desgaste (%) se concluye, que en la tesis 1 y 4 el desgaste es mucho mayor en el asfalto convencional (52.35, 5.5% respectivamente) con respecto al desgaste del asfalto modificado, y en la tesis 2 el desgaste del asfalto modificado es mayor (3.6%) con respecto al asfalto convencional (3.5%).

Se concluye que en la evaluación de las propiedades de resistencia y durabilidad del asfalto modificado estos tienen mejores valores con respecto al asfalto convencional, y que este dependerá de la cantidad de porcentaje de caucho que se utilizará.

Se concluye que, en la evaluación de las ventajas del asfalto modificado, estas tienen muchas ventajas en lo técnico, económico y social con respecto al asfalto convencional.

Se concluye que el asfalto modificado tiene más costo del 26% con respecto al asfalto convencional, pero se compensa con mayor durabilidad de la vía.



#### 4. Referencias

Capcha Espinoza, K. J. (2018). *Diseño de mezcla asfáltica con incorporación del caucho reciclado, Tacna 2018*. Universidad Cesar Vallejo.

Carrizales Apaza, J. J. (2015). Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles [Universidad Nacional del Altiplano]. En *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1888>

Contreras Martínez, C. H., & Vilcatoma Mamani, D. P. (2020). Reducción de la deformación permanente en pavimentos diseñados con mezclas asfálticas en caliente a través de la incorporación de polvo de caucho proveniente de neumáticos usados. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Diaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá (Vol. 12, Número 1). Universidad Santo Tomas.

Fajardo Cachay, L. E., & Vergaray Huamán, D. A. (2014). Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas. Universidad San Martin de Porres.

Pereda Rodríguez, D. A., & Cubas Parimango, N. O. (2015). Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales [Universidad Privada Antenor Orrego]. [http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO\\_MICROBIANO.pdf](http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf)

Ramírez Palma, N. I. (2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco (Número Noviembre). Universidad de Chile.

Tueros Dávila, M. N. (2017). Incorporación de Polvo de Caucho en Mezcla frente al Ahuellamiento en la Ciudad de Huancayo. Universidad Peruana los Andes.

Vega Zurita, D. S. (2016). Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico [Universidad Técnica de Ambato].

[http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25264/1/Tesis\\_1113 - Vega Zurita Danilo Sebastián.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25264/1/Tesis_1113_-_Vega_Zurita_Danilo_Sebastián.pdf)