

INFLUENCIA DE ADITIVOS (POLÍMEROS Y POLIALUMINIO) EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

INFLUENCE OF ADDITIVES (POLYMERS AND POLYALUMINUM) IN THE PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES OF HOT ASPHALTIC MIXTURES

León Torres Paúl Javier
Magister en Geotecnia Aplicada
Docente Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y
Matemática (FICFM – UCE)
pjleon@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6808-830X>

Maila Paucar Jorge Humberto:
Ingeniero Civil
Técnico de Laboratorio de Pavimentos
FICFM-UCE
jhmaila@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3319-1475>

Albuja Córdova Efrén Wladimir:
Laboratorista de Pavimentos
FICFM-UCE
ewalbuja@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1008-4706>

RESUMEN

A nivel mundial se ha emprendido el uso de aditivos a fin de tener mezclas asfálticas de mejor calidad y que permitan disminuir el envejecimiento prematuro de las mismas, en nuestro país se requiere investigaciones que sean ejecutadas con distintos agregados pétreos y comparar el comportamiento del ligante empleado y de las mezclas propiamente dichas, por lo que este trabajo es científicamente necesario que no sea el único si no que se emprenda más investigaciones y usar distintas fuentes de materiales solo así podremos tener información y datos comparativos para la toma de decisiones en el campo de construcción de carpetas asfálticas. La investigación consiste en realizar un análisis comparativo de la influencia de los aditivos en las propiedades físico-mecánicas en las mezclas asfálticas en caliente. Se recopiló información de 3 proyectos de investigación de mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS, RET, SBR y polialuminio, donde el Laboratorio de Pavimentos brindó apoyo en ensayos para el desarrollo de las mismas. Proyecto N°1: Agregados provenientes de Pifo con incorporación de polímero SBS y RET; Proyecto N° 2. Agregados provenientes de Nayón con incorporación de polímero SBS y SBR y Proyecto N° 3. Agregados de dos minas Píntag y Guayllabamba con incorporación de polialuminio. Con cuyos datos se analiza las mejoras que se obtiene con la incorporación de aditivos en mezclas asfálticas convencionales, respecto a las características resistentes relacionadas con la deformación plástica a través de la determinación de estabilidad y flujo (ensayo Marshall) y el valor de pérdida por desgaste (ensayo Cántabro). Demostrando que al añadir cantidades óptimas de los aditivos antes mencionados mejora las propiedades mecánicas aumenta la estabilidad y disminuye el porcentaje de pérdida por desgaste al cántabro, esto quiere decir que aumenta la cohesión de la mezcla disminuyendo el riesgo de deformación permanente (ahuellamiento) y fisuramiento, mejorando la elasticidad, aportando así en la durabilidad de la vida útil de las vías del país.

Palabras clave: mezcla asfáltica; polímeros; polialuminio; módulo resiliente; método marshall; tracción indirecta.

ABSTRACT

At a global level, the use of additives has been undertaken in order to have better quality asphalt mixtures and to reduce their premature aging. In our country, research is required to be carried out with different stone aggregates and to compare the behavior of the binder used and of the mixtures themselves, so this work is scientifically necessary that it is not the only one, but that more research is undertaken and that different sources of materials are used. The research consists of a comparative analysis of the influence of additives on the physical-mechanical properties of hot mix

asphalt. Information was gathered from 3 research projects on SBS, RET, SBR and polyaluminum polymer-modified asphalt mixtures, where the Pavement Laboratory provided support in tests for their development Project No. 1. Aggregates from Pifo with the incorporation of SBS and RET polymer; Project No. 2. Aggregates from Nayón with the incorporation of SBS and SBR polymer and Project No. 3. Aggregates from two Pintag and Guayllabamba mines with the incorporation of polyaluminum. With this data, the improvements obtained with the incorporation of additives in conventional asphalt mixtures are analysed with respect to the resistance characteristics related to plastic deformation through the determination of stability and flow (Marshall test) and the value of loss through wear (Cantabrian test). Demonstrating that by adding optimal quantities of the above mentioned additives improves the mechanical properties increases the stability and decreases the percentage of loss by wear to the Cantabrian, this means that increases the cohesion of the mixture decreasing the risk of permanent deformation (rutting) and cracking, improving the elasticity, thus contributing in the durability of the life of the roads of the country.

Keywords: asphalt mix; polymers; poly-aluminum; resilient modulus; marshall method; indirect traction

INTRODUCCIÓN

Actualmente en varios países se vienen utilizando aditivos e incluso existe normativa que permite garantizar su uso adecuado y controlar la mezcla en obra, en nuestro país las investigaciones se realizan de una manera continua desde hace aproximadamente dos años, lo que permitirá en el futuro contar con información de laboratorio para validar los resultados esperados en el campo, es así que la Universidad Central del Ecuador no podía quedar exenta de participar en las investigaciones en nuestro país y replicar las que se ejecutan en otras regiones del mundo, todas encaminadas en tener mezclas más duraderas y de un mejor comportamiento.

Existen normas y procedimientos internacionales para el diseño de mezclas asfálticas convencionales, así como especificaciones técnicas, sin embargo es necesario que en nuestro país se inicie con una investigación propia que establezca propiedades del comportamiento de las mismas con diferentes aditivos y fuentes de materiales a fin de que los parámetros que se obtengan sirvan de fuente de consulta y tomadas en consideración para la elaboración de una normativa propia.

Caracterizar los agregados que conforman una mezcla asfáltica hoy en día es fundamental, uno de los aspectos que se ha descuidado en nuestro país y los últimos años ante las necesidades de recursos y proyectos que tienen cada vez mejores controles de calidad. Así mismo la necesidad de obtener mezclas de mejores propiedades ha requerido que los laboratorios

de pavimentos cuenten con una tecnología que permita estudiar y garantizar su comportamiento en el campo.

Las mezclas asfálticas en caliente presentan mayor uso en el país, se busca obtener mejores propiedades y desempeño de estas, por tal motivo es primordial investigar el efecto que tiene la incorporación de aditivos para mejorarlas. (León, et al., 2019)

METODOLOGÍA

En la presente investigación se analizará y comparará las características resistentes relacionados con la deformación plástica a través de la determinación de estabilidad y flujo (ensayo Marshall) y el valor de pérdida por desgaste (ensayo Cántabro.), de una mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con los polímeros: SBS, RET, SBS y polialuminio.

El diseño de la mezcla asfáltica se realizó mediante el método Marshall, cabe mencionar que este método es aplicable solo para mezclas asfálticas en caliente con agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 plg.).

El método Marshall se basa en la determinación de la estabilidad y flujo mediante la utilización de especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½ plg.) y un diámetro de 102 mm (4 plg). La estabilidad nos indica la resistencia máxima que soporta la mezcla asfáltica y el valor del flujo es la deformación que se produce en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

Se consideró un tráfico pesado para el diseño de la mezcla asfáltica, de acuerdo con los criterios Marshall que constan en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F-2002.

Para que una capa de rodadura tenga un buen comportamiento, sus componentes deben ser de buena calidad, tanto en durabilidad como en resistencia, por lo que se analiza cada una de las propiedades que se debe considerar en los materiales pétreos que forman parte de una mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 1. Criterios Marshall (Ministerio de obras públicas y comunicaciones, 2002).

TIPO DE TRAFICO CRITERIOS MARSHALL	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla	VER TABLA 405-5.5							
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Los agregados para ser utilizados en una mezcla asfáltica deben cumplir con las especificaciones generales del MOP-001-F2002 que actualmente están vigentes en nuestro País, que proponen los siguientes requerimientos:

Tabla 2. Ensayos requeridos para caracterización de agregados.

Ensayo	Especificaciones MOP-001-F-2002
Granulometría de áridos (ASTM C136)	Deberá cumplir con los requisitos establecidos en la sección 811 (agregados para hormigón asfáltico)
Desgaste a la Abrasión (ASTM C 131)	Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de las 500 revoluciones de la máquina de los Ángeles.
Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado grueso (ASTM C127) y agregado fino (ASTM C128)	Necesarios para realizar el diseño de la mezcla asfáltica
Porcentaje de partículas fracturadas (ASTM D 5821)	El 85% de agregado grueso deberá tener por lo menos una cara fracturada y el 80 % del agregado grueso deberá tener por lo menos dos caras fracturadas.
Partículas planas y alargadas (ASTM D 4791)	Máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas, no deberá ser mayor de un 10%.
Contenido de Terrones de arcilla y partículas desmenuzables (ASTM C 142)	El máximo porcentaje de materiales deletéreos en los agregados es de 1%.
Solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio y magnesio (ASTM C 88)	El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12 %, cuando se lo someta a 5 ciclos.
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	Como mínimo para un tráfico pesado se requiere 50%

La fuente de los materiales utilizados en los proyectos de investigación se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3. Minas utilizadas en las investigaciones.

Mina	Sector
Chaupi Chupa 1	Nayón
Naranjo-López	Pifo
Guayllabamba	Guayllabamba
Píntag	Píntag

Una vez realizada la caracterización de los agregados se realizó el diseño de la mezcla asfáltica convencional, se incorporó el aditivo en varios porcentajes hasta determinar el porcentaje óptimo para mejorar las propiedades físico-mecánicas de cada una de las mezclas en estudio. Como parte de la investigación adicional en el Proyecto N° 1 se realizó el ensayo de tracción indirecta y módulo de rigidez o resiliente.

Resultados de caracterización del material pétreo.

El desgaste a la abrasión mide la dureza del material, la resistencia a la abrasión e impacto, los agregados sufren degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla asfáltica y durante la vida útil del pavimento. Todas las minas cumplen con la especificación del MOP-001-F-2002 (ver tabla. 1).

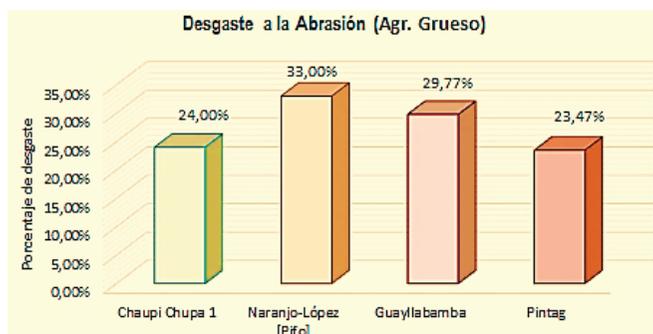


Figura 1. Desgaste a la Abrasión

El peso específico es una forma de expresar la característica del peso y volumen de los materiales. Esta característica es importante en el diseño de mezclas asfálticas, así como también mediante cálculos nos permite determinar el porcentaje de vacíos de las mezclas. (Asphalt institute, 1982)

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es también un dato muy importante ya que si un agregado tiene la capacidad de absorción muy alto significaría que seguirá absorbiendo asfalto después del mezclado en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de

agregado. Debido a esto un agregado de mayor capacidad de absorción requiere mayor cantidad de asfalto, esto significaría un aumento en el costo de producción, sin embargo, tampoco se recomienda agregados con capacidad de absorción muy bajos ya que no tendría una buena adherencia con el asfalto. (Asphalt institute, 1982).

Gravedad Específica (Agr. Grueso)

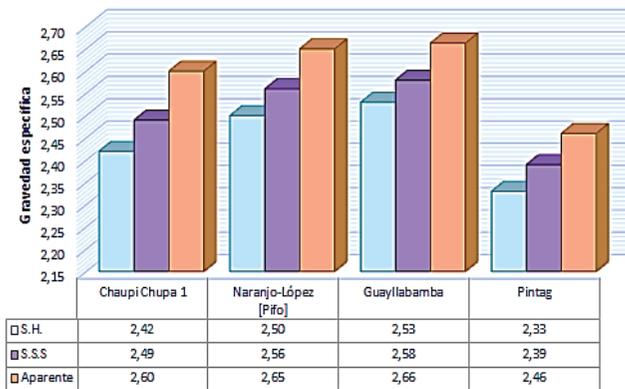


Figura 2. Gravedad específica del agregado grueso

Capacidad de Absorción (Agr. Grueso)

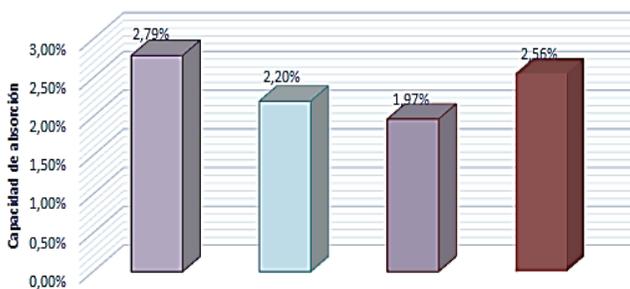


Figura 3. Capacidad de absorción del agregado grueso

Gravedad Específica (Agr. Fino)

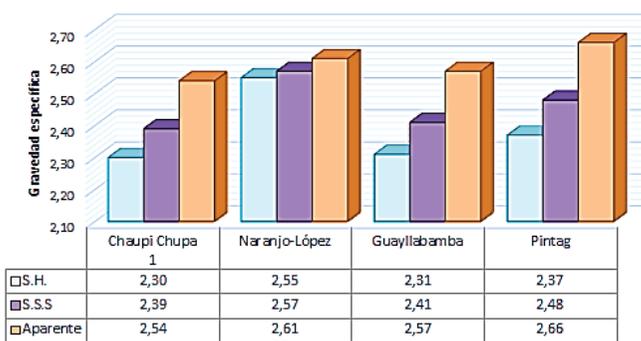


Figura 4. Gravedad específica del agregado fino

Capacidad de Absorción (Agr. Fino)

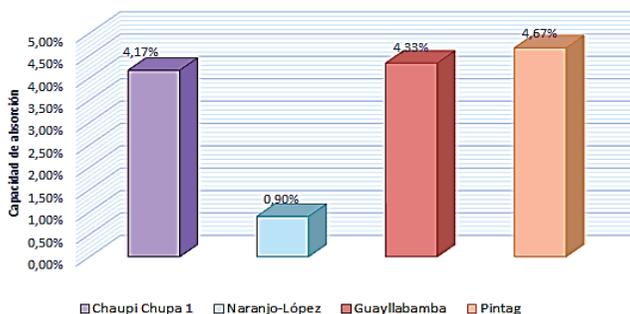


Figura 5. Capacidad de absorción del agregado fino

La forma de las partículas es un factor muy importante ya que afecta a la trabajabilidad de la capa de rodadura durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para su compactación, y resistencia de la estructura a lo largo de su vida útil, por tal motivo se realiza un control de la cantidad de partículas irregulares y angulares, mediante ensayos como el de caras fracturadas y partículas alargadas y achatadas. (León, et al., 2019).

Caras Fracturadas (Agr. Grueso)

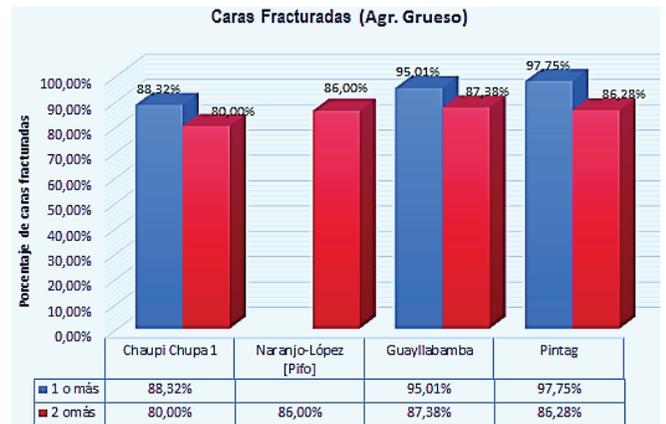


Figura 6. Caras fracturadas

Partículas Planas y Alargadas (Agr. Grueso)

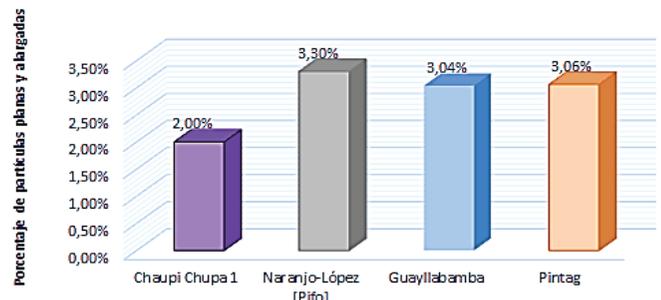


Figura 7. Porcentaje de partículas planas y alargadas

El ensayo de contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables es de suma importancia, ya que el agregado para uso en mezclas asfálticas se requiere que cumplan con especificaciones técnicas de pureza o limpieza.

Las especificaciones técnicas del MOP-001-F-2002, señala que el máximo contenido permisible de partículas desmenuzables y terrones de arcilla es de 1%, en la Figura 8 se puede apreciar que el agregado fino de la mina Chaupi Chupa 1 dio como resultado un valor superior al permitido en las especificaciones, sin embargo tiene buenas características en las demás pruebas de caracterización por lo que se optó por su utilización con la recomendación de realizar un proceso de lavado previo a ser incorporado en la mezcla asfáltica.

Terrones de arcilla y partículas desmenuzables (Agr. Grueso)

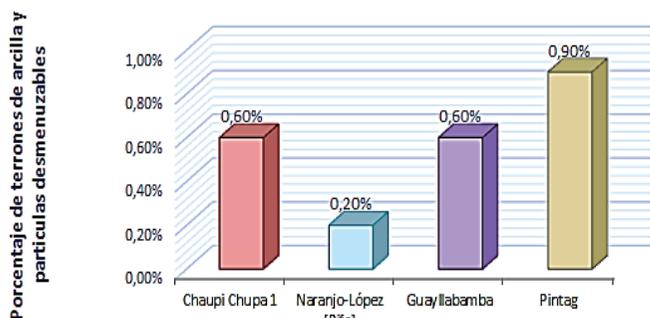


Figura 8. Porcentaje de arcilla y partículas desmenuzables del agregado grueso

Durabilidad a la acción de Na₂(SO₄) (Agr. Grueso)

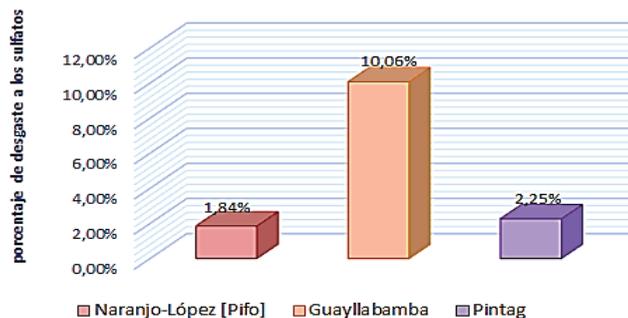


Gráfico 11. Porcentaje de desgaste al sulfato de sodio del agregado grueso.

Terrones de arcilla y partículas desmenuzables (Agr. Fino)

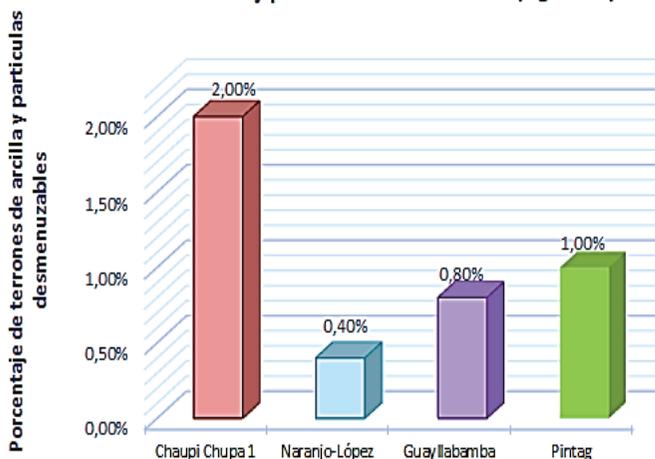


Figura 9. Porcentaje de arcilla y partículas desmenuzables del agregado fino

Solidez a la acción de Mg(SO₄) (Agr. Fino)

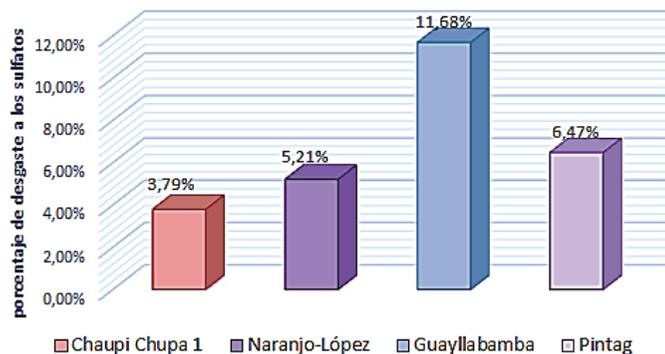


Figura 12. Porcentaje de desgaste al sulfato de magnesio del agregado fino.

Solidez a la acción de Na₂(SO₄) (Agr. Fino)

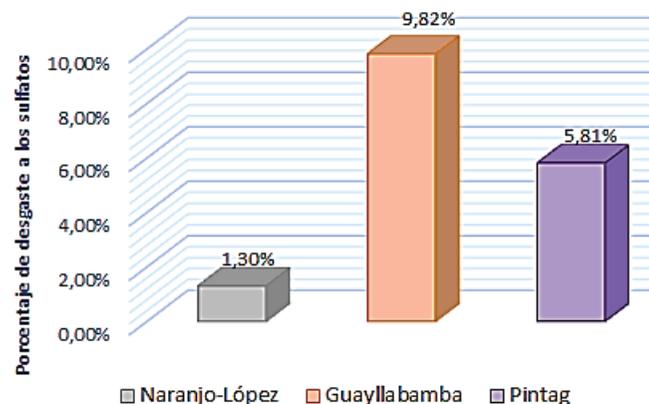


Figura 13. Porcentaje de desgaste al sulfato de sodio del agregado fino.

Solidez a la acción de Mg (SO₄) (Agr. Grueso)

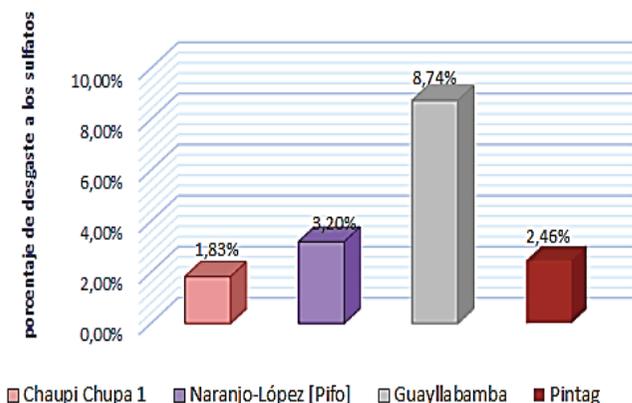


Figura 10. Porcentaje de desgaste al sulfato de magnesio del agregado grueso.

El ensayo de equivalente de arena permite especificar la cantidad admisible de finos arcillosos o material nocivo en el agregado fino, cuyos resultados se presentan a continuación.

Equivalente de Arena (Agr. Fino)

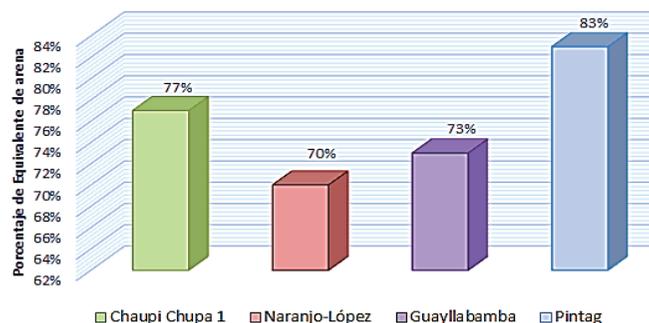


Figura 14. Porcentaje de equivalente de arena del agregado fino.

RESULTADOS

Resultados de la mezcla asfáltica modificada con polimeros SBS y RET, empleando agregados de la mina del sector de Pifo.

Se realizó pruebas con 3 porcentajes de aditivo SBS: 2%, 3% y 4%; y 4 pruebas con porcentajes de aditivos RET: 1%, 1,3%, 1,5% y 2%.

Se evidencia el incremento de la estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica modificada con polímero RET y SBS respecto al valor obtenido con la mezcla convencional.

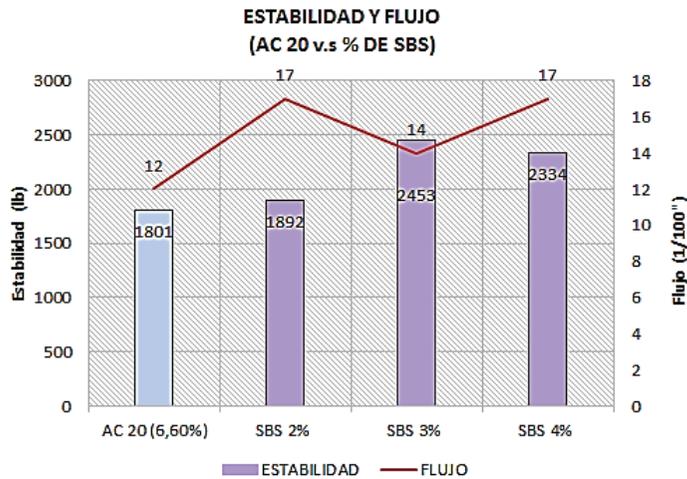


Figura 15. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero SBS.

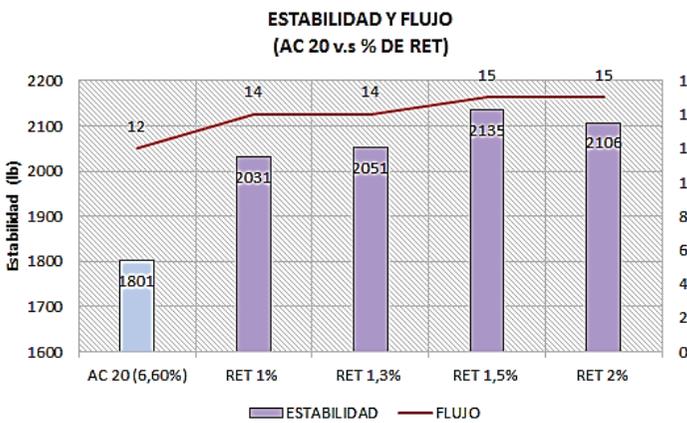


Figura 16. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero RET.

Módulo de rigidez o Resiliente es la prueba para evaluar y medir la rigidez de las mezclas asfálticas compactadas, se basa en los mismos principios del ensayo de tracción indirecta, con la diferencia que las muestras son expuestas a cargas cíclicas. Estas cargas dinámicas, tratan de reproducir la condición real del pavimento, con la limitación de evaluar únicamente el comportamiento elástico del mate-

rial, despreciando la componente del comportamiento viscoso, como si lo hace el ensayo de módulo dinámico complejo. (Minaya & Ordoñez, 2006)

Los valores de las mezclas asfálticas modificadas con polímero RET y SBS presentan una variación (aumento - disminución) respecto al valor obtenido con la mezcla convencional, es así que, para temperaturas medias y altas (20°C, 30°C y 40°C, 50°C) se presenta un incremento significativo en el módulo de rigidez y a bajas temperaturas (5°C, 10°C) se obtiene valores relativamente similares e incluso bajos.

En las mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS y RET respecto a la mezcla convencional, la disminución del módulo de rigidez a bajas temperaturas incide en una menor susceptibilidad a la fisura o agrietamiento por fatiga, en cambio con el aumento de este valor a elevadas temperaturas influye en la disminución del riesgo de deformación permanente mejorando la elasticidad, optimizando significativamente estos aspectos que en las mezclas con asfalto convencional son escasos al presentar un comportamiento termoplástico (susceptibilidad térmica alta), duro y quebradizo a bajas temperaturas y blando con baja recuperación elástica a altas temperaturas, convirtiéndose de esta manera el módulo de rigidez (módulo resiliente), una prueba efectiva para caracterizar el desempeño de las mezclas asfálticas en un rango amplio de temperaturas de servicio. (Merizalde, et al., 2017)

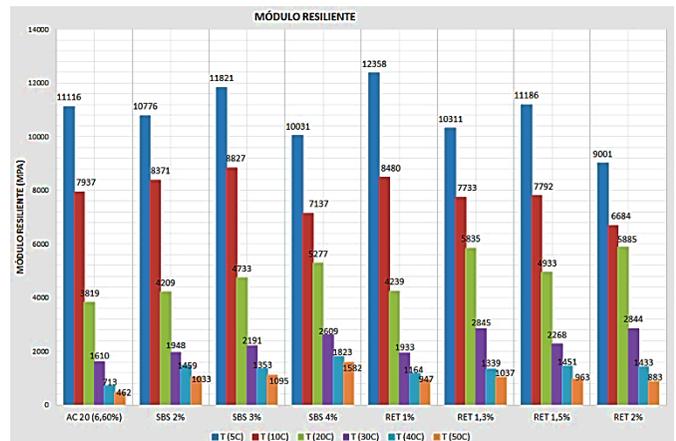


Figura 17. Módulo resiliente de mezcla asfáltica convencional y modificada, incorporando porcentajes de polímero SBS y RET, a temperatura de 5°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C y 50°C.

El ensayo cántabro determina el porcentaje de pérdida por desgaste de mezclas asfálticas abiertas sin embargo como parte de investi-

gación se realizó este ensayo para evaluar la cohesión de la mezcla asfáltica, a la vez que es un parámetro para caracterizar al cemento asfáltico en función al menor porcentaje de desgaste presentado en la mezcla. (Perez & Miro, 2002)

Los resultados de pérdida por desgaste para la mezcla convencional y modificada con polímero SBS y RET se evidencian en el Grafico 18, que disminuye progresivamente el desgaste conforme aumenta el porcentaje de polímero lo que se ve traducida en un aumento de la cohesión en las mezclas asfálticas disminuyendo problemas de penetración de agua y por ende la oxidación aportando en la durabilidad de la vida útil del pavimento.

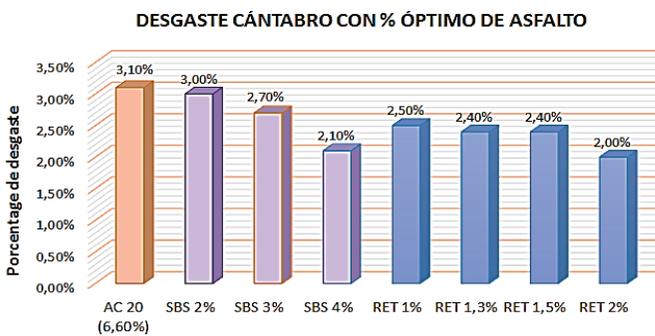


Figura 18. Porcentaje de desgaste de mezcla asfáltica convencional y modificada incorporando porcentajes de polímero SBS y RET.

Luego de los análisis de desempeño en base a los ensayos ejecutados se concluye que el porcentaje óptimo de polímero SBS es del 3%. Con este porcentaje se tiene un incremento en la estabilidad del 36 % respecto a la mezcla convencional. (Merizalde, et al., 2017)

El porcentaje óptimo de polímero RET es de 1.3%. Con este porcentaje se tiene un incremento en la estabilidad del 17 % respecto a la mezcla convencional. (Merizalde, et al., 2017)

El ensayo de Tracción Indirecta mide la resistencia a la compresión diametral de la muestra asfáltica. En el Figura19 se observa que incrementa con el uso de polímeros tanto para el SBS y RET. Para el porcentajes óptimos de polímero SBS del 3% incrementa la capacidad de tracción de 6.74 kg/cm² a 9.49 kg/cm², incrementando un 40.80 % con respecto a la mezcla convencional, mientras que el polímero RET a 1.3 % incrementa su resistencia de 6.74 kg/cm² a 9.18 kg/cm² en un 36.20 % respecto a la mezcla convencional.

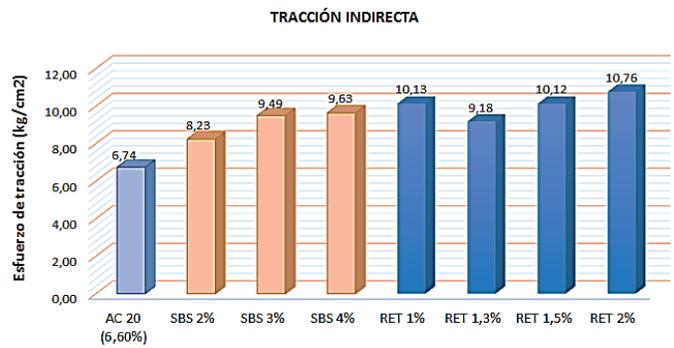


Figura 19. Tracción indirecta incorporando porcentajes de polímero SBS y RET.

Resultados de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y SBR, empleando agregados de la mina sector de Nayón.

Se realizó pruebas con 3 porcentajes de aditivo SBS: 2%, 3% y 4%; y 3 pruebas con porcentajes de aditivos SBR: 1%, 2% y 3%.

Existe incremento de la estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS y SBR respecto al valor obtenido con la mezcla convencional.

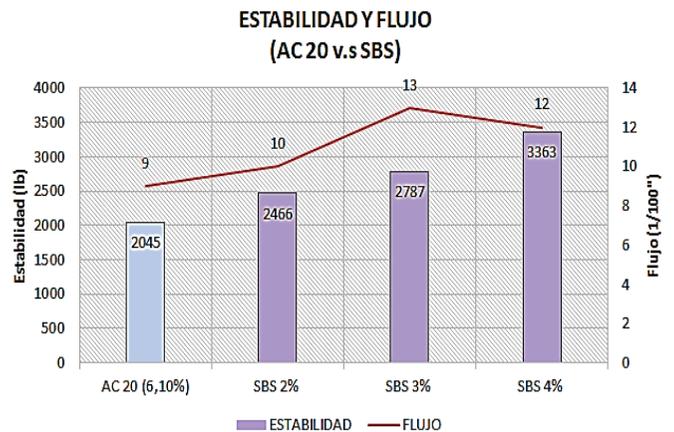


Gráfico 20 Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero SBS.

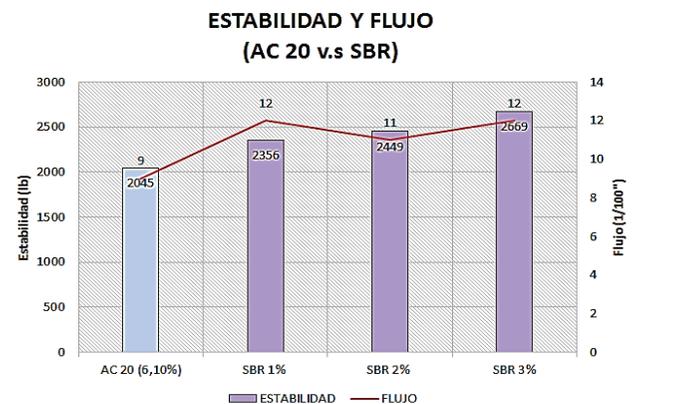


Figura 21. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero SBR.

Los resultados obtenidos por el método Marshall indican que la mezcla modificada con los polímeros SBS y SBR, los que mayor estabilidad se produjo son los de 4% de SBS y 3% de SBR.

Sin embargo, éstas no cumplen con el resto de especificaciones del método Marshall (Porcentaje de vacíos; Vacíos del agregado mineral-VAM; Vacíos llenos de asfalto-VFA), por lo tanto no cumplen las especificaciones generales del MOP-001-F-2002 (ver Tabla 4), por consiguiente y como comprobación, las mezclas modificadas con polímero SBS al 2 % y con polímero SBR al 1 %, son las de mejor desempeño global.

Tabla 4. Propiedades Marshall de mezcla asfáltica convencional y modificada con polímero SBS y SBR

Mezcla	% de Vacíos	VAM	VFA	Estabilidad	Flujo
Convencional	4.00	14.00	69.00	2045	9
SBS 2%	3.87	11.39	66.05	2466	10
SBS 3%	5.51	12.01	54.12	2787	13
SBS 4%	5.10	12.82	60.21	3363	12
SBR 1%	4.13	12.66	67.42	253	12
SBR 2%	6.06	14.08	43.03	2449	11
SBR 3%	9.37	15.25	38.58	2669	12

Respecto a los valores de la mezcla convencional al incorporar el polímero SBS al 2% incrementa la estabilidad un 20.58% y con el polímero SBR al 1 % aumenta un 15.20%.

En el ensayo de Tracción Indirecta se observa que el uso de polímeros SBS del 2% incrementa la capacidad de tracción de 2.69 kg/cm² a 7.74 kg/cm², incrementando un 188 % con respecto a la mezcla convencional, mientras que el polímero SBR a 1 % incrementa su resistencia de 2.69 kg/cm² a 3.71 kg/cm² en un 38.20 % respecto a la mezcla convencional.

TRACCIÓN INDIRECTA

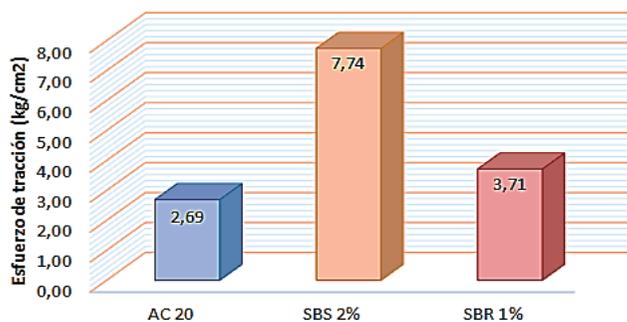


Figura 22. Tracción indirecta incorporando porcentajes óptimos de polímero SBS y SBR.

En la Figura 23 se puede observar que se produjo un menor desgaste en las mezclas modificadas tanto con polímero SBS como SBR, siendo el porcentaje de desgaste promedio de la mezcla convencional 2.6%, mientras que la mezcla modificada con polímero SBS a 2%, tuvo un desgaste promedio de 2.1%, y la mezcla modificada con polímero SBR a 1%, un valor de desgaste promedio de 1.8%, lo cual significa que para la mezcla modificada con el polímero SBS se obtuvo una disminución del desgaste del 19.23%, mientras que para la mezcla modificada con el polímero SBR se obtuvo una disminución del desgaste del 30.77%.

DESGASTE CÁNTABRO

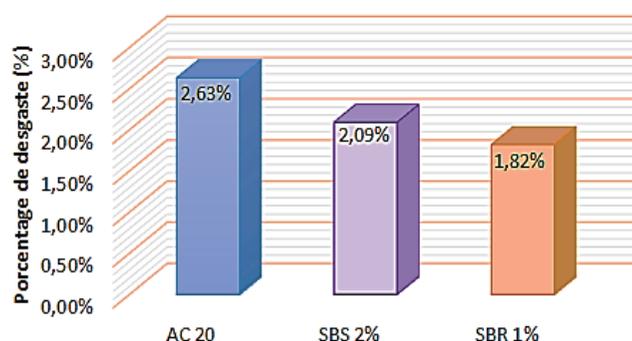


Figura 23. Porcentaje de desgaste de mezcla asfáltica convencional y modificada incorporando porcentaje óptimo de polímero SBS y SBR.

Resultados de mezclas asfálticas en caliente modificadas con polialuminio y mezcla convencional

Se realizó dos diseños convencionales: una con agregados de la mina Píntag y otra con agregado de la mina de Guayllabamba, a las cuales se incorporó el aditivo polialuminio. Se realizó pruebas incorporando 4 porcentajes: 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para la mezcla convencional de cada mina. El Polialuminio es un material reciclado de envases de tetra pack.

Para el diseño de la mezcla asfáltica empleando agregados de Guayllabamba, se tiene que el porcentaje óptimo de polialuminio es de 1.50%, ya que con valores mayores el flujo sale del rango máximo tolerable. Respecto a los valores de la mezcla convencional al incorporar el polialuminio al 1.5% incrementa la estabilidad en un 1.82%. (León, et al., 2020)

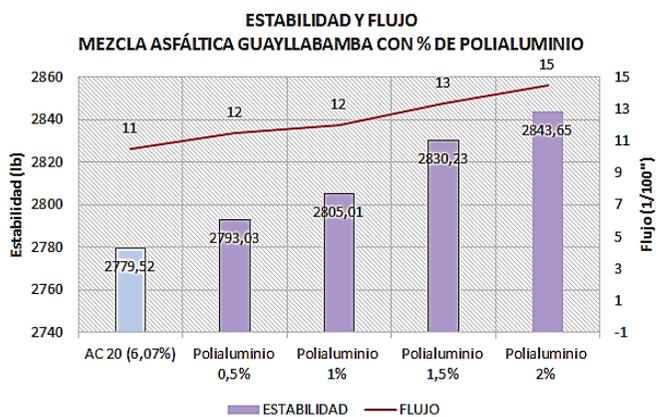


Figura 24. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica con agregado de Guayllabamba incorporando porcentajes de polialuminio.

Para el caso de diseño de la mezcla asfáltica con agregados de Píntag, se tiene que el porcentaje óptimo de polialuminio empleado en el diseño de la mezcla es de 1.00%, ya que con porcentajes mayores a este, el flujo de la mezcla asfáltica se sale del rango máximo admisible. Respecto a los valores de la mezcla convencional al incorporar el polialuminio al 1.00% incrementa la estabilidad en un 1.98%. (León, et al., 2020)

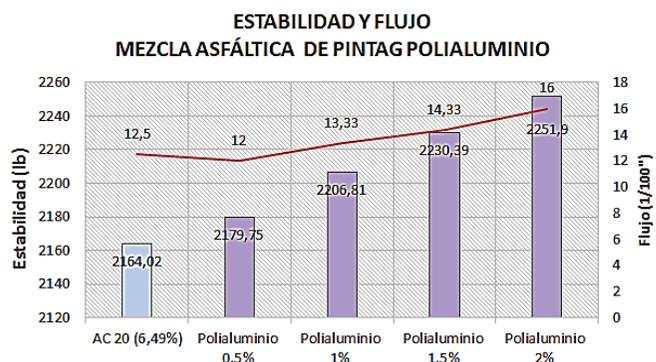


Figura 26. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica con agregado de Píntag incorporando porcentajes de polialuminio.

El desgaste cántabro debe ser lo menor posible. En la Figura 27 se puede observar que al modificar con polialuminio las mezclas asfálticas convencionales el porcentaje de desgaste disminuye. La mezcla asfáltica convencional diseñada con agregados de Guayllabamba presenta un desgaste del 1.19% mientras que la mezcla modificada con 1.50% de polialuminio presenta un desgaste de 1.11%, así mismo, al analizar la mezcla asfáltica convencional diseñada con agregados de Píntag tiene un desgaste del 4.83% mientras que la mezcla modificada con 1.00% de polialuminio presenta un desgaste de 4.50%. (León, et al., 2020)

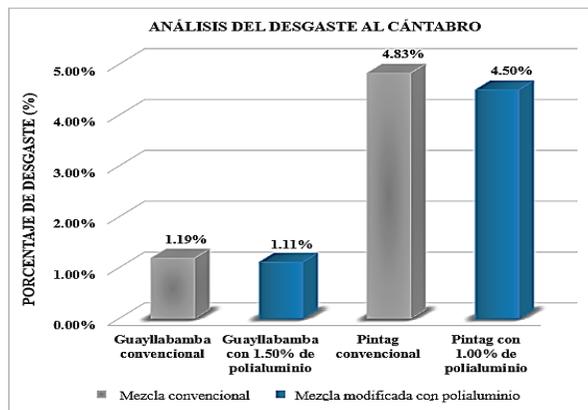


Figura 27. Porcentaje de desgaste de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polialuminio al 1.5% y 1 % respectivamente.

CONCLUSIONES

La cantidad de asfalto se obtuvo mediante la Metodología de Diseño Marshall y el porcentaje de aditivo de manera experimental como se encuentra indicado en las figuras 15, 16, 18, 20, 21, 24 y 26

El material pétreo debe cumplir con las especificaciones generales establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para ser utilizadas en una mezcla asfáltica.

Las características físicas y mecánicas de los agregados son diferentes por lo que cada diseño de mezcla asfáltica es específico para cada mina.

De manera general la incorporación de aditivos ayuda a incrementar la estabilidad con respecto a una mezcla convencional, sin embargo el aditivo que mejor aporte obtuvo es el polímero SBS: aumentando un 36% para la mezcla realizada con los agregados de la mina Naranjo López (Pifo) y un 20.58 % para la mezcla utilizando los agregados de la mina Chaupi Chupa 1. (Nayón)

La incorporación de los polímeros a la mezcla asfáltica incrementa la resistencia lateral de las mezclas (tracción indirecta). Para el caso de la mezcla asfáltica con agregados de la mina Chaupi Chupa 1 (Nayón) se observa que el uso de polímeros en la mezcla asfáltica SBS del 2% incrementa la capacidad de tracción de 2.69 kg/cm² a 7.74 kg/cm², incrementando un 188 % con respecto a la mezcla convencional,

mientras que el polímero SBR a 1 % incrementa su resistencia de 2.69 kg/cm² a 3.71 kg/cm² en un 38.20 % respecto a la mezcla convencional. Mientras que para la mezcla asfáltica con agregados de la mina Chaupi Chupa (Nayón) para el porcentaje de polímero SBS del 3% incrementa la capacidad de tracción de 6.74 kg/cm² a 9.49 kg/cm², incrementando un 40.80% con respecto a la mezcla convencional, mientras que el polímero RET a 1.3 % incrementa su resistencia de 6.74 kg/cm² a 9.18 kg/cm² en un 36.20% respecto a la mezcla convencional.

En las mezclas asfálticas modificadas con polímeros respecto a la mezcla convencional, la disminución del módulo de rigidez a bajas temperaturas incide en una menor susceptibilidad a la fisura o agrietamiento por fatiga y en cambio con el aumento de este valor a elevadas temperaturas influye en la disminución del riesgo de deformación permanente mejorando la elasticidad, optimizando significativamente estos aspectos que en las mezclas con asfalto convencional son escasos al presentar un comportamiento termoplástico (susceptibilidad térmica alta), duro y quebradizo a bajas temperaturas y blando con baja recuperación elástica a altas temperaturas. Convirtiéndose de esta manera el módulo de rigidez (módulo resiliente), una prueba efectiva para caracterizar el desempeño de las mezclas asfálticas en un rango amplio de temperaturas de servicio.

Las mezclas asfálticas modificadas con polímero y polialuminio disminuye el porcentaje de pérdida por desgaste al cántabro, esto quiere decir que al incorporar polímero aumenta la cohesión de la mezcla disminuyendo así problemas de penetración de agua y por ende la oxidación aportando así en la durabilidad de la vida útil del pavimento.

En comparación con los resultados obtenidos de investigaciones previas, con respecto a la mezcla modificada con polímero SBS, tenemos que dio como resultado el porcentaje óptimo de polímero SBS del 3% con agregados de la mina Naranjo López (Pifo), dando un aumento de la estabilidad en un 36%, respecto de los valores obtenidos de la mezcla convencional, mientras que para la mezcla utilizando agregados de la mina Chaupi Chupa 1 (Nayón) el porcentaje óptimo de polímero SBS fue al 2%, con un aumento de estabilidad del 20.58%, la diferencia puede darse por las propiedades

mecánicas de los agregado utilizados en las investigaciones.

Las mezclas modificadas con polialuminio, respecto a los valores de la mezcla convencional con agregados de Píntag el polialuminio al 1.00% incrementa la estabilidad en un 1.98%, para la mezcla con agregados de Guayllabamba al incorporar el polialuminio al 1.5% incrementa la estabilidad en un 1.82% así como también es un gran aporte ya que se utiliza material reciclado de tetra pack y de esta manera ayuda a proteger el medio ambiente.

A continuación se presenta una evaluación de los resultados obtenidos para su comparación cuantitativa, en la evaluación de desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y asfalto modificado con polímero (PAM) SBS y RET con el Ensayo de Película delgada en horno giratorio (RTFO) con la incorporación de los polímeros SBS y RET la pérdida de masa aumentó, esto quiere decir que aumenta la presencia de volátiles en el asfalto .

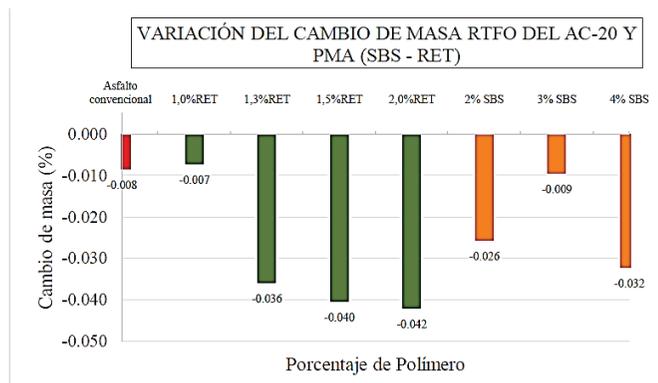


Figura 28. Variación del cambio de masa RTFO del Ac-20 y PMA (SBS - RET)

La evolución del desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y modificado mediante el ensayo de penetración y ductilidad fueron los siguientes:

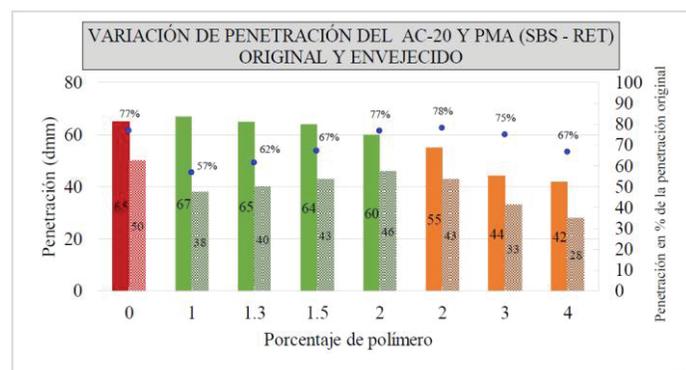


Figura 29. Variación de penetración en el asfalto convencional y PMA (SBS-RET) en condición original y envejecida.

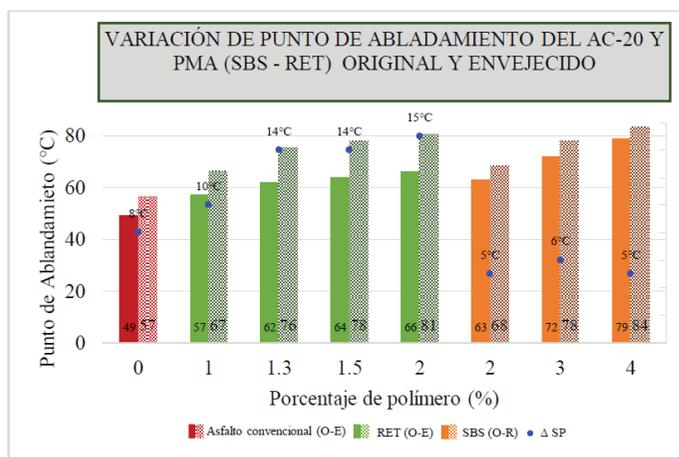


Figura 30. Variación del punto de ablandamiento en el asfalto convencional y PMA (SBS-RET) en condición original y envejecida.

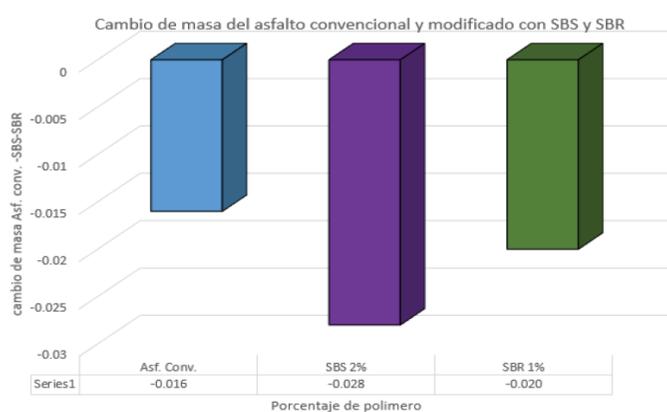


Figura 32. Cambio de masa del asfalto convencional y modificado con SBS y SBR.

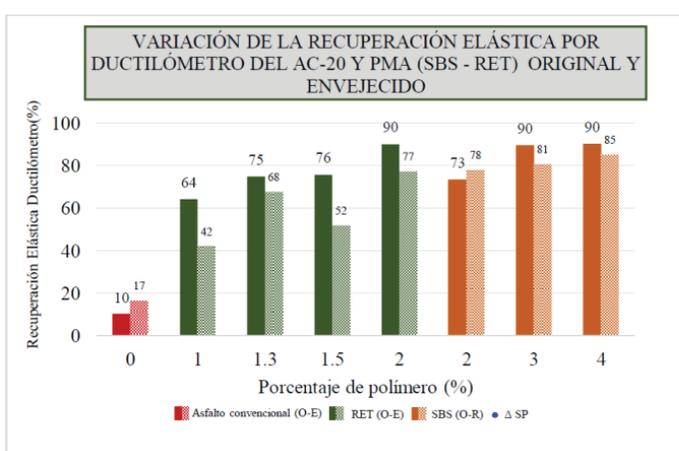


Figura 31. Variación de la recuperación elástica por ductilómetro del asfalto convencional y PMA (SBS-RET) en condición original y envejecida.

La evolución del desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y modificado se hizo mediante el ensayo de penetración y ductilidad cuyos resultados fueron los siguientes:

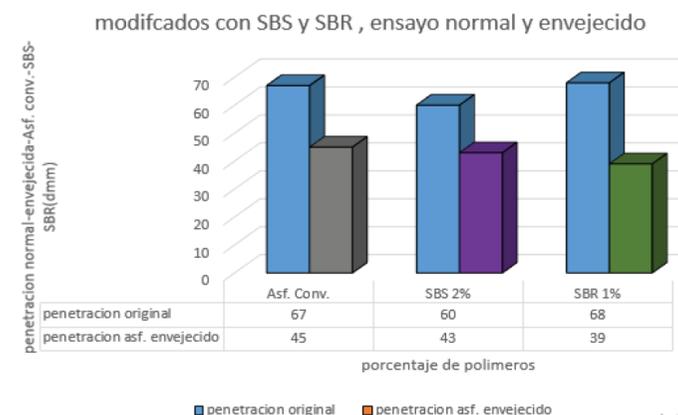


Figura 33. Variación de penetración en el asfalto convencional y PMA (SBS-SBR) en condición original y envejecida.

De los datos obtenidos en la investigación de las propiedades de penetración, punto de ablandamiento y ductilidad, estas cambian después del envejecimiento. Los PMA mostraron un endurecimiento progresivo representado en una disminución en la penetración y un aumento en la temperatura del punto de ablandamiento.

En la evaluación de desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y asfalto modificado con polímero (PAM) SBS y SBR mediante el Ensayo de Película delgada en horno giratorio (RTFO) los resultados obtenidos con la incorporación de los polímeros SBS y SBR existe mayor presencia de volátiles en el asfalto por consiguiente se produce una mayor pérdida de masa, tal como con el RET, explicado anteriormente.

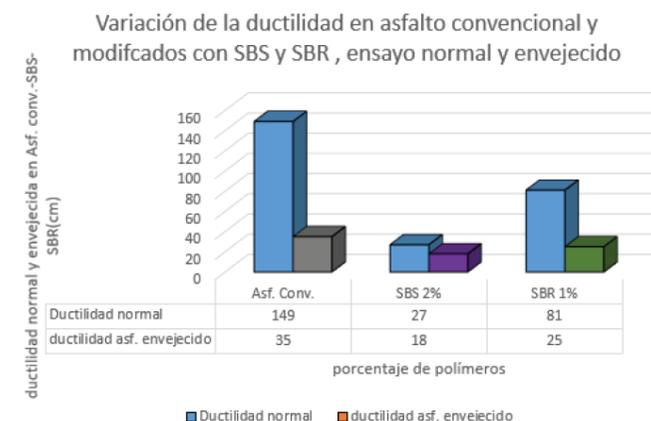


Figura 34. Variación de la ductilidad en asfalto convencional y PMA (SBS-SBR) en condición original y envejecida.

Al respecto el asfalto sufrió un proceso de endurecimiento, lo que implica una disminución de la elasticidad y un aumento de la rigidez al incor-

porar los polímeros SBS y SBR, mayor será la resistencia de la mezcla asfáltica ante la formación de roderas (ahuellamiento).

RECOMENDACIONES

Los resultados de la caracterización de los agregados pétreos no se deben considerar como valores únicos de la zona, estos se pueden alterar debido a meteorización, tipo de producción, variación de estratos, se recomienda realizar la caracterización de los agregados periódicamente en las minas.

Se debe continuar con la recopilación de información de los proyectos de investigación que se realicen en el Laboratorio de Pavimentos incorporando nuevos aditivos.

Es importante que exista un Laboratorio de Pavimentos en las Universidades, que daría apertura a continuar investigando nuevos aditivos que puedan mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas y combatir la problemática que existe en la durabilidad de las vías en el país y buscar nuevas mezclas para construcción y mantenimientos viales.

REFERENCIAS

Asphalt institute, (1982). Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente (MS-22). USA: s.n.

Bolívar, S. & Peña, J., (2018). Composición y Tipos de Asfaltos. Baranquillas: Universidad de la Costa, CUC.

Kaa, B., Mogoruzza, R. & Ivet, A., (2016). Análisis de Propiedades de Mezclas Asfálticas Modificadas en Panamá. Revista de iniciación Científica, 2 (1), p. 6.

León, P., Borja, S. & Cárdenas, J., (2019). Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS. Quito (Pichincha): UCE.

León, P., Jara, J. & Machado, S., (2020). Análisis comparativo entre mezclas asfálticas en caliente modificadas con polialuminio y mezcla convencional. Quito (Pichincha): UCE.

Merizalde, J., López, D. & Puma, C., (2017). Caracterización de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado

con polímeros SBS y RET, mediante la determinación del módulo de rigidez. Quito(Pichincha): UCE.

Minaya, S. & Ordoñez, A., (2006). Diseño moderno de pavimentos asfálticos. Lima: ICG.

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Quito (Pichincha): s.n.

Ortiz, E., Macías, L. (2019). Comparativo de las Propiedades de un Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional y el Uso de Polímeros en la Carretera Tosagua. [En línea] Available at: <https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/55/56>

Pérez, F. & Miro, J., (2002). Nuevos ensayos para la caracterización de ligantes y mezclas asfálticas. Asociación española de la carretera, p. 28.

Revista Técnica Asfaltos de la Asociación Mexicana de Asfaltos, (2017). Revista Técnica Asfaltos N° 51 Julio-Septiembre. [En línea] Available at: http://www.amaac.org.mx/archivos/asfaltica_51.pdf

Rondón, H. & Reyes, F., (2015). Pavimentos. Material Materiales, Construcción y Diseño. Bogotá: ECOE-Ediciones.

Speight, (2016). Asphalt Materials Science And Technology. Oxford: Elsevier Inc.