

COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y EL USO DE POLÍMEROS EN LA CARRETERA TOSAGUA

Eduardo Humberto Ortiz Hernández¹ Eduardo Humberto Ortiz Moncayo² Lucia Katherine Macías Sánchez³

¹ Universidad Técnica de Manabí,

² Universidad Técnica de Manabí Universidad,

³ Investigadora.

e-mail ehortiz@utm.edu.ec

Resumen: Los continuos deterioros muy prematuros que se vienen presentando en la superficie de rodadura de las carreteras de la Provincia de Manabí y en especial en la vía Tosagua ha conllevado a realizar la investigación, con el objeto de verificar las propiedades físicas – mecánicas de los materiales que se emplean en la elaboración de las mezclas para pavimento flexible así como también realizar un diseño con la incorporación de polímeros en un 3% y compararlo con el diseño convencional por el método Marshall para determinar la influencia de los asfaltos modificados en el uso de las carpetas asfálticas. Para la aplicación de método Marshall se confeccionaron cuatro juegos de probetas con diferentes porcentajes de asfaltos, los mismos que fueron considerados en: 5.5 %, 6.0 %, 6.5 % y 7.0 % de asfalto convencional y luego modificado con 3 % de polímero, tipo Butonal N X 1138. Con los cuatro puntos considerados para el análisis, se obtuvieron los diferentes parámetros Marshall que sirvieron para determinar el porcentaje óptimo de asfalto, tanto con el convencional como con el modificado con polímero y luego hacer las comparaciones mediante gráficas logrando verificar que los parámetros se han logrado mejorar con el uso de polímero.

Palabras Clave: Asfalto convencional, asfalto modificado, mezcla asfáltica, curva granulométrica, método Marshall.

COMPARATIVE OF THE PROPERTIES OF A DESIGN OF ASPHALTIC MIXING IN CONVENTIONAL HEAT AND THE USE OF POLYMERS IN THE TOSAGUA ROAD.

Abstract: : The continuous very premature deteriorations that are occurring in the running surface of the roads of the Province of Manabí and especially in the Tosagua road has led to carry out the investigation, in order to verify the physical and mechanical properties of the materials that are used in the elaboration of the flexible pavement mixes as well as a design with the incorporation of polymers in 3% and compare it with the conventional design by the Marshall method to determine the influence of the modified asphalts in the use of the asphalt folders. For the application of the Marshall method, four sets of test pieces with different percentages of asphalts were made, the same that were considered in: 5.5%, 6.0%, 6.5% and 7.0% of conventional asphalt and then modified with 3% of polymer, Butonal type NX 1138. With the four points considered for the analysis, we obtained the different Marshall parameters that were used to determine the optimal percentage of asphalt, both with the conventional and with the modified with polymer and then make the graphical comparisons, verifying that the parameters have been improved with the use of polymer.

Key words: Conventional asphalt, modified asphalt, asphalt mix, granulometric curve, Marshall method.

I INTRODUCCIÓN

Las vías terrestres son una fuente indispensable para el desarrollo y la sostenibilidad de un país, una ciudad, municipio, pueblo, etc., por lo tanto, el material con el que se fabrican estas vías debe ser muy resistente, durable y de buena calidad. La mayoría de las vías en nuestro país están construidas con mezclas asfálticas, las cuales son producto de la unión de cemento asfáltico con materiales pétreos, según especificaciones técnicas. Su comportamiento mecánico y dinámico depende de las propiedades de la mezcla, como un todo y de las propiedades individuales de los materiales [1].

Por la baja calidad del ligante y por la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos las propiedades de los asfaltos convencionales resultan insuficientes y no satisfacen las expectativas como para cumplir determinado período de servicio, es decir menor resistencia al envejecimiento, su poca durabilidad se refleja en deformaciones y fisuras dentro de una carpeta asfáltica; sin embargo estos problemas son causados además por la selección de materiales en los diseños, por el mal proceso de construcción, mantenimiento etc.

La caracterización de estos materiales es fundamental para el diseño y construcción de estructuras confiables y durables. El proceso de caracterización de materiales abarca la determinación de sus propiedades físicas, químicas, mecánicas e hidráulicas, así como también la evaluación de su durabilidad y funcionalidad [2].

Uno de los problemas con el que permanentemente se enfrentan los ingenieros de pavimentos es la calidad y heterogeneidad del asfalto que se obtiene en las refinerías y que está sujeto a las características de los crudos en cada uno de los pozos encontrados [3]. Es decir, no solo es una limitación de la naturaleza sino también de equipos para poder normalizar todas las características posibles, de igual forma la calidad del suelo donde es asentada la estructura que en algunos casos presentan alto grado de expansión [4].

Los ligante asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original (las cuales dependen de su contenido de asfaltenos, resinas y aceites), mejorando así el desempeño del pavimento a largo plazo. Si bien los modificadores pueden afectar muchas propiedades, la mayoría de ellos intenta reducir la dependencia de la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica [5].

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en

los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos, mejora del desempeño, incremento de la vida útil y hasta para cumplimiento de especificaciones contractuales [6].

Países como España, Francia y Estados Unidos han realizado trabajos con la utilización de llanta, vidrio y polietileno, e incluso se tiene normativa sobre su empleo, la cual se ha obtenido a partir de los resultados de investigación [3].

En la provincia de Manabí y en especial en la carretera Tosagua, se nota un deterioro progresivo que no ha sido debidamente estudiado a través del tiempo. La falta de adherencia entre los áridos y el ligante asfáltico en la superficie de rodadura, ha provocado también estos deterioros a consecuencia de las intensidades del tránsito, el uso de materiales inadecuados, efectos climáticos, el mal drenaje etc, es aquí donde se ve la necesidad de realizar la investigación para determinar las propiedades de la mezcla asfáltica con adicionamiento de polímeros como parte de la solución de los daños que se presentan en esta carretera aplicando para ello el método Marshall.

II DESARROLLO

A. Materiales y métodos

La metodología empleada en el desarrollo de la investigación inició con la caracterización de los materiales (arenas y gravas) [7], se utilizó cuatro tipos de materiales, los agregados gruesos triturados de tamaños $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", polvo de roca o cisco proveniente de la cantera Basáltica que está ubicada en el sector de Picoazá, esto es a 13 Km de la ciudad de Portoviejo y agregados finos, traídos del sector Los Arenales de la parroquia Crucita. Los materiales triturados fueron obtenidos en la planta trituradora que se encontraban en stock en la cantera de propiedad de la compañía Holcim del Ecuador. Para la elaboración de los diseños se utilizó el método Marshall.

B. Caracterización de materiales

Para evaluar la masa específica relativa o gravedad específica se usaron los métodos de ensayos relativa de los agregados finos y gruesos que se describe en la norma ASTM C 127 [8], este ensayo tiene por objeto la determinación de la gravedad específica de masa, bulk y aparente, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso y fino cuando se lo sumerge en agua por un periodo de

24 horas.

Para determinar el desgaste del material se realizó el ensayo de abrasión con la máquina de los Ángeles, este ensayo es esencial para determinar el desgaste del agregado al impacto, se lo ejecutó en base a la norma ASTM C 131 [9].

En la Tabla I, se muestran los resultados de los ensayos de caracterización ejecutados a los cuatro tipos de materiales que serán utilizados en la mezcla asfáltica, notándose que estos poseen propiedades aceptables para el uso requerido.

Tabla I

Materiales	Gravedad específica Masa (Kg/cm3)	Gravedad específica a SSS (Kg/cm3)	Gravedad específica aparente (Kg/cm3)	Absorción (%)	Abrasión (%)	Desgaste a los sulfatos (%)	Peladura (%)
Tamaño máximo 3/4"	2.510	2,615	2,804	4,17	26	10	
Tamaño máximo 3/8"	2.508	2,629	2.853	4,82			< 5
Agregado fino Cisco	2.716	2.806	2,984	3,31			
Agregado fino arena	2.717	2.738	2,776	0,79			

Ensayos de caracterización de los materiales para la mezcla asfáltica

C.Análisis granulométrico

La graduación es probablemente la propiedad más importante del agregado para pavimento asfáltico, la misma que controla e influye sobre los vacíos del agregado mineral (V.A.M.), los vacíos de aire, la estabilidad y la densidad de las mezclas asfálticas, afecta su trabajabilidad, su tendencia hacia la segregación y a la dificultad o facilidad de compactarla a la densidad especificada.

La deseada graduación determina también la textura del pavimento terminado o como sucede en varias ocasiones la apariencia textural determina la graduación del agregado a emplearse en la mezcla asfáltica para pavimentación.

La metodología Marshall utiliza una gráfica semi logarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla y en la abscisa las aberturas de las mallas en milímetros, graficadas en forma logarítmica.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior) [10], como se menciona en las normas ASTM D3515 [11].

La determinación de la granulometría de los agregados se ejecutó por vía seca y húmeda, utilizando la primera para conformar las muestras representativas de los agregados pétreos y la segunda para el cálculo de la dosificación de áridos. La diferencia de ambas granulometrías se manifiesta claramente por debajo de las fracciones libradas por el tamiz N° 40. Para determinar la granulometría por vía húmeda se conforma una muestra representativa del agregado en base a la granulometría determinada por vía seca. Con ello se determinó los porcentajes a usar de tal manera que la graduación este dentro de la faja de trabajo.

En la tablaII, se muestra los porcentajes de los materiales para la combinación de mezcla, la graduación resultante de la combinación de los agregados y la faja de trabajo para cada tamiz especificado.

Tabla II. Dosificación de los materiales de la mezcla asfáltica convencional y con polímeros.

Fracción	Porcentaje utilizado (%)	Graduación combinada de la mezcla						
		3/4"	1/2"	3/8	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
1	10	10,00	8,24	4,98	0,39	0,17	0,10	0,05
2	35	35,00	35,00	28,85	6,43	2,01	0,63	0,26
3	40	40,00	40,00	40,00	36,70	26,66	9,23	2,59
4	15	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	9,95	2,51
Mezcla Obtenida		100,00	98,24	88,83	58,52	43,84	19,91	5,41
Faja especificada por el instituto de Asfalto		100	90 - 100		44-74	28-58	5--21	2-10
Tolerancias		±8	±8		±7	±6	±5	±3
Faja de trabajo		100	100		65,52	49,84	21,0	8,4

Con los resultados obtenidos y aplicando los porcentajes aportantes para cada uno de los agregados, se obtiene la curva granulométrica correspondiente a la fórmula de trabajo en obra como se observa en la Figura 1, la misma que se encuentra dentro de los límites granulométricos especificados por las normas ecuatoriana vial NEVI [12], que debe ser continua, sin inflexiones apreciables y cóncavas hacia arriba.

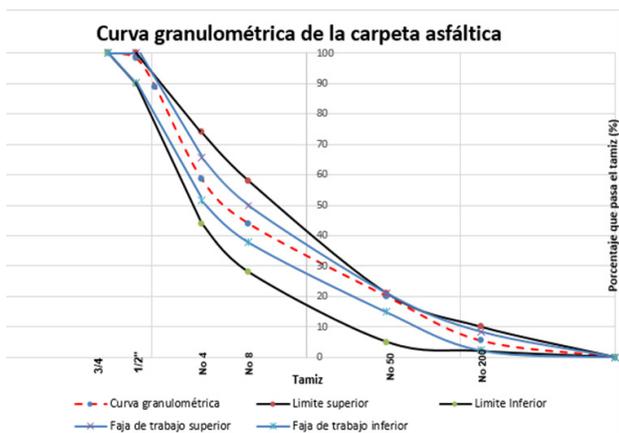


Figura 1. Curva granulométrica de la combinación de la mezcla

D.Método Marshall para mezclas asfálticas en caliente.

El ensayo Marshall se utilizó para determinar las proporciones de los componentes de mezcla asfáltica con el objeto que tenga la calidad y las propiedades requeridas para ser utilizada en una carretera. Lo que se pretende con este método es obtener una mezcla económica con una proporción de agregados pétreos dentro del límite de granulometría especificada y un porcentaje óptimo de cemento asfáltico que produzca una mezcla que cumpla las propiedades de: estabilidad, durabilidad, resistencia al deslizamiento, flexibilidad y trabajabilidad.

El método de diseño Marshall es aplicable solo a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25mm [13].

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 1/2”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado como se indica en la ASTM D1559-89 [14]. Los dos aspectos principales del método de diseño

son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados [10].

Para la aplicación de método Marshall, se confeccionaron cuatro juegos de probetas con diferentes porcentajes de asfaltos, los mismos que fueron considerados en: 5.5 %, 6.0 %, 6.5 % y 7.0 % del asfalto convencional y luego modificado con el 3.0 % de polímero, tipo Butonal N X 1138.

Con los cuatro puntos considerados para el análisis, se obtuvieron los diferentes parámetros Marshall que sirvieron para determinar el porcentaje óptimo de asfalto, tanto en el convencional como en el modificado con polímero. De acuerdo con este procedimiento se pasa a realizar las comparaciones mediante gráficas, verificando los parámetros que se han logrado mejorar con el uso de polímero.

Para determinar la estabilidad y el flujo se procedió a sumergir el espécimen en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Con el equipo de prueba Marshall listo se remueve el espécimen colocado en baño María y cuidadosamente se seca la superficie. Ubicando y centrando el espécimen en la mordaza inferior, se coloca la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga.

Posteriormente se aplicó la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51mm (5") por minuto hasta la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (N) requerido para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir, se deberá tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final [15]. expresado en unidades de 0.25 mm (1/100"), será el valor del flujo Marshall.

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se lleva a cabo el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba. Se debe determinar la gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente los que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado, el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas, la gravedad específica del asfalto y la gravedad especí-

fica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (Va), porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).

El tipo de asfalto empleado en la elaboración de la mezcla asfáltica es tipo AP3 de penetración 60 -70 y sus especificaciones se muestran en la tabla III.

Tabla III. Especificaciones para el cemento asfáltico de penetración 60 -70

Propiedad	Mínimo	Máximo
Penetración a 25 grados, 100 gr, 5 segundos	60	70
Punto de inflamación	450	
Ductilidad a 25 grados 5/m, cm	100	
Solubilidad en tricloroetileno (%)	99	
Perdida por calentamiento (%)		0,8
Ensayo en el residuo: penetración, % original	54	
Ductilidad; a 25 grados, 5cm/m,cm	50	
Temperatura de empleo para riesgos	140	175

E.Propiedades físicas y químicas del polímero

El polímero utilizado es el Butonal Tipo NX - 1138 empleado para modificar el asfalto convencional tipo AP3 de penetración 60-70 utilizado en el desarrollo de la investigación.

Este polímero ha sido usado ampliamente como un modificante, se clasifica como un elastómero que tiene una alta respuesta elástica y por lo tanto es capaz de resistir la deformación permanente ya que puede extenderse y recuperar su forma original, además de tener mayor resistencia a la tensión y la habilidad de recuperar su condición inicial una vez removida la carga aplicada [6].

Los modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico antes de ser mezclado con el material pétreo que para este caso se empleó el 3 % en peso

Butonal tipo NX – 1138. En la Tabla IV, se muestran las principales propiedades físicas y químicas del polímero utilizado.

Tabla IV. Propiedades físicas y químicas del polímero

Propiedades físicas y químicas del polímero	
Estado físico	Líquido
Olor	Ligero olor
Color	Blanco
Valor pH	Aprox. 5.0 – 5.6
Punto de solidificación	Aprox. 0°C
Indicaciones para	Agua
Temperatura de solidificación	Aprox. 0°C
Punto de ebullición	Aprox. 100°C
Indicaciones para	Agua
Temperatura de ebullición	100°C (1,000 hPa)
Presión de vapor	Aprox. 17.5 mm Hg (20°C)
Indicaciones para	Agua
Presión de Vapor	23 mbar (20°C)
Densidad	Aprox. 0.90 – 0.95 (20°C) gr/cm ³
Viscosidad, dinámica	Aprox. 250 – 1,500 mPa.s
Solubilidad en agua	(15°C) parcialmente soluble
Miscibilidad con agua	Miscible

III RESULTADOS

Una vez realizado todo el trabajo de laboratorio aplicando el método Marshall para ambos diseños de mezclas asfálticas, se procede a dar a conocer los resultados para realizar un comparativo de sus propiedades. Se fabricaron dieciséis probetas con contenido de asfalto entre 5.5 % y 7 % en incrementos de 0.5% para cada diseño. Se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto de 6.4 % para el diseño convencional, y para la mezcla con polímeros se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto de 6.5% como se presenta en la tabla V.

Tabla V. Determinación del porcentaje óptimo de asfalto convencional y modificado con polímero

Propiedades de la mezcla asfáltica	Asfalto convencional	Asfalto modificado
Gravedad Específica de Masa	6,2	6,3
Flujo	6,9	6,5
Vacios de Aires	6,3	6,5
VAM	6,2	6,3
Estabilidad	6,4	6,7
Porcentaje óptimo de asfalto	6,4	6,5

Se reconoce que el fenómeno de la pérdida de agregado en la capa de rodadura en diferentes niveles es por lo general un problema complejo donde pueden intervenir diferentes variables, sin embargo en la tabla 6, se muestra el porcentaje de desgaste de la briqueta de la mezcla con asfalto convencional y del diseño con asfalto modificado, mediante el ensayo de pérdida por desmoronamiento utilizando la máquina de Los Ángeles para evaluar el desgaste que puede sufrir la mezcla asfáltica durante su vida útil, obteniendo el 6.3% y 4.3 % de pérdida de masa respectivamente, demostrando que el uso de polímeros en el asfalto disminuye este fenómeno.

Tabla VI. Determinación del desgaste por el ensayo de cántabro en la mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros.

Muestra	Desgaste de la mezcla con asfalto convencional (%)	Desgaste de la mezcla con asfalto modificado con polímero (%)
1	6,3	4,3

En cuanto a la densidad de las mezclas compactadas el control que se le dé es de gran importancia, debido a que es esencial tener una alta densidad pero ocasiones el exceso puede producir efectos negativos denominados reventones. En la figura 2, se presenta las densidades de los diseños de mezclas para cada porcentaje de asfalto analizado según el método Marshall y se puede determinar que la mezcla con asfalto modificado con polímero tiene un incremento de 1% aproximadamente con referencia a la mezcla con asfalto convencional.

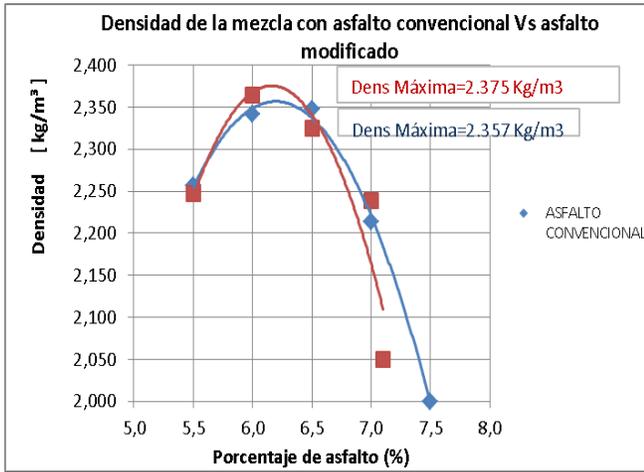


Figura 2. Comparativo de la densidad máxima de la mezcla con asfalto convencional y asfalto modificado con polímero.

La propiedad que permite que un pavimento pueda resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones es la estabilidad, en la investigación se puede apreciar el incremento significativo de la estabilidad de la mezcla preparada con asfalto modificado con relación a la mezcla preparada con asfalto convencional, la diferencia de estabildades es aproximadamente de 16.22% como se muestra en la figura 3, mejorando significativamente esta propiedad y brindándole mejor comportamiento a la mezcla al estar expuestas a altas temperaturas.

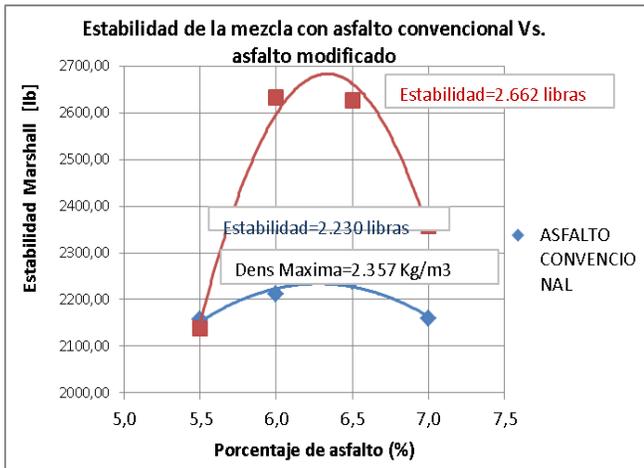


Figura 3. Comparativo de la estabilidad de la mezcla con asfalto convencional y asfalto modificado con polímero.

En la figura 4, se aprecia el incremento del flujo de la mezcla en ambos diseños al mismo tiempo que se le aumenta el porcentaje de asfalto notándose también que la mezcla con asfalto modificado con polímero desarrolla una fluencia superior pero dentro del rango estable-

cido que es de 8 a 14, lo que indica una fricción interna posiblemente baja.

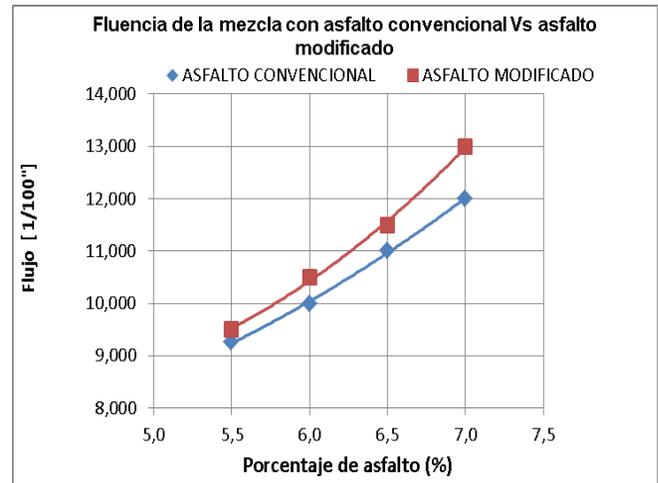


Figura 4. Comparativo de la fluencia de la mezcla con asfalto convencional y asfalto modificado con polímero.

En la figura 5, se muestra que el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla preparada con asfalto modificado es inferior que el diseño de mezcla convencional, se estima que la cantidad de vacíos mejoran al incrementar el polímero en la mezcla.

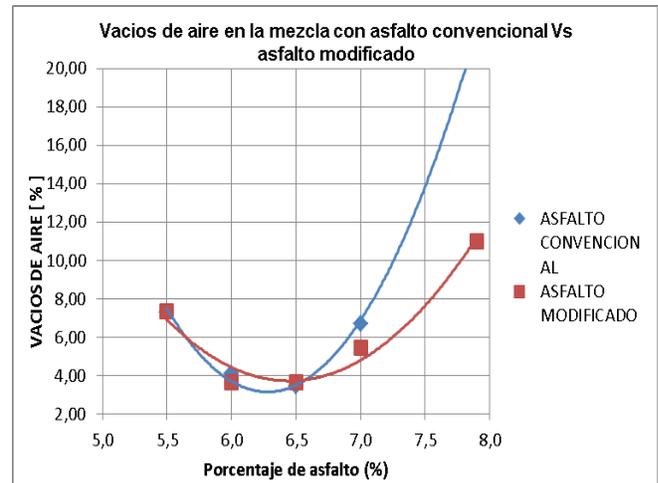


Figura 5. Comparativo de los porcentajes de vacíos de aire de la mezcla con asfalto convencional y asfalto modificado con polímero.

IV CONCLUSIONES

Con la mezcla asfáltica diseñada empleando la faja de trabajo obtenida con la proporción de los áridos que han intervenido en la dosificación para tamaño máximo 3/4'' y con las tolerancias aplicadas para el análisis de la faja granulométrica, los resultados demuestran que diseñando la mezcla con asfalto modificado con el polí-

mero tipo Butonal NX-1138 se tiene un incremento en la densidad y estabilidad.

La mezcla asfáltica con asfalto convencional alcanzó una densidad de 2357 kg/m³ y una estabilidad de 2238 lb; mientras que con asfalto convencional modificado con 3% de polímero se ha obtenido una densidad de 2375 kg/m³ y una estabilidad de 2662 lb, demostrando que con el empleo de polímeros se tiene un producto de mejores características, la misma que puede ofrecer un mejor comportamiento tanto en resistencia como a las deformaciones (fisuras- ahuellamientos- etc.)

Los valores de vacíos de aires que se han logrado obtener para el diseño propuesta con asfalto convencional modificado con polímero, están dentro del rango recomendado por el Manual de Especificaciones del Instituto del Asfalto; es decir, de 3 a 5 %, por lo consiguiente el comportamiento de la mezcla será adecuado.

V BIBLIOGRAFIA

- [1] O. J. Reyes Ortiz, J. F. Camacho Tauta y A. Londoño León, «Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo,» Revista científica General José María Córdova, pp. 215-232, 2013.
- [2] A. E. Alvarez Lugo, E. Arámbula Mercado y S. C. Spinel, «Tomografía computarizada con rayos-x y sistema de imágenes de agregados (AIMS) para el estudio de mezclas asfálticas y agregados,» Revista ingeniería e investigación, pp. 142-151, 2008.
- [3] A. S. Figueroa Infante, F. A. Reyes Lizcano, D. Hernandez Barrera, C. Jimenez y N. Bohurquez, «Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente,» Ingeniería e investigación, pp. 5-15, 2007.
- [4] E. H. Ortiz Hernández, E. H. Ortiz Moncayo, L. K. Macias Sanchez y R. Pachana de Cardero, «Behavior of Clayey Soil Existing in the Portoviejo Canton and Its Neutralization Characteristics,» International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research (IR-JEIS), pp. 1-10, 2017.
- [5] J. Cárdenas y E. Fonseca, «Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímeros reciclado, estudiada desde la relación viscosidad temperatura,» Revista EIA, pp. 125-137, 2009.
- [6] A. Vargas Nordebeck, «Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente con y sin adición de polímeros modificantes para mezclas típicas en Costa Rica,» San Jose, Costa Rica, 2013.
- [7] L. K. Macias Sanchez, E. H. Ortiz Hernández, L. S. Quiroz Fernandez y W. E. Ruiz Parraga, «Determination of Physical and Mechanical Properties of Quarries Dos Bocas Mouths and Mine Copeto for High Resistance Concretes,» International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research, pp. 33-40, 2018.
- [8] «ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org».
- [9] ASTM C131 / C131M-14, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.
- [10] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gómez López, S. A. Romero y H. A. Alarcón Orta, «Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas,» Instituto Mexicano del Transporte, 2004.
- [11] «ASTM D3515-01, Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures (Withdrawn 2009), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org».
- [12] G. Jimenez y M. E. Torres, «Superficie de rodadura,» de Norma Ecuatoriana vial NEVI-12 - MTOP, Quito, 2013.
- [13] J. E. Corradine y G. A. Espitia, «Deterioro De Una Base Estabilizada con Asfalto por Factores del Medio Ambiente,» Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2015.
- [14] «ASTM D1559-89 Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus (Withdrawn 1998)».
- [15] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gomez Lopez y M. Alvarado Gonzalez, «Comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con SBR,» Secretaria de comunicaciones y transporte, 2004.