



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EFEECTO DEL TALADRADO PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN LA PÉRDIDA DE
LIGANTE, EVALUADA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE MEZCLAS EN FRÍO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Charles Darwin Cerón Pilamunga
Jefferson Roberto Reinoso Casa
TUTOR: Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito-Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Charles Darwin Cerón Pilamunga con documento de identificación N°1719876920 y Jefferson Roberto Reinoso Casa, con documento de identificación N°1718495326; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 22 de febrero de 2023

Atentamente,

Charles Darwin Cerón Pilamunga
1719876920

Jefferson Roberto Reinoso Casa
1718495326

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Charles Darwin Cerón Pilamunga con documento de identificación N°1719876920 y Jefferson Roberto Reinoso Casa, con documento de identificación N°1718495326; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Efecto del Taladrado para la extracción de Núcleos en la pérdida de Ligante, evaluada en Pavimentos Asfálticos de Mezclas en frío”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero de 2023

Atentamente,

Charles Darwin Cerón Pilamunga

1719876920

Jefferson Roberto Reinoso Casa

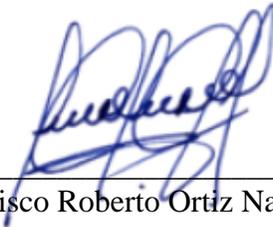
1718495326

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N°1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EFECTO DEL TALADRADO PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN LA PÉRDIDA DE LIGANTE, EVALUADA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE MEZCLAS EN FRÍO, realizado por Charles Darwin Cerón Pilamunga, con documentos de identificación N°1719876920 y Jefferson Roberto Reinoso Casa, con documentos de identificación 1718495326, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero de 2023

Atentamente,



Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD.
1717631244

EFFECTO DEL TALADRADO PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN LA PÉRDIDA DE LIGANTE, EVALUADA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE MEZCLAS EN FRÍO

EFFECT OF DRILLING FOR THE EXTRACTION OF CORE ON BINDER LOSS, EVALUATED IN COLD MIX ASPHALT PAVEMENTS

Charles Cerón-Pilamunga¹, Jefferson Reinoso-Casa²

Resumen

En el campo de la ingeniería existen mezclas frías y calientes. Para su correcto desempeño, es vital tener una adecuada mezcla asfáltica, que conlleve procedimientos de calidad tanto al momento de su diseño como el de su colocación. Con respecto a las mezclas asfálticas en frío, estas tienen la ventaja que no requieren del uso de energía para calentarlas, ya que emplea emulsiones asfálticas, que facilitan su colocación y compactación en climas cálidos, templados y fríos.

La mezcla asfáltica en frío fue elaborada con emulsión asfáltica y agregados de la cantera de Pifo. Al usar esta mezcla se realizó dos procesos, la fabricación de briquetas compactas manualmente y la extracción de núcleos.

Con el objetivo de identificar mediante estudio comparativo y experimental la pérdida de ligante asfáltico entre las briquetas compactadas manualmente y la extracción de núcleos. Las cuales fueron extraídas de una capa de rodadura en servicio con el fin de determinar el grado de correlación de los parámetros esenciales para determinar el porcentaje de asfalto utilizado tanto en laboratorio como en obra.

Abstract

In the field of engineering there are hot and cold mixtures. For its correct performance, it is vital to have an adequate asphalt mix, which entails quality procedures both at the time of its design and its placement. With respect to cold asphalt mixes, these have the advantage that they do not require the use of energy to heat them, since they use asphalt emulsions, which facilitate their placement and compaction in hot, temperate and cold climates.

The cold mix asphalt was made with asphalt emulsion and aggregates from the Pifo quarry. When using this mixture, two processes were carried out, the manufacture of compact briquettes manually and the extraction of nuclei.

With the objective of identifying through a comparative and experimental study the loss of asphalt binder between the manually compacted briquettes and the extraction of cores. Which were extracted from a wearing course in service in order to determine the degree of correlation of the essential parameters to determine the percentage of asphalt used both in the laboratory and on site.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador.

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador.

Autor para correspondencia: ceronp@est.ups.edu.ec; jreinosoc5@est.ups.edu.ec;

Se determina que el comportamiento de las mezclas obtenidas tanto por compactación y núcleos tienen un desempeño similar y que la técnica de obtención de núcleos no influye en la pérdida de asfalto, al haber utilizado refrigerante para la extracción de muestras,

It is determined that the behavior of the mixtures obtained by both compaction and nuclei have a similar performance and that the technique for obtaining nuclei does not influence the loss of asphalt, having used refrigerant for the extraction of samples.

Palabras Clave: Densidad, estabilidad, flujo, parámetros, curado, Método Marshall Modificado, volumen de vacíos, porcentaje de asfalto, horno de ignición.

Keywords: Density, stability, flow, parameters, cured, Modified Marshall Method, void volumen, asphalt percentage, ignition oven.

1. Introducción

La carpeta de rodadura de una vía resulta de vital importancia para el correcto desempeño de la vía. Entre las posibilidades de carpeta de rodadura asfálticas podemos encontrar con aquellas realizadas con mezclas frías o calientes. Para su correcto desempeño es vital tener una adecuada mezcla asfáltica, que conlleve procedimientos de calidad tanto al momento de su diseño como de su construcción.

Parte fundamental para tener una mezcla asfáltica de calidad es usar material granular que cumpla especificaciones técnicas. Muchas de estas especificaciones requieren realizar algunos ensayos como: densidades, estabilidad, flujo y porcentaje de ligante asfáltico [1].

Con respecto a las mezclas asfálticas en frío, estas tienen la ventaja que no requieren del uso de energía para calentarlas, ya que emplea emulsiones asfálticas, que facilitan su colocación y compactación en climas cálidos, templados y fríos. El único impedimento para colocar la mezcla es la presencia de aguas lluvias.

Existen varias metodologías para un correcto diseño de mezclas asfálticas, siendo una de estas la metodología Marshall ASTM D-1559 [2]. Esta metodología fue diseñada originalmente para ser empleada con mezclas en caliente, sin embargo, ha tenido modificaciones a fin de poder ser usadas en mezclas en frío. En esta metodología modificada [3], la verificación de condiciones de la mezcla se lleva a cabo mediante briquetas ensayadas a fin de determinar su estabilidad y flujo.

La estabilidad representa la capacidad de medir la resistencia a la deformación por la circulación de vehículos. Mientras tanto el flujo describe la deformación vertical total, que es doblegada bajo la carga máxima, en la mezcla asfáltica propuesta.

A pesar que un correcto diseño de mezcla garantiza un buen desempeño del pavimento, a un queda la incertidumbre de cual diferente es el

comportamiento de la mezcla entre aquella realizada en laboratorio y aquella realizada en obra.

Adicionalmente, queda la inquietud si la técnica sugerida para extraer núcleos afecta en el contenido de asfalto de la probeta.

Coloma y Tabango [4] en el año 2006 realizaron un estudio de tracción indirecta en mezcla asfáltica. Ocupando 25 muestras por vía en tres diferentes carreteras del Ecuador. Con un total de 75 especímenes a ensayar concluyeron que al momento en que se realiza el corte o perforación se afectó directamente a los agregados y por ende al ligante. Significando que los resultados no son totalmente confiables.

Por otro lado, los autores Flores e Vásquez [5], en su propuesta experimental de relación de las propiedades Marshall, en el año 2017. Al realizar la extracción de núcleos a los 30 y 60 días posterior a su colocación. Manifiestan que la granulometría y el ligante asfáltico no es alterado de manera significativa, por el cizallamiento de los especímenes lo largo de la extracción de núcleos.

Por lo contrario Pozo y Maldonado [6], señalan que por la influencia del taladro en la mezcla asfáltica existe una pérdida considerable de ligante debido al cepillado de núcleos y al cizallamiento al momento de la extracción con respecto a las briquetas evidenciando resultados de 7,515% y 6,701% respectivamente, demostrando una diferencia del 0,81%.

Sin embargo Salinas [7], en su estudio de evaluación funcional y estructural del pavimento en el año 2019. Evidencio que la extracción de núcleos de asfalto nuevo se mantiene al 5.7% de ligante asfáltico, de acuerdo al diseño de mezcla y en asfalto viejo su contenido de asfalto es de 4.82%. Debido a la cristalización del asfalto a lo largo del tiempo.

Dentro de este contexto, la presente investigación académica intenta determinar. Si

existe alguna diferencia en el desempeño entre mezclas asfálticas en frío compactadas mediante compactador Marshall bajo Asphalt Cold Mix Manual (Appendix F MS-14) [3] y aquellas mezclas compactadas con rodillo. Para esto se realiza una campaña experimental en donde empleando mezcla asfáltica en frío, que está siendo colocada en una vía real de Quito, se fabrican probetas tipo briquetas obtenidas en diferentes abscisas. Adicionalmente, se extraen núcleos mediante normativa AASHTO T230-68 [8], tipo briqueta de la vía en mención. Ambos tipos de briqueta son evaluados en laboratorio a fin de determinar la diferencia que puede existir entre estas dos y si existe pérdida de afato durante la extracción.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación se ha realizado empleando el uso de material granular que ha sido obtenido del sector Oriental de Quito, Valle de Tumbaco. Es de procedencia de la cantera Pifo perteneciente a DISENSA, mismo que es de carácter triturado y tiene un tamaño máximo de 25 mm como se muestra en la Figura 1. Según la curva granulométrica, la distribución de tamaño de los agregados empleados se encuentra dentro de las bandas límite, que son sugeridas y se usan por la Empresa Metropolitana de Obras Públicas.

El desgaste del agregado grueso es del 22% [1] y la densidad de los agregados es de 2.45 g/cm^3 [9]. El ligante empleado en la mezcla, es fabricado por la empresa EMULDEC cuyos límites varían entre 0.5 y 1.4 l/m^2 [1]. Es una emulsión asfáltica aniónica de curado lento (SS-1), ya que contienen asfalto combinado con agua.

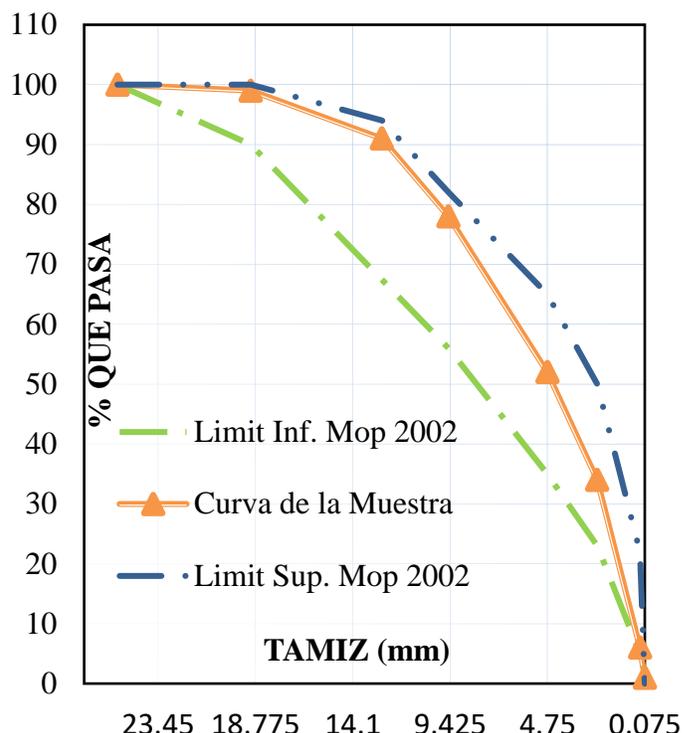


Figura 1. Curva granulométrica de mezcla asfáltica en frío.

2.1. Fabricación de Probetas In situ

Se fabrica las muestras empleando un tipo de muestreo en donde se asignan cinco ejemplares por cada abscisa representada en la Figura 3. Para la fabricación de briquetas se emplea un compactador tipo Marshall el mismo que es colocado junto a la vía, donde se tomara el material como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. a) Adecuación del material en el molde, b) Compactación manual de probetas in situ

Debido a condiciones climática no se pueden compactar, se llevó parte del material al laboratorio tomando todos los cuidados respectivos, a fin de terminar la fabricación de briquetas.

Para cada briketa se empleó 1200 gr de material, previamente se aceito el collar mismo que fue colocado sobre el pedestal de compactación. La técnica indica que se debe realizar 15 introducciones del cuchillo sin filo en el contorno y 10 veces en el centro, juntar la mezcla en frío en forma de cono en el centro del molde.

Finalmente se procede a compactar, aplica 50 golpes en cada una de las caras del espécimen como se especifica en Asphalt Cold Mix Manual (Appendix F MS-14) [3]. Posterior a este proceso se retira el molde y se permite curar a la probeta de 30 a 60 días en un cuarto a temperatura ambiente[1].

2.2. Extracción de núcleos mediante taladrado

Se extraen los núcleos basándose en la normativa ASSHTO T230-68 [8] que indica 4in (101,6mm) de diámetro del núcleo, para esto se usa una broca de acero templado con corte dentado y pequeñas partículas de diamante. Diámetro interno de 101,6 mm y altura de 370 mm con espesor de 3mm, a fin de obtener una probeta limpia [10].

El procedimiento indica que se instala el equipo extractor de núcleos, mismo que funciona con gasolina y es operado por un técnico profesional ver Figura 4. Los núcleos se extraen en un tiempo de 5 a 10 min por espécimen, obteniéndose 5 ejemplares por cada abscisa. Tres especímenes se extraen con refrigerante y dos con agua como se indica en la Figura 3.

Se emplea agua de flujo constante para no alterar la probeta o derretir el asfalto, por otra parte, se evalúa el uso del refrigerante diluido en una relación 1/5 con agua. A fin de determinar si existe algún efecto en la pérdida de ligante cuando se emplea un compuesto que disminuye la

temperatura en el asfalto y que contribuye al enfriamiento de la broca.

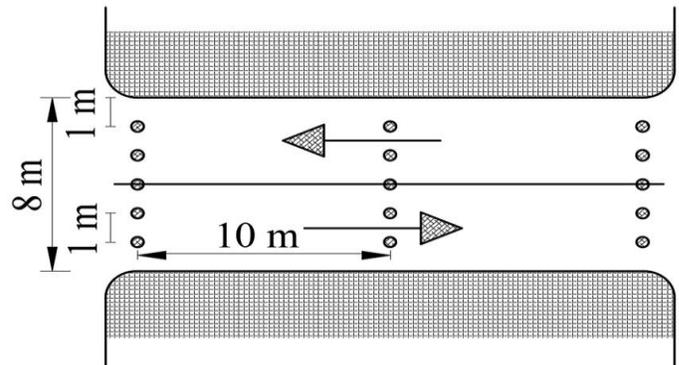


Figura 3. Ubicación de los especímenes extraídos

Por norma se indica el tiempo de 4 a 6 días para la extracción de núcleos [10], sin embargo, no se puede realizar lo especificado anteriormente ya que el material se disgrega al ser un asfalto en frío de curado lento que toma alrededor de 1 a 2 meses para que la mezcla tenga la consistencia y propiedades finales. Basado en lo anterior los núcleos son extraídos, a los 45 días de ser colocado y compactado la mezcla en la vía.



Figura 4. a) Extracción de núcleos mediante taladrado, b) Orificio hecho por el taladrado

Después de la extracción de testigos se procede a rellenar con asfalto frío, la estructura vial para no alterar las propiedades de la misma. Se identifica o codifica visiblemente y únicamente a los núcleos extraídos como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Identificación con código de especímenes

Se asigna a cada muestra de la abscisa del proyecto, con una nomenclatura y se coloca los testigos en cajas recubiertas con plástico de polietileno de alta densidad. A fin de impedir que sus propiedades sean alteradas durante el transporte al laboratorio.

Se ubica las muestras de asfalto en un lugar adecuado, sin luz solar directa, a temperatura ambiente para mantener su estado original sin cambios hasta el día del ensayo.

Es necesario disponer de un operador especializado, para una correcta extracción de núcleos de la carpeta asfáltica y el corte en ambas caras de los especímenes. Obteniendo el espesor deseado de 63.5mm, recomendando tener las precauciones necesarias cuando se usa este tipo de aparatos.

2.3. Procedimiento en laboratorio

2.3.1. Determinación de gravedad específica

El método de gravedad específica se realizar con la normativa ASTM D-2726[11], la gravedad específica de mezclas asfáltica en frío. El cual se limita a ensayar muestras compactadas en laboratorio y obtenidas en campo, de tal manera que permite disponer el porcentaje de vacíos de aire según el método Marshall modificado [12].

Posterior al curado de las muestras se debe identifica las masas de las briquetas con el uso de la balanza electrónica como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. a) Muestra en el aire, b) Masa sumergida para ensayo de Densidad Bulk

Se pesa las briquetas en el aire en gramos, en un contenedor con agua y con la ayuda de una canasta. Colocar los especímenes a una temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$ en un tiempo delimitado de 3 a 5 minutos.

Se toma el peso saturado en gramos y después se extrae la muestra del agua, secando el espécimen con una toalla suavemente. Se tomará el peso en el aire del espécimen saturado, como se muestra los resultados en la Figura 7 ensayo Bulk.

A través de los datos obtenidos, se relacionan las masas de las muestras y aplicamos la fórmula de la norma ASTM D-2726[11]. Los resultado presentados en la Tabla 1 en donde se observan los promedios de los resultados del g/cm^3 ensayo, con su respectivo coeficiente de variación[11].

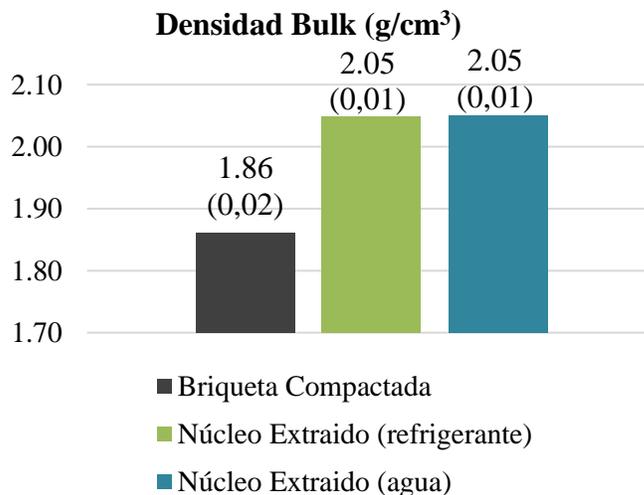


Figura 7. Valores promedio del ensayo BULK.

2.3.2. Ensayo de estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad y flujo se realiza siguiendo la norma ASTM D-6927[13]. La estabilidad de la muestra corresponde a la fuerza máxima aplicada en N (lbf), que desarrolla una muestra estándar. Previamente las briquetas y núcleos deben ser sumergidas en un tanque de agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ en un periodo de tiempo de 30 a 40 min.

Posteriormente se hace rodar la muestra en una toalla para secar completamente el espécimen. Se coloca en las mordazas antes de iniciar con el ensayo[13].

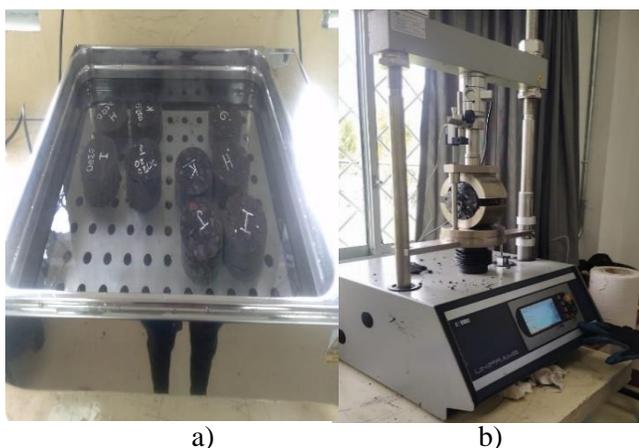
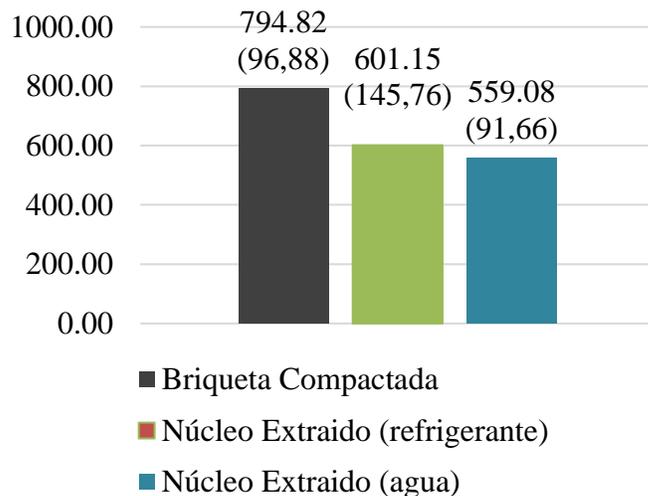


Figura 8. Baño maría de especímenes, b) Ensayo de Estabilidad y Flujo.

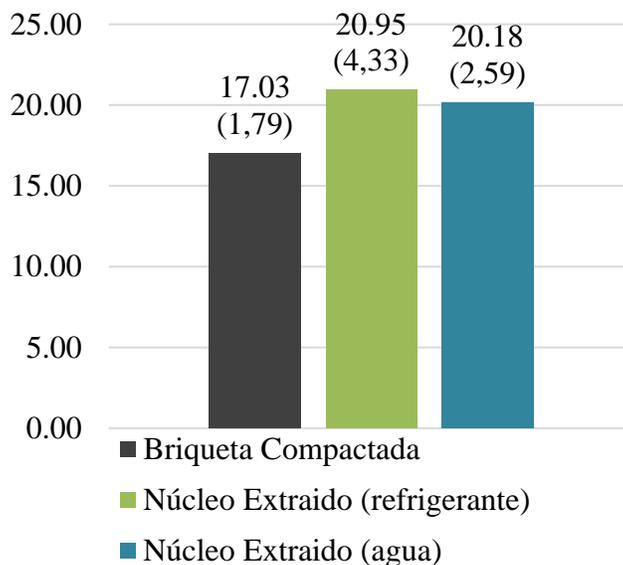
Por otra parte, el valor de flujo corresponde a la deformación total, que se produce en la muestra entre la descarga y el punto de carga máxima a lo largo de la prueba de estabilidad. Los resultados se muestran en la Figura 9 que se realiza con el equipo ya antes mencionado [2], [6].

Ensayo de Estabilidad (lbf)



a)

Ensayo de Flujo (0,01in)



b)

Figura 9. a) Valor medio del ensayo de Estabilidad, b) Valor medio del ensayo de Flujo

2.3.3. Ensayo Densidad Máxima Teórica “RICE”

Aplicando la norma ASTM D-2041[14] se procede a colocar las briquetas y los núcleos en el horno, con recipientes de metal en un lapso de tiempo de 24 horas a una temperatura de $45^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se procede a

la correcta disgregación de los especímenes, con el uso de la balanza electrónica se pesa 1500 gr del material. Colocamos en el recipiente plástico, con agua a temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$ a una cierta medida [12].

Se procede a colocar en la máquina de agitación mecánica de marca Control, conectada a la bomba de vacíos y compresor de aire, encendemos la maquina por el tiempo de 15min. Se procede a agita 2 a 4 veces la mezcla con la ayuda de un bastón plástico y así extrayendo el aire retenido.

Obteniendo la masa de las siguientes variables: masa de la muestra en el aire en gramos, masa de frasco + agua en gramos y a temperatura de 25°C y por último la masa de frasco + agua + muestras en gramos y a 25°C , como se muestra en la Figura 10, [12].

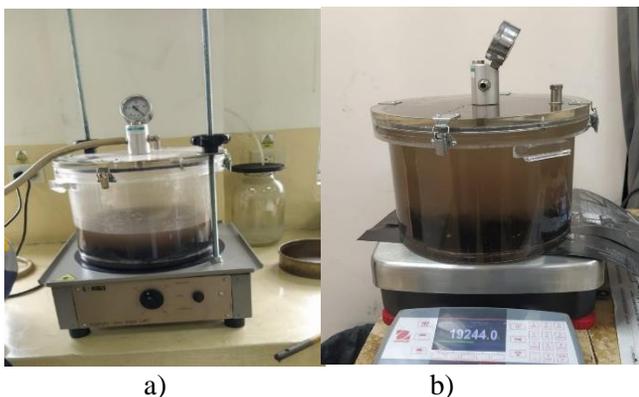


Figura 10. a) Extracción de vacíos de aire Ensayo RICE, b) Masa total de frasco+agua+muestra.

Se logra la media de los resultados de la densidad teórica máxima como se muestra en la Figura 11.

Densidad Teórica Máxima "Rice (g/cm³)"

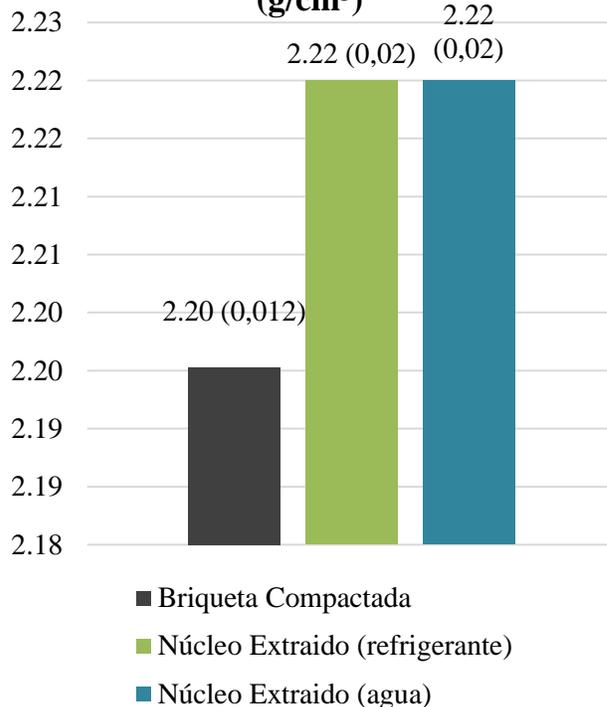


Figura 11. Valores medios del ensayo Rice

2.3.4. Análisis de densidad y vacíos

Al final de las pruebas de estabilidad y flujo, procedemos a los análisis de vacíos para cada conjunto de muestras obtenidas en cada abscisa del proyecto mencionado.

Basado en la normativa ASTM D-2041[14] la gravedad específica máxima teórica se determina para el porcentaje de vacíos de aire contenido y la mezcla de asfalto, preferentemente los que se acercan al contenido óptimo de asfalto [15], [6].

Usando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del agregado total en la mezcla, también el promedio de las gravedades específicas de las muestras compactadas; la gravedad específica (BULK) del asfalto y la gravedad específica máximo teórico (RICE) de las mezclas asfálticas.

Se procede al cálculo y sus resultados representados en la Tabla 1 siendo el porcentaje de volumen total en: volumen de agregado vs volumen

total (Vagre), porcentaje de vacíos de aire (Vv); porcentaje de vacíos llenados de asfalto (VFA%) y porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA%) [6], [16].

2.3.5. Evaluación de la pérdida de ligante asfáltico mediante el uso de Horno de Ignición

La norma AASHTO T-308[17] (Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method) determina el contenido de asfalto, que también se utiliza para mezcla de asfalto en frío con la que pueda evaluarse claramente, identificando el porcentaje de cemento asfáltico en frío por contacto del horno a una temperatura de 538°C.

En el ámbito de aplicación con respecto a la calidad de las muestras de pavimento, solo para determinar qué tan bien se ha descompuesto o degradado el asfalto mezclado en frío, este ensayo nos da una magnitud cuantitativa del ligante bituminoso presente en la muestra [17][12].

Se empieza por tener el material disgregado y pesando en la balanza electrónica la canasta que se introducirá dentro del horno ilustrada en la Figura 12 con el dato del peso de la canasta en gramos se coloca como dato técnico en el equipo de horno de ignición.

Posterior a este paso se coloca la muestra en la canasta con su respectiva bandeja de retención dispersándolo homogéneamente y se toma el peso de la canasta más los 2000gramos de mezcla con ayuda del horno de ignición a una temperatura de 538°C.

El ensayo procederá a realizarse automáticamente en un periodo estimado de 60 a 120 minutos por muestra colocada en el horno, posterior a que se termine el ensayo se imprime automáticamente los resultados del ensayo dándonos así un control de calidad, degradación de la mezcla y ligante asfáltico.

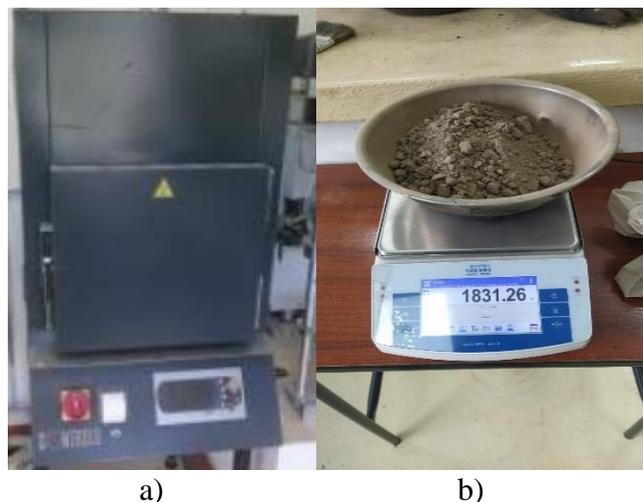


Figura 12. a) Ensayo Horno de ignición, b) Muestra posterior al ensayo.

Se debe tomar en cuenta los ajustes a el contenido de humedad, así como un factor de corrección. Por lo ya mencionado es indispensable que el equipo a usarse tenga programado los factores de corrección. Con una correcta calibración del mismo, como se muestra en la Figura 13 la media y su respectiva desviación estándar de resultados tras finalizar con el ensayo [12].

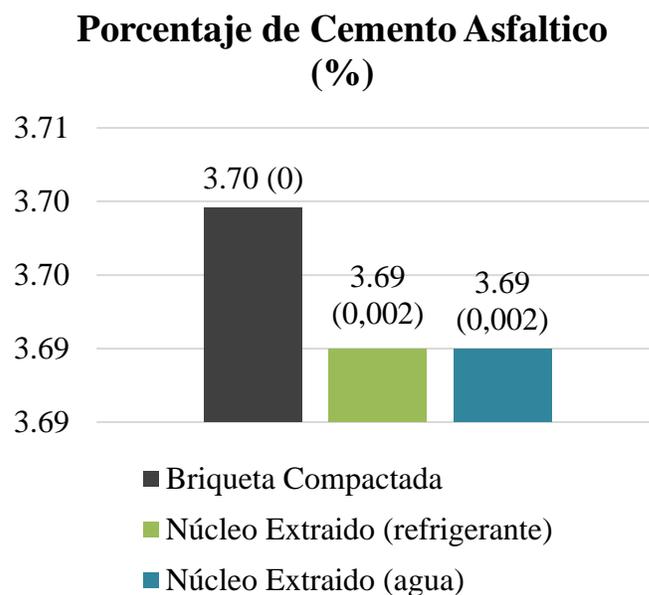


Figura 13. Valores medios de porcentaje asfáltico en los especímenes.

3. Análisis y Discusión

Los resultados de las muestras en briquetas y núcleos se resumen en la Tabla 1 como expresados en promedios y su coeficiente de variación. Obtenidas de los resultados de cada uno de los 60 especímenes ensayados. Siendo comparadas a través de análisis estadísticos para n elementos.

A fin de determinar si los resultados cumplen, se plantea encontrar un valor de correlación a través del análisis comparativo. Realizando prueba estadística

de Shapiro-Wilk para elementos $< a 50$ y Kolmogorov-Smirnova para elementos $> a 50$. Con estos dos procesos se evidenciará su significancia, con la que se procede a verificar si es una hipótesis nula: los datos se comportan como una distribución normal o alterna.

Para proceder con el análisis de métodos paramétrico y no paramétricos, siguiendo con una tendencia lineal según nos muestre los gráficos, verificando su consistencia de resultados

Tabla 1. Resumen de valores promedio de los ensayos propuestos.

| Ensayo | Estadístico Descriptivo | | |
|---|---|--------------------------------------|-----------------|
| | Briquetas compactadas manualmente in situ | Núcleos extraídos mediante taladrado | |
| | Media | Refrigerante | Agua |
| Densidad Bulk (g/cm^3) | 1,8604 (0,02) | 2,048 (0,01) | 2,048 (0,01) |
| Densidad Teórica Máxima "Rice" (g/cm^3) | 2,1953 (0,012) | 2,2216 (0,02) | 2,2216 (0,02) |
| Estabilidad (Ib) | 794,8247 (96,88) | 601,1536 (145,76) | 559,07 (91,66) |
| Flujo (0,01in) | 17,0346 (1,79) | 20,953 (4,33) | 20,184 (2,59) |
| Porcentaje Vacíos de Agregados Minerales (% VAM) | 20,22 (1,527) | 12,23 (0,696) | 12,23 (0,696) |
| Porcentaje Vacíos Llenos de Asfalto (% VFA) | 24,589 (1,701) | 36,019 (1,095) | 36,009 (1,012) |
| Porcentaje de Cemento Asfáltico con Horno de Ignición (%) | 3,6996 (0) | 3,68967 (0,002) | 3,68967 (0,002) |

Nota: Desviación Estándar en paréntesis

3.1. Prueba de hipótesis

La metodología a emplear a continuación son un referente a lo que se ha venido aplicando a todos los parámetros del método Marshall expuestos anteriormente. Porque se obtiene la misma tendencia y resultados similares para todos los parámetros de interés. Estas características se aplican a esta investigación en la que se realiza los respectivos ensayos a los especímenes extraídos en campo con el fin de identificar motivos y repercusiones en la pérdida de asfalto debido al uso de taladro en la extracción de núcleos de pavimento asfáltico [6].

3.1.1. Método de Shapiro Wilk

En el test de normalidad de Shapiro Wilk las hipótesis a contrastar serían, hipótesis nula: los datos se comportan como una distribución normal. Mientras que la alternativa, ha: los datos no se comportan como una normal. En los resultados de la Tabla 2 se observa significancia estadística para la estabilidad en briquetas, ya que su $p\text{-valor} > 0,05$. Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula, mientras que la estabilidad de núcleo no presenta una distribución normal, ya que su $p\text{-valor} < 0,05$. En conclusión, se aplicarán métodos paramétricos y no paramétricos para las diferencias en medias en la estabilidad. Las formas de ambas distribuciones se ilustran en las Figuras 10, 11, 14, 16 [5].

3.1.2. Histograma de resultados

Analizando los resultados de estabilidad, mediante el uso de histogramas representada en la Figura 10, para briquetas compactadas manualmente en sitio e Figura 11 núcleos extraídos mediante taladro.

Se observa una desviación estándar de 96,8786 y 145,759 cada uno. Obteniendo una frecuencia prevista para el parámetro de estabilidad. Los resultados alcanzados no son los adecuados para una distribución normal, datos obtenidos del método Shapiro Wilk por un software estadístico.

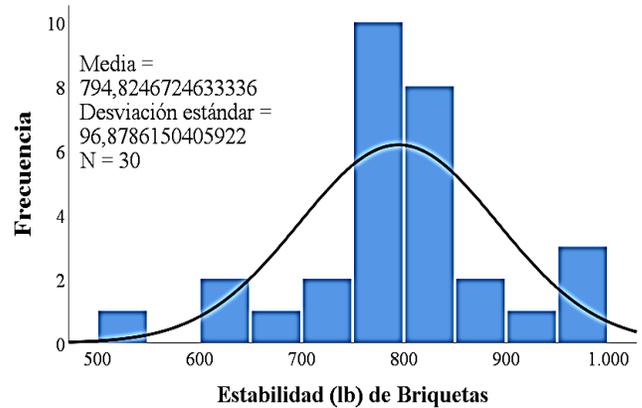


Figura 10. Histograma Estabilidad Briquetas

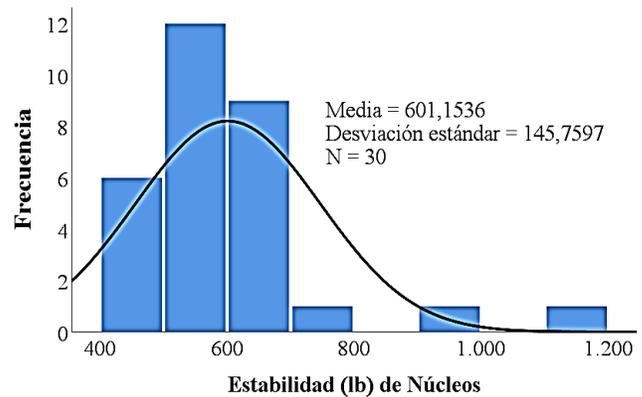


Figura 11. Histograma Estabilidad Núcleos

Tabla 2. Prueba de Normalidad

| Ensayos | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|--|---------------------------------|----|-------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Ensayo de Estabilidad (lb) de Briquetas Compactados Manualmente en In Situ | 0,145 | 30 | 0,110 | 0,950 | 30 | 0,169 |
| Ensayo de Estabilidad (lb) de Núcleos Extraídos mediante Taladro | 0,158 | 30 | 0,055 | 0,821 | 30 | 0,000 |

3.2. Coeficiente de correlación (R^2)

El coeficiente de determinación (R^2) nos indica que 0,03% indicando que existe una correlación lineal débil entre la estabilidad del núcleo extraído con taladro y briquetas compactadas in situ.

En base a los resultados obtenidos en el software estadístico, la Tabla 3 e Ilustración 12. Se puede señalar que el factor de corrección R^2 es inferior que 0,8, lo cual significa claramente una correlación “baja positiva”[18].

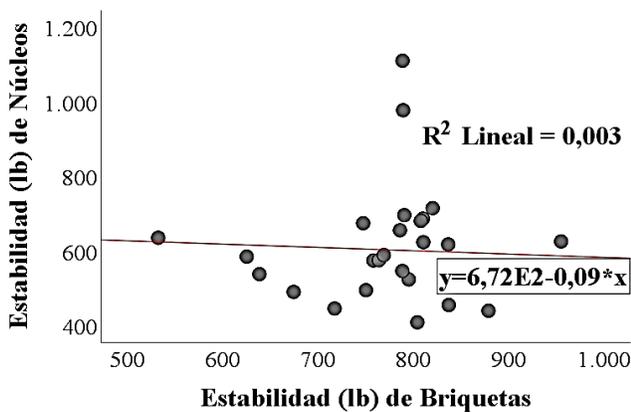


Figura 12. Estabilidad Briquetas vs Estabilidad Núcleos

3.3. Correlación ANOVA

Mientras tanto en la correlación de ANOVA tiende a un resultado, con valor significativo de 0.756 que es superior al 5%, como se indica la Tabla 4. Se establece que la correlación entre las propiedades Marshall está aprobada, para el análisis estadístico de las diferentes muestras tomadas en campo [19].

3.4. Correlación no paramétrica

En el test t-Sudent para diferenciar las medias se contrastan las hipótesis, nula h_0 : las variables tienen igualdad en medias y la alternativa, h_a : las medias son diferentes. En las Tablas 5 y 6 se muestran que existe significancia estadística $>0,05$, implicando un nivel de correlación positiva media, debido a la correlación estadística no significativa.

Como resultado de briquetas y núcleos que siguen una tendencia lineal positiva. Donde se

encuentra una desviación estándar elevada comparándoles entre las dos variantes como se muestra en la Figura 13, 14, 16. Por lo tanto, si se incrementan muestras a analizar, los resultados van a seguir persistiendo del mismo modo [19].

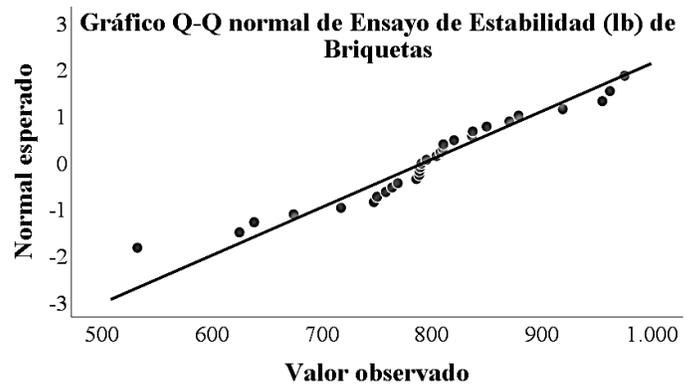


Figura 13. Tendencia de resultados Estabilidad Briquetas

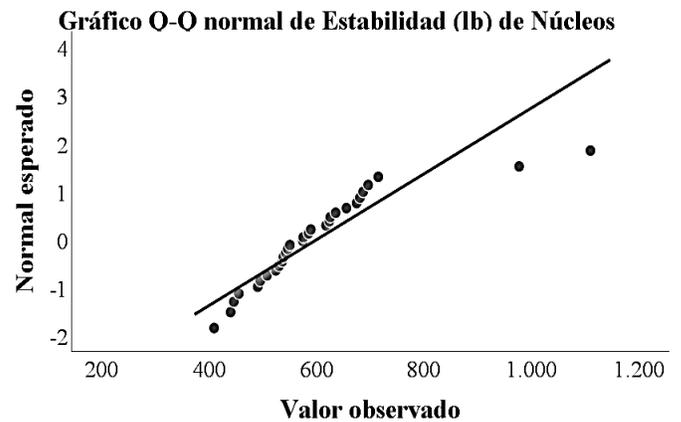


Figura 14. Tendencia de resultados Estabilidad Núcleos

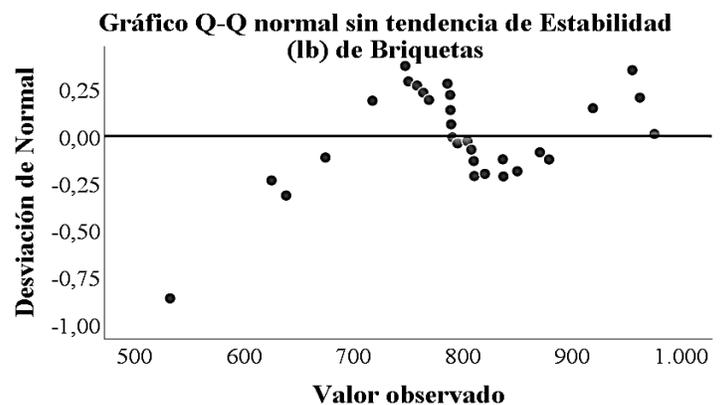


Figura 15. Desviación Estándar Estabilidad Briqueta

Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Estabilidad (Ib) de Núcleos

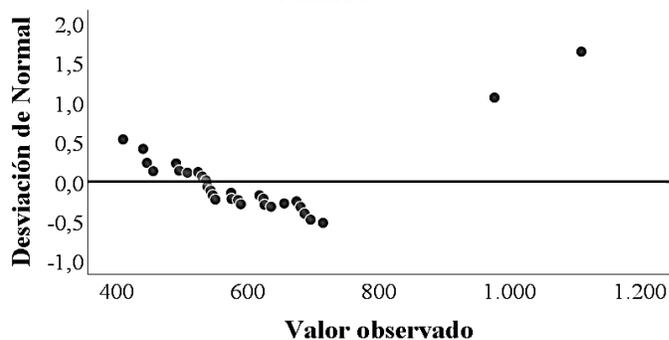


Figura 16. Desviación Estándar Estabilidad Núcleos

Tabla 3. Coeficiente de correlación R^2 de Estabilidad

| Resumen del modelo | | | | | |
|--------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------------------|---------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Durbin-Watson |
| 1 | 0,059 ^a | 0,003 | -0,032 | 148,080 | 2,057 |

Tabla 4. Correlación Método ANOVA de Estabilidad

| ANOVA ^a | | | | | | |
|--------------------|-----------|-------------------|----|------------------|------|-------------------|
| Modelo | | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 2152,107 | 1 | 2152,107 | ,098 | ,756 ^b |
| | Residuo | 613979,073 | 28 | 21927,824 | | |
| | Total | 616131,180 | 29 | | | |

Tabla 5. Coeficiente de Correlación no Paramétrica de Mediana Rango U-Mann-Whitney

| Rangos | | | | | |
|----------------------------|------------------------|-----------|----------------|----------------|--|
| | Grupos de Estabilidad | N | Rango promedio | Suma de rangos | |
| Ensayo de Estabilidad (Ib) | Estabilidad Briquetas | 30 | 42,23 | 1267,00 | |
| | Estabilidad en Núcleos | 30 | 18,77 | 563,00 | |
| | Total | 60 | | | |

Tabla 6. Coeficiente de Correlación no Paramétrica de Mediana Rango U-Mann-Whitney

| Estadísticos de prueba ^a | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| | Ensayo de Estabilidad (Ib) |
| U de Mann-Whitney | 98,00 |
| W de Wilcoxon | 563,00 |
| Z | -5,204 |
| Sig. asintótica(bilateral) | 0,068 |

Una vez determinada la consistencia de los resultados obtenidos mediante pruebas estadísticas, se observa que tiene un comportamiento normal.

Se puede resumir que las briquetas tienen una densidad Bulk menor con 10% de diferencia al de los núcleos extraídos mediante taladrado, lo que indica una correcta aplicación de mezcla asfáltica y compactación mecánica en sitio.

Con respecto a la Densidad Teórica Máxima, los datos obtenidos son aproximadamente parecidos, con un porcentaje del 2% de diferencia, de tal forma que el contenido asfáltico de los especímenes es relativamente aproximado.

En la comparación de resultados de estabilidad y flujo tanto para briquetas como núcleos, se llega a visualizar que el valor de estabilidad de la biqueta es mayor al núcleo a comparar, con una diferencia del 25%. Significando que las briquetas tienen una mayor capacidad de soporte de carga. Mientras tanto que el mayor flujo los núcleos con una diferencia del 19%, que se da la capacidad de soportar el asentamiento gradual, alterando la carpeta asfáltica sin agrietarla.

4. Conclusiones

Después de haber realiza una campaña experimental donde se ha comparado porcentaje de pérdida de ligante asfáltico, densidades, estabilidad y flujo, se puede concluir que:

Las briquetas compactadas manualmente presentaron un 3.70 % de asfalto, mientras que los núcleos extraídos un 3.697 %, esta diferencia representa el 0.003 %. Por lo tanto, se confirma que no existe pérdida de ligante asfáltico por el proceso de taladrado.

Cuando se realiza la comparación entra los núcleos extraídos, empleando el uso de refrigerante con anticongelante y agua a flujo constante respectivamente, se observa que no existe mayor

diferencia en sus propiedades como: densidad Rice y porcentaje de ligante asfáltico.

Con respecto a la densidad Bulk que se obtiene en núcleos extraídos es mayor con respecto a las briquetas con una diferencia de 9 %. Debido que, las briquetas fueron compactadas el mismo día de creación de la vía y los núcleos fueron extraídos después de 45 días, por esta razón los las briquetas tienen mayor estabilidad y los núcleos mayor flujo

En cuanto al análisis estadístico se determinó que tiende a una correlación baja, entre las briquetas compactadas manualmente y núcleos extraídos. Posiblemente a que existe la diferencia en la edad de los especímenes ya que los núcleos fueron extraídos a los 45 días posterior al compactado mecánico y al diferente proceso de curado que se dieron a los especímenes en laboratorio y campo.

Finalmente, a pesar que la norma indica que se espera 4 a 6 días, para la extracción de especímenes después del tendido del asfalto en la vía. Esto no aplica para nuestra mezcla en frío, porque se daría la disgregación del material al momento de proceder con la obtención del testigo, teniendo bajas características de resistencia para cumplir con los estándares de calidad.

Como futuras líneas de investigación se resumieron aspectos de suma importancia, para el desarrollo de posteriores trabajos de mutuo interés. Cada nuevo análisis que se produzca en un futuro, al utilizar emulsiones asfálticas para mezclas asfálticas en frío ya sean de curado (rápido, medio y lento), se implantará diversos procesos y soluciones en la fabricación de briquetas y el tiempo necesario para realizar extracciones de núcleo. En consecuencia, puede ser interesante explorar varias emulsiones asfálticas aparte de la desarrollada en el presente documento.

Referencias

- [1] M. de O. P. y C. MTOP, *Ministerio de Transporte y obras Publicas MTOP - 001-F 2002*, 1st ed. Quito, 2002.
- [2] ASTM D-1559, "Método De Ensayo Para Determinar Las Propiedades Marshall De Las Mezclas Asfálticas En Caliente (Compactadas)," Pensilvania, 2003.
- [3] M.-14 Asphalt Institute, *Asphalt Mix Manual series No. 14 (MS-14)*, Washintong DC: U.S. Library of Congress Catalog, 2000. [Online]. Available: <https://bit.ly/3RzHCgI>
- [4] E. Coloma and V. Tabango, "Aplicación Del Ensayo De Tracción Indirecta En Mezclas Asfálticas En Caliente Para El Control De Calidad En Carpetas Asfálticas En El Ecuador," Proyecto de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas, 2006. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/1751/T-ESPE-014963.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] C. Flores and M. Vásquez, "Relación De Las Propiedades Marshall De Estabilidad Y Flujo De Una Mezcla Asfáltica En Caliente, Durante Su Colocación Y Posterior A La Misma," Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, 2011. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/2330/1/tps630.pdf>
- [6] J. Maldonado and J. Pozo, "Comparación entre parámetros marshall de mezclas asfálticas en caliente," Universidad Politécnica Salesiana. QUITO, Ecuador. 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21562/1/UPS - TTS577.pdf>
- [7] E. Salinas, "Evaluación Funcional Y Estructural Del Pavimento De La Vía Manuelita Saenz Desde La Intersección Con La Av. Quiz Quiz Hasta La Intersección Con La Av. José Peralta.," Proyecto de titulación, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, Sep. 2019. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30410/1/Tesis I. C. 1350 - Salinas Villegas Edison Xavier.pdf>
- [8] AASHTO T230-68, "Determining Degree of Pavement Compaction of Bituminous Mixtures," 2012.
- [9] H. Flores, "Hormigones de Alta Resistencia ($f'c=53\text{MPa}$) Utilizando Agregados del Sector de Pifo y Cemento Armaduro Especial - Lafarge," Proyecto de titulación, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Ago. 2014.
- [10] Instituto Nacional de Vias, "Extracción De Testigos De Pavimentos Asfálticos," 2012.
- [11] ASTM D-2726, "Gravedad y densidad específicas a granel de mezclas bituminosas compactadas no absorbentes.," Pensilvania, 2005.
- [12] M. Córdova and C. Cornejo, "manual de laboratorio para los ensayos de vías y pavimentos de la universidad politécnica salesiana parte i," Proyecto de titulación, Uiversidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Ago. Universidad Politécnica Salesiana, Oct, 2019. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [13] ASTM D-6927, "Método De Prueba estándar Para Estabilidad Marshall Y Flujo De Mezclas De Asfalto.," Pensilvania, 2015.
- [14] ASTM D-2041, "Método estándar de prueba para Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.," Pensilvania, 2005.

- [15] M. Jiménez and F. Elizondo, “Método de reducción de muestra para ensayos de laboratorio en mezcla asfáltica en caliente,” LanammeUCR, Costa Rica 2014.
- [16] A. Ulloa Calderón, “Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico,” *Métodos y Mater.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2011, doi: 10.15517/mym.v1i1.8393.
- [17] I. AASHTO T 308, “Determining the Asphalt Binder Content of Asphalt Mixtures by the Ignition Method,” Washintong DC, 2022. [O
- [18] B. Álvarez and S. Guachamín, “Correlación Entre Resistencia A La Tracción Indirecta Y La Resistencia Climática (Absorción De Agua) En Adoquines De Hormigón En La Ciudad De Quito.,” Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Nov. 2020.
- [19] J. Corzo, "Estadística no paramétrica Métodos basados en rangos," 1da ed., vol. 1, Ed. Departamento de Estadística, Colombia, 2005, pp. 7–82. [Online]. Available: <https://bit.ly/40zx7hK>