



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

métodos &
materiales



Comparación de los métodos de contenido de asfalto de mezcla asfáltica en caliente.

COMPARISON OF ASPHALT CONTENT METHODS OF HOT ASPHALT MIX.

Ing. Octavio Loayza León MSc.

LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
octavio.loayzaleon@ucr.ac.cr

Quím. Jorge Salazar Delgado

LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
cindy.zuniga@ucr.ac.cr

Ing. Ellen Rodríguez Castro

LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
ellen.rodriguez@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 24 AGOSTO 2017 / **Fecha de aprobación:** 20 OCTUBRE 2017

Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

REDIB

Dialnet

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales

lanamme.ucr.ac.cr

metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr

Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo:
Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0
Internacional. ISSN impreso: 2215-342X. ISSN electrónico: 2215-4558

Comparación de los métodos de contenido de asfalto de mezcla asfáltica en caliente.

COMPARISON OF ASPHALT CONTENT METHODS OF HOT ASPHALT MIX.

Ing. Octavio Loayza León MSc.

LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
octavio.loayzaleon@ucr.ac.cr

Ing. Ellen Rodríguez Castro

LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
ellen.rodriguez@ucr.ac.cr

Quím. Jorge Salazar Delgado

LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
cindy.zuniga@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 24 AGOSTO 2017 / **Fecha de aprobación:** 20 OCTUBRE 2017

RESUMEN

La composición de la mezcla asfáltica en caliente que se utiliza en la construcción de pavimentos se define de acuerdo con un diseño elaborado conforme las necesidades del proyecto en el que va a ser utilizada. Como el asfalto es el material aglutinante que provee la cohesión y adhesión, es importante cuantificar si la mezcla producida contiene la cantidad establecida en el diseño de mezcla, por eso es que se han desarrollado distintos ensayos para determinar el contenido de asfalto. El objetivo de los métodos de ensayos es el mismo pero existen dudas sobre la exactitud de algunos de ellos, y especialmente, de la correlación entre ellos. Este estudio pretende ofrecer resultados de una mezcla asfáltica elaborada en una planta de producción, analizada utilizando los distintos métodos y equipos para compararlos con los datos de producción y determinar la precisión y exactitud de cada procedimiento.

Los resultados demuestran que los métodos de incineración por horno de resistencias e infrarrojo, así como el método de extracción con solventes usando centrifuga no presentan diferencias estadísticas significativas, lo cual no sucede con el método de extracción con solventes mediante sistema de reflujo. Este último, a pesar de ser el que presenta menor variabilidad, es también el que más se aleja del contenido de asfalto de diseño. No obstante, los cuatro métodos estudiados se encuentran dentro de la tolerancia permitida por la normativa nacional con respecto al contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla.

Como algunos laboratorios utilizan el método de extracción con gasolina como solvente en lugar de tricloroetileno grado ACS, se realiza la extracción usando ambos solventes para determinar si el solvente es confiable usar gasolina, pero se descarta, pues no produce resultados estadísticamente comparables con el método al utilizar tricloroetileno ACS.

PALABRAS CLAVE: Contenido de asfalto, métodos de contenido de asfalto, extracción con reflujo, extracción con centrifuga, incineración en horno infrarrojo, incineración en horno resistencias.

ABSTRACT

The composition of the hot asphalt mixture used for pavements is defined according to a design that try to meet the performance according the project in which it is to be used. Since asphalt is the binding material that provides cohesion and adhesion to the mixture, it is important to be able to quantify if the mixture produced contains the amount of asphalt established in the mix design, for that different tests have been developed to determine the content of asphalt. Although the purpose of the test methods is the same, there are doubts about the accuracy of some of them, and especially about the correlation between test procedures. This study aims to provide real results of an asphalt mix produced in a production plant, which is analyzed using the different methods and equipment to compare them with the production data and thus determine the precision and accuracy of each procedure.

The results show that the methods of incineration by resistance furnace, incineration in the infrared furnace and the solvent extraction method using centrifuge do not present significant statistical differences, which is not the case with the solvent extraction method using a reflux system. The latter, despite being the one with the lowest variability, is also the most distant from the design asphalt content. However, the four methods studied are within the tolerance allowed by national regulations with respect to the asphalt content established in the blend design.

In addition, as some laboratories use the gasoline extraction method as solvent instead of ACS grade trichlorethylene, the extraction test is performed using both solvents to determine whether the result with the alternative solvent is reliable. The results obtained discard it as solvent, as it does not produce statistically comparable results with the method when using trichlorethylene.

KEYWORDS: Asphalt content, asphalt content methods, reflux solvent extraction, centrifugal solvent extraction, incineration on resistance furnace, Incineration through infrared oven.

1. INTRODUCCION

Costa Rica tiene más de 5 000 km de carreteras pavimentadas con concreto asfáltico (Barrantes-Jiménez, Sanabria-Sandino, & Loria-Salazar, 2015), lo cual implica la necesidad de producir grandes cantidades de mezcla asfáltica para la construcción y el mantenimiento de la red vial. Esta mezcla por supuesto, debe responder a un diseño que asegure el desempeño adecuado en cada uno de los proyectos, de acuerdo con las variables de carga, volumen de tránsito y condiciones medioambientales.

El diseño de la mezcla asfáltica pretende predecir el comportamiento que el pavimento debe presentar para maximizar su vida útil. Este define las características granulométricas y las proporciones de agregado y de asfalto deseables para el proyecto. El aumento del contenido del asfalto incrementa la susceptibilidad a la deformación permanente pero a su vez reduce la susceptibilidad a la fatiga. (Abdo & Jung2, 2016)

La mezcla asfáltica típica utilizada en Costa Rica generalmente está constituida de 93 % á 95 % de agregado pétreo y entre un 5 % y 7 % de asfalto (Cervantes-Calvo, Fonseca-Chaves, Sequeira-Rojas, & Loria-Salazar, 2014). Para comprobar esta composición existen varios métodos que se pueden agrupar en métodos que permiten la recuperación del asfalto (ASTM D 2172) y los que no (ASTM D 6307).

El primer ensayo denominado “Método estándar para la extracción cuantitativa de materiales bituminosos en mezcla de pavimento asfáltico”, ASTM D 2172 (ASTM D 2172, 2011). Este método considera dos procedimientos, uno mediante centrífuga y el otro mediante reflujo. En ambos casos se utilizan solventes tales como cloruro de metileno, tricloroetileno o tricloroetano, para separar el agregado del asfalto. Los solventes compuestos orgánicos volátiles que se sabe son dañinos para la salud y el ambiente. (Black, 1994)

Los métodos de extracción se desarrollaron hace muchos años, desde entonces se detectó que los solventes además de separar el asfalto del agregado, también arrastraban agua y minerales del agregado, que se estiman mediante pruebas adicionales para corregir el contenido de asfalto, lo cual hace que el ensayo tarde muchas horas. (Patel, 1974)

Para contrarrestar el tiempo de ensayo el Centro Nacional para Tecnología del Asfalto (NCAT, por sus siglas en inglés) desarrolló en 1994 el método de ignición como resultado de 25 años de investigación. Este método reduce el tiempo de separación y los resultados obtenidos demostraron que era un método confiable (NCAT, 1995). El estudio compara

distintas mezclas y define una temperatura de ignición de 538 °C a una muestra de 600 g. (Brown, Murphy, Yu, & Mager, 1995). Se realizaron ajustes al método para establecer la necesidad de factores de corrección por humedad y por el diseño (Reyes, MacKean, & Aschenbrener, 1996).

Con el tiempo se desarrollaron otras tecnologías para la ignición. Una de ellas es el uso de radiación infrarroja para la incineración de la muestra. La técnica conserva los factores de corrección con contenido de agua y por agregado mineral, pero se ajustan algunas condiciones del ensayo. Los resultados obtenidos son similares, siempre que el factor de corrección por agregado mineral se calcule con el horno con el cual se va a ensayar la muestra. Incluso la variabilidad del horno de ignición infrarrojo es menor como lo han demostrado algunos estudios (Hurley & Prowell, 2003)

El contenido de asfalto por ignición con los tipos de hornos mencionados se estandariza mediante la norma ASTM D 6307 “Método estándar para el contenido de material bituminoso en una mezcla asfáltica por el método de ignición” (ASTM D 6307, 2010).

Debido a la cantidad de métodos disponibles se han elaborado estudios para determinar cuál es el más preciso. Algunos toman las muestras en los proyectos y los resultados dependen del tipo de agregados, por lo que con agregados dolomíticos las muestras analizadas con ignición reportan mayores resultados que al usar los métodos de extracción pero con agregados de granito sucede lo contrario. (Vorobjovas, Vaitkus, Laurinavicius, & Cygas, 2007)

El NCAT ha comparado muestras elaboradas en el laboratorio usando los distintos métodos obteniendo buena correlación entre ellos y baja variabilidad. (Brown & Mager, 1995). Como se mencionó antes, los materiales también influyen en los resultados por lo que no es importante evaluar los métodos con los materiales del país, especialmente si los resultados se van a usar para aceptación o rechazo de producto.

En el año 2003 se hizo en el LanammeUCR un estudio comparativo con muestras elaboradas en el laboratorio. En Este caso además de identificar el efecto de las distintas fuentes del agregado también se determina que existe diferencia entre los métodos, especialmente al usar la extracción por centrífuga y al igual que en estudios anteriores el método de ignición usando radiación infrarroja es la que produce menor variabilidad. (Castro, 2003)

Pero el objetivo de los ensayos de contenido de asfalto no es solo evaluar la mezcla asfáltica elaborada en el laboratorio ni demostrar que se obtienen resultados estadísticamente

comparables entre métodos al analizar muestras de mezcla obtenidos en campo, el objetivo de la mayoría de los ensayos es el control de calidad del proceso productivos. Por este motivo en este estudio se utiliza mezcla asfáltica proveniente de una planta de producción.

Para incinerar la mezcla asfáltica se utilizan el horno de resistencias (Ver Figura 1a) y el horno de radiación infrarroja (Ver Figura 1b).

En cuanto a los métodos de extracción con solventes se aplica reflujo (Ver Figura 2a) y la centrifugación (Ver Figura 2b).



(a)



(b)

Figura 1. Equipo utilizado para la incineración de la mezcla asfáltica por medio de horno de a) resistencias y b) radiación infrarroja.



(a)



(b)

Figura 2. Equipo utilizado para la extracción de asfalto de la mezcla asfáltica por medio de solventes usando el método de a) reflujo y b) centrifuga.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Comparar los resultados de contenido de asfalto obtenido al aplicar métodos de extracción con solventes y los métodos de ignición utilizando un horno de resistencias y un horno con tecnología de infrarrojo en mezcla asfáltica de planta.

2.2. Objetivos Específicos

- Utilizar una muestra de mezcla asfáltica de composición conocida para determinar si los métodos de cuantificación del contenido de asfalto son equivalentes o si no existe diferencia significativa entre los datos que se obtienen.
- Determinar si los métodos de extracción mediante incineración son equivalentes entre sí.
- Determinar si los métodos de extracción mediante solventes son equivalentes entre sí.
- Indagar si el uso de tricloroetileno ACS en el método de reflujo es equivalente a utilizar gasolina comercial como solvente.

3. METODOLOGÍA

Para asegurar la homogeneidad de la muestra se tomaron aproximadamente 500 kg de mezcla asfáltica de una planta de producción, conociendo los datos del diseño de mezcla y la fórmula de trabajo del día. Adicionalmente se tomó una muestra de los agregados y del asfalto utilizado para replicar el diseño de mezcla y estimar la corrección por agregado mineral que se debe aplicar en los métodos de incineración. (Ver Tabla 1)

La muestra de mezcla asfáltica se recolectó en cajas que se numeraron del 1 al 25. Para seleccionar las nueve cajas que serían analizadas por cada uno de los cuatro métodos se utilizó un método aleatorio.

De estas mismas cajas se seleccionaron cinco muestras para determinar el contenido de agua. Se hace la suposición de que el valor promedio de contenido de agua estimado es igual para todas las muestras. De igual manera se hace con el ensayo de porcentaje de cenizas para cada método

de extracción por solvente. Es solvente utilizado en ambos casos fue tricloroetileno ACS¹.

El factor de corrección por agregado mineral para los métodos de ignición, se calculó para cada uno de los hornos replicando el diseño de mezcla y usando el agregado y el asfalto obtenido de la planta de producción.

Para comparar los resultados de los ensayos se utiliza la fórmula de trabajo del día del muestreo. La fórmula de trabajo corresponde a la proporción de materiales que se utilizan en la planta de producción durante la elaboración de la mezcla asfáltica y es, por consiguiente, la referencia teórica del contenido de asfalto que se utiliza como base. La fórmula de trabajo se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporción de materiales usada en la planta de producción durante el día del muestreo	
Fórmula de trabajo del día de muestreo	
Polvo de piedra	57 %
Piedra quinta	43 %
Contenido asfalto	
Porcentaje total sobre mezcla (PTM)	6,15 %
Porcentaje total sobre agregado (PTA)	6,53 %

Para obtener el contenido de asfalto se realizan los ensayos de acuerdo con los procedimientos establecidos en el LanammeUCR, basados en la normativa ASTM. En la Tabla 2 se comparan los métodos para observar con mayor claridad la similitud y las diferencias, así como los factores de corrección que se deben aplicar.

Los resultados que se obtienen con cada método se corrigen siguiendo los parámetros establecidos en la normativa para determinar el contenido de asfalto que se compara con el establecido en la fórmula de trabajo.

Se supone que el proceso de producción es homogéneo durante la producción de la muestra tomada en planta.

¹ ACS: Sociedad Química Americana. Se refiere a los reactivos clasificados como grado análisis, que indica la idoneidad de su uso para la aplicación en cuestión

Tabla 2. Resumen de métodos de cuantificación de contenido de asfalto.

Característica	Método		
	Centrífuga	Reflujo	Ignición
Norma de referencia	ASTM D 2172 Método A	ASTM D 2172 Método B	ASTM D 6307
Alcance	Determinación del contenido de asfalto y obtención del agregado. Permite la recuperación del asfalto.	Determinación del contenido de asfalto y obtención del agregado. Permite la recuperación del asfalto.	Determinación del contenido de asfalto y obtención del agregado.
Procedimiento	El solvente se pone en contacto con la mezcla asfáltica en una centrífuga y se lava el asfalto del agregado de forma sucesiva.	El solvente se pone en contacto con la mezcla asfáltica mediante recirculación hasta extraer el asfalto.	Se incinera el asfalto de la mezcla asfáltica a altas temperaturas.
Factores de corrección	Por contenido de agua y cenizas.	Por contenido de agua y cenizas.	Por contenido de agua y factor de corrección por agregado mineral.

4. RESULTADOS

Los resultados del contenido de asfalto corregidos para cada método se presentan en la Tabla 3. Se reporta el porcentaje de asfalto sobre la mezcla (PTM) y considera la corrección correspondiente para cada método, según se indicó en la Tabla 2.

Para la extracción del asfalto con solvente se utiliza tricloroetileno ACS en los dos métodos. Para los métodos de ignición se usan las abreviaturas HMI-Ig y HMI-NTO, para el horno de resistencias y para el horno infrarrojo, respectivamente.

Tabla 3. Resultados de contenido de asfalto obtenido con cada método

Método	Métodos de extracción con solvente (Tricloroetileno)		Ignición en horno	
	Centrífuga	Reflujo	Resistencias (HMI-Ig)	Infrarrojo (HMI-NTO)
Muestra	PTM ¹ (%)			
1	5,811	5,802	5,863	5,911
2	6,089	5,863	5,981	6,116
3	6,064	6,102	5,762	5,995
4	6,063	5,852	5,963	6,115
5	6,250	5,873	6,004	6,293
6	6,004	5,955	6,122	6,050
7	6,124	5,963	5,927	6,136
8	5,981	5,838	6,214	5,834
9	6,407	5,878	5,867	6,072
Promedio	6,09	5,90	5,93	6,06
Desviación estándar	0,17	0,09	0,14	0,13

¹PTM: Porcentaje de asfalto calculado con base en la masa de sobre la mezcla

En la Figura 3 se puede observar que el promedio de los resultados para los diferentes métodos de contenido de asfalto. Se utiliza como valor de referencia el contenido de asfalto establecido en la fórmula de trabajo, suponiendo que el proceso productivo es homogéneo.

La mayoría de los resultados están cercanos al valor de la fórmula de trabajo diseño pero son inferiores a él.

En la Figura 4 se muestra la dispersión de los resultados. Se observa que el método que tiene menor dispersión es el de reflujo, lo cual se evidencia numéricamente por el resultado de la desviación estándar que se reporta en la Tabla 3, sin embargo la mayoría de los resultados están alejados del valor de contenido de asfalto establecido como verdadero

de 6,15 %. Lo que implica que es un método preciso pero poco exacto.

El promedio con más cercano al valor de asfalto del diseño es el obtenido por el método de extracción por centrifuga, pero también es el que tiene una desviación estándar mayor.

La variabilidad de los métodos de ignición es similar, tal como se observa en la Tabla 3 al comparar la desviación estándar, independientemente si se utiliza un horno de resistencias (HMI-Ig) o un horno infrarrojo (HMI-NTO).

La Figura 4 muestra que el método con mayor dispersión es el de extracción con centrifuga, pero el promedio el que más se acerca al valor de referencia de producción.

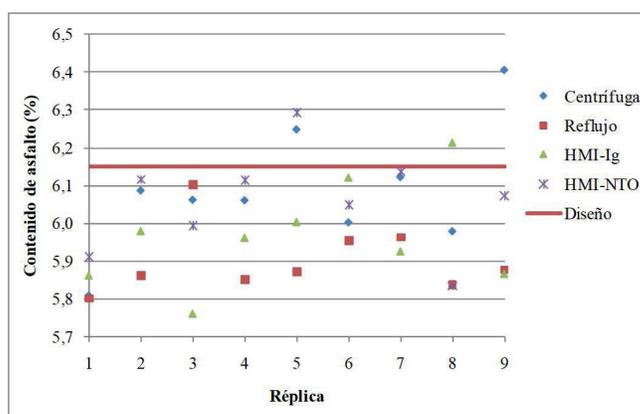


Figura 3. Contenido de asfalto obtenido para cada método.

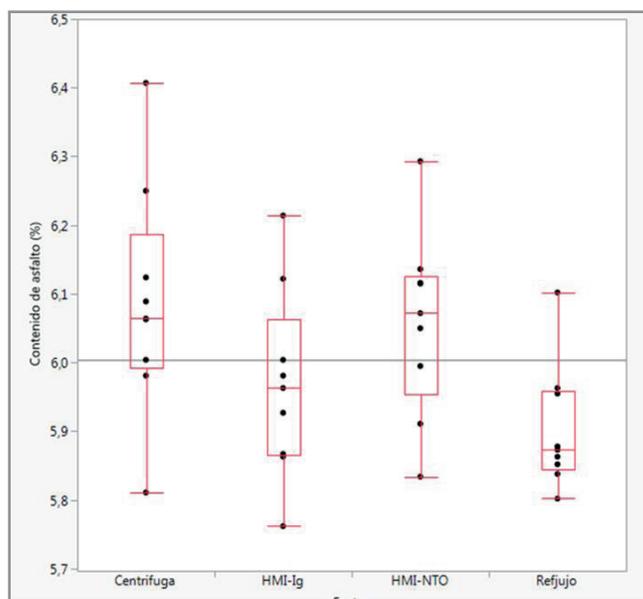


Figura 4. Contenido de asfalto obtenido para cada método.

A pesar de la variabilidad detectada, no es posible afirmar si los métodos tienen una diferencia significativa entre sí y con respecto al valor de referencia que se establece en la Tabla 1.

Para identificar si existe o no diferencia estadísticamente significativa entre los métodos se realiza un análisis de varianza de un factor. Esto permite comparar los resultados y establecer cuáles métodos se pueden utilizar indistintamente sin dudar de los resultados.

Para realizar el análisis se establecen las siguientes hipótesis:

H_0 = Todos los métodos tienen medias iguales para el contenido de asfalto

H_1 = En al menos un método, la media de contenido de asfalto es distinta

Para aplicar el análisis de varianza basado en la prueba F (ANOVA), se define un nivel de confianza del 95 %. Se calcula el valor del cociente Fisher o razón F, el cual se compara con el valor tabulado para determinar si existen o no diferencias significativas entre los métodos, es decir si es posible o no afirmar que los métodos producen el mismo resultado. Los resultados de la prueba F se muestran en la Tabla 4.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Valor p
Factor	3	0,194	0,065	3,531	0,026
Error	32	0,587	0,018		
C. Total	35	0,781			

Según la Tabla de Distribución F (Mora Valverde, 2008) el valor del cociente Fisher tabulado o F crítico para un nivel de confianza del 95 % para los grados de libertad del estudio ($F_{3,32,0,05}$) es de 2,94. Como el valor calculado es mayor al F crítico como el valor de la probabilidad es menor a al 0,05 % (establecido con el nivel de confianza del 95 %) no se acepta la hipótesis nula y se concluye que por lo menos uno de los métodos tiene una media estadísticamente distinta.

Para establecer cuál es el método estadísticamente diferente a los otros se aplica la prueba HDS de Tukey que permite comparar los distintos pares de medias para detectar el procedimiento que presenta la media estadísticamente distinta. Se establece nuevamente un $\alpha = 5 \%$, con lo que se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 5.

Método	Centrífuga	Reflujo	HMI-Ig	HMI-NTO
Centrífuga	-	0,185	0,162	0,030
Reflujo	0,185	-	0,024	0,155
HMI-Ig	0,162	0,024	-	0,132
HMI-NTO	0,030	0,155	0,132	-
HSD	0,173			

El valor crítico para esta prueba de Tukey, $_{0,95}q_{3,32}$, es de 0,173 y según los resultados obtenidos se puede afirmar que con un 95 % de confianza que la diferencia significativa la originan el promedio que se reporta con los métodos de centrífuga y reflujo, lo cual confirma los resultados que se observan gráficamente con la Figura 4, pues son los promedios mayor y menor, respectivamente.

La comparación por pares los métodos de centrífuga, ignición con resistencias e ignición por radiación infrarroja no demuestran ser estadísticamente distintos.

Como el objetivo principal de los métodos es verificar los parámetros establecidos para la producción de mezcla asfáltica como parte del control de calidad que debe realizar cualquier proceso productivo. Para realizar este análisis se supone que la planta produce la mezcla asfáltica de manera homogénea durante todo el periodo de fabricación. Para el análisis se establece que el valor de contenido de asfalto de la fórmula de trabajo.

Para hacer este análisis se aplica la prueba de Dunnett con un nivel de confianza del 95 %, que tiene un valor crítico de Dunnett ($d_{0,05,3,32}$) de 2,31. Con este valor se estima el criterio de Dunnett que es de 0,1461.

En la Tabla 6 se compara las diferencias para determinar cuál diferencia es significativa, con respecto al contenido de asfalto de la fórmula de trabajo.

Tratamiento	Promedio (%)	Valor de la diferencia	Resultado
Fórmula de trabajo	6,15		
Centrífuga	6,09	0,06	No significativa
Reflujo	5,90	0,25	Significativa
HMI-Ig	5,93	0,22	Significativa
HMI-NTO	6,06	0,09	No significativa

Según los resultados hay dos métodos que podrían considerarse estadísticamente diferentes al valor definido en la fórmula de trabajo: el de reflujo y el de ignición mediante horno de resistencias.

Es importante recordar la suposición de que el proceso productivo es homogéneo, lo que implica que el valor establecido de la fórmula de trabajo es real, sin embargo el 89 % de los datos está por debajo de este valor.

Como estudio adicional, se aplica el procedimiento de reflujo usando gasolina como solvente. Se realiza este análisis debido a que la gasolina es comúnmente utilizada ya que es más fácil de adquirir, a un menor costo y es menos riesgoso para la salud humana que el tricloroetileno ACS o cualquiera de los otros solventes que recomienda la norma ASTM D 2172.

Para la corrección del contenido de asfalto se que usan los mismos valores de ceniza y de contenido de agua aplicadas a las muestras de reflujo usando tricloroetileno ACS.

En la Figura 5, se observa la diferencia que existe entre los resultados promedio, es evidente que el promedio obtenido al usar la gasolina como solvente es sensiblemente menor, incluso se aleja en más del 1 % con respecto al valor establecido en el diseño de mezcla.

En la Figura 6, se muestran los resultados obtenidos para cada espécimen medido. Se observa que todos los valores que se reportan usando como solvente gasolina, son menores a los obtenidos con tricloroetileno ACS como solvente.

Para corroborar que existe diferencia estadística se efectuó un análisis de varianza con un nivel de confianza de 95 %. En este caso el valor de $F_{1,12,0,05}$ es de 4,75. Como se muestra en la Tabla 7 que se puede afirmar que las medias son estadísticamente distintas, es decir el uso de gasolina como solvente no es recomendable para la aplicación del métodos.

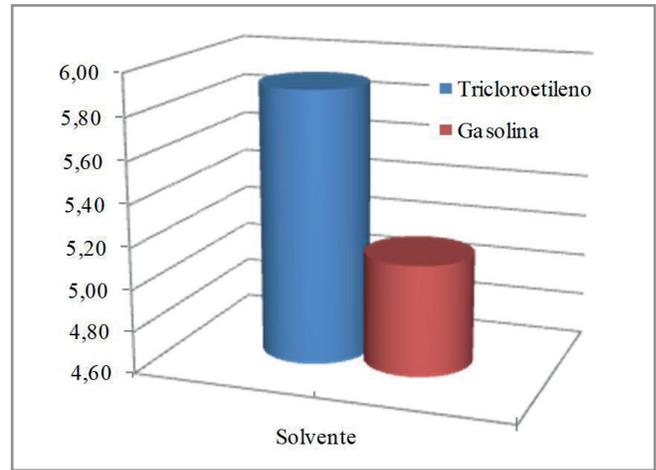


Figura 5. Contenido de asfalto obtenido con el método de reflujo utilizando como solvente tricloroetileno ACS y gasolina comercial

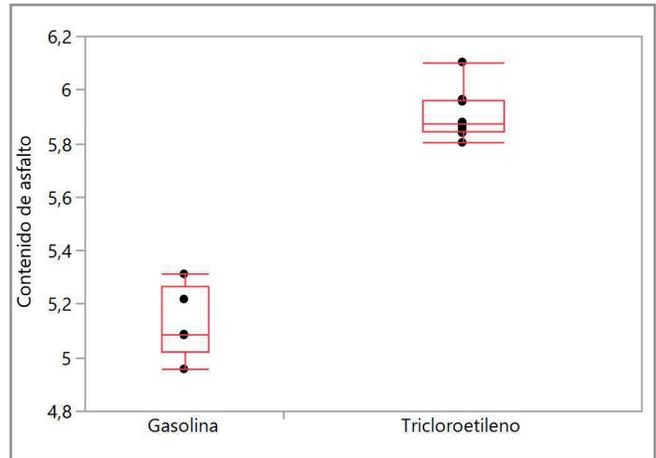


Figura 6. Contenido de asfalto obtenido con el método de reflujo utilizando como solvente tricloroetileno ACS y gasolina comercial

Tabla 7. Análisis de varianza comparando método de reflujo usando como solventes tricloroetileno ACS y gasolina					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Valor p
Factor	1	1,9170968	1,91710	163,3819	<0,0001
Error	12	0,1408061	0,01173		
C. Total	13	2,0579029			

5. CONCLUSIONES

1. El 89 % de los resultados de contenido de asfalto obtenidos con los diferentes métodos presentan valores menores al contenido de asfalto de diseño de 6,15 % (ver Figura 3).
2. Según los estimadores estadísticos, el método que tiene menor variabilidad es el de extracción mediante reflujo y el que presenta mayor variabilidad es el de extracción con centrífuga. (Ver Tabla 3)
3. De acuerdo con el análisis estadístico utilizado para comparar los métodos de concluye que, por lo menos uno de los métodos tiene un comportamiento estadísticamente distinto. Mediante la prueba de Turkey se determina que el método estadísticamente distinto corresponde al de extracción por reflujo al compararlo con el método de extracción con centrífuga. Los otros métodos no son estadísticamente distintos.
4. Al comparar estadísticamente cada método con el valor establecido en la fórmula de trabajo resulta en que en los métodos de reflujo y el de ignición mediante resistencias reflejan que no son estadísticamente comparables con el contenido de asfalto de la fórmula de trabajo. Para este análisis se supone que el proceso productivo es homogéneo.
5. Al analizar los métodos de extracción por reflujo usando como solvente gasolina se demuestra que existe una diferencia estadísticamente significativa con respecto al mismo método cuando se utiliza tricloroetileno ACS como solvente.

6. RECOMENDACIONES

1. Para poder determinar si los métodos representan un medio confiable de control de calidad de la planta productiva, se recomienda tomar muestras en distintos momentos de la producción para establecer la homogeneidad.
2. Para establecer si las diferencias estadísticamente identificadas en los métodos tienen efecto sobre la mezcla producida, se recomienda determinar el contenido de asfalto que genera cambios en otros parámetros de control de la mezcla asfáltica.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abdo, A. M., & Jung2, S. J. (2016). Effects of Asphalt Mix Design Properties on Pavement Performance: A Mechanistic Approach. *Advances in Civil Engineering* , 2016, 7.
- ASTM. (2010). *Standard method for asphalt content of hot mix asphalt by ignition methods*. ASTM 6307. Pensilvania: ASTM International.
- ASTM. (2011). *Standard test methods for quantitative extraction of bitumen from bituminous paving mixtures*. ASTM D 2172. Pensilvania: ASTM International.
- Barrantes-Jiménez, R., Sanabria-Sandino, J., & Loria-Salazar, L. (2015). *Informe de evaluación de la red vial nacional pavimentada Año 2014-2015. Informe de evaluación bianual*. San José : Universidad de Costa Rica.
- Black, K. (1994). *Materials Notebook*. Retrieved Octubre 26, 2017, from Chapter 4 VI - The Nuclear Asphalt Content Gauge for Measuring Asphalt Content in Mixes: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/materials/matnote46.cfm>
- Brown, E. R., Murphy, N. E., Yu, L., & Mager, S. (1995). *Historical development of asphalt content determination by the ignition method*. Reporte 95-02. Auburn University, NCAT.
- Brown, E., & Mager, S. (1995). *Asphalt Content by Ignition Round Robin Study*. Report No. 95-3. Auburn University, NCAT.
- Castro, P. (2003). Evaluación estadística de métodos para determinar el contenido de asfalto y la granulometría de mezclas asfálticas. *Infraestructura Vial* , 5 (3), 19-25.
- Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., Sequeira-Rojas, W., & Loria-Salazar, L. G. (2014). *Evaluación de la mezcla asfáltica producida en Costa Rica para los proyectos viales de conservación vial, Contratación Directa No. 2009LN.-000003-CV. varias zonas*. San Pedro: LanammeUCR.
- Hurley, G. C., & Prowell, B. D. (2003). Evaluation of infrared ignition furnace for determination of asphalt content. *Transportation Research Board*. Washington.
- MOPT. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes* . San José.
- NCAT. (1995). Asphalt content test offers improvement over solvents. *TR News* (180), Pp 40-41.
- Patel, M. (1974). Rapid and convenient laboratory method for extraction and subsequent spectrophotometric determination bitumen content of bituminous sand. *Analytical Chemistry* , 46 (N° 6), Pp 794-795.
- Reyes, R., MacKean, C., & Aschenbrener, T. (1996). *Determining the asphalt cement content of bitumes mixtures using NCAT asphalt content oven*. Colorado Department of Transportation.
- Vorobjovas, V., Vaitkus, A., Laurinavicius, A., & Cygas, D. (2007). Evaluation of asphalt composition laboratory determination methods. *Modern Building Materials, Structures and Techniques*, (p. 7). Vilnius, Lithuania.