

**ESTUDIO DE UNA MEZCLA ASFALTICA MDC – 19 MODIFICADA CON  
ADICION DE POLIPROPILENO DE BAJA DENSIDAD (PBD) POR VÍA SECA.**

**CARLOS ALBERTO GÓMEZ CAMPILLO  
503795**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ  
2018**

**ESTUDIO DE UNA MEZCLA ASFALTICA MDC – 19 MODIFICADA CON  
ADICION DE POLIPROPILENO DE BAJA DENSIDAD (PBD) POR VÍA SECA.**

**CARLOS ALBERTO GÓMEZ CAMPILLO  
503795**

**Trabajo de grado para obtener al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
Juan Gabriel Bastidas Martínez  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ  
2018**



## Atribución-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/co/>

### Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, octubre. 2018.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Católica de Colombia que me brindo mediante la capacitación constante el aprendizaje necesario y digno de todo ingeniero.

Al ingeniero Edwin Alirio Guerrero Riaga que gracias a sus enseñanzas, me hizo decantar a los pavimentos como una de mis ramas más fuertes.

Al ingeniero Juan Gabriel Bastidas quien llevo a cabo la dirección del proyecto gracias a su disciplina y su sabiduría maestril y que confió en mis capacidades para la ejecución.

Al material humano del laboratorio, a la señorita Angélica, a Cesar, a la Ing. Lucia Rodríguez y al laboratorista Hugo quien brindo gran experiencia para desarrollar los experimentos.

Finalmente a mi familia quienes me apoyaron en todo momento y por quienes tome fuerzas para continuar en estas largas noches, especialmente mi madre Rosmery Campillo.

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	18
4.1	ESTADO DE LAS VÍAS Y EL TRANSPORTE.....	18
4.2	ESTUDIOS MÁS RECIENTES DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MODIFICADAS.....	21
4.2.1	Comportamiento de una mezcla MDC-19 con adición de tiras de polisombra.....	21
4.2.2	Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC – 19.....	22
4.2.3	Mezcla asfáltica tibia modificada con husil y un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) empleado como granulometría de referencia la MDC-19.....	23
5	DELIMITACIÓN.....	24
5.1	ESPACIO.....	24
5.2	TIEMPO.....	24
5.3	CONTENIDO.....	24
5.4	ALCANCE.....	24
6	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	25
6.1	PAVIMENTOS.....	25
6.2	NORMATIVIDAD.....	25
6.2.1	Norma INV-E-748-13. Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall.....	25
6.3	ENSAYOS DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA.....	27
6.3.1	Norma INV-E-760-13. Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del ensayo de cantabro de pérdida por desgaste.....	27
6.3.2	Norma INV-E-786-13. Determinación de la resistencia a la tensión indirecta (RTI) de las mezclas asfálticas.....	28
6.3.3	Norma INV-E-725-13. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta.....	29

6.4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	30
6.4.1	Cemento asfáltico.....	31
6.4.2	Mezclas asfálticas .....	31
6.4.3	Agregados pétreos.....	32
6.4.4	Mezclas asfálticas modificadas.....	32
6.4.5	Los polímeros.....	33
6.4.6	El polipropileno.....	33
6.5	Nuevas tecnologías.....	35
7	METODOLOGÍA.....	36
7.1	CARACTERIZACIÓN.....	37
7.1.1	Caracterización de los agregados.....	37
7.1.2	Caracterización del cemento asfaltico CA .....	39
7.1.3	Caracterización del aditivo .....	40
7.2	DISEÑO MARSHALL PARA LA MEZCLA DE CONTROL .....	41
7.3	DISEÑO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON PBD POR VÍA SECA..	43
8	RESULTADOS .....	45
8.1	DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONTROL MDC – 19 .....	45
8.1.1	Parámetros volumétricos mezcla control .....	45
8.1.2	Parámetros Resistencia .....	46
8.2	Estabilidad y Flujo Marshall de mezclas asfálticas con adición de PBD .....	47
8.2.1	Parámetros volumétricos mezclas modificadas.....	47
8.2.2	Estabilidad, flujo y E/F con el contenido de PBD.....	49
8.2.3	. Estabilidad, flujo y E/F con el contenido vacíos.....	50
8.3	Resistencia a la tracción indirecta de mezclas asfálticas con adición de PBD .....	51
8.3.1	Resistencia a la tracción indirecta en baño a 20°C .....	51
8.3.2	Resistencia a la tracción indirecta en baño a 60°C .....	52
8.3.3	Relación de resistencias a la tracción RTT.....	53
8.4	Resultados de ensayo de cantabro .....	54
8.4.1	Características de la adherencia.....	56
9	CONCLUSIONES.....	58
10	RECOMENDACIONES .....	59
	BIBLIOGRAFÍA .....	60
	ANEXOS .....	62



## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Cuadro comparativo estado de las vías pavimentadas en Colombia.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2 Relación de vueltas/tiempo para cantabro en máquina de los Ángeles.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3 Resultado de los agregados .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4 Granulometría de mezclas de concreto asfáltico INVIAS 2013.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5 Requisitos mínimos de calidad del CA .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6 Criterios para diseño de concreto asfáltico (ensayo Marshall) .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7 Promedio de densidades y vacíos en briquetas control .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 8 Promedio Estabilidad Flujo para cada contenido de Asfalto .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 9 Promedios en prueba de Estabilidad - Flujo.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10 Promedio de densidades y vacíos en briquetas modificadas.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 11 Promedios de RTI en baño a 25°C.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 12 Promedios de RTI en baño a 60°C.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 13 Relación de resistencias a la tracción RTT .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 14 Resultados para cantabro en máquina de los Ángeles convencionales e inclusión de PBD (1%).....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 15 Resultados para cantabro en máquina de los Ángeles inclusión de PBD del 2 y 3%.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 16 Promedios Ensayo Cantabro CA 60 - 70 (5%) .....</i>	<i>56</i>

## INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1 Granulometría</i>	62
<i>Anexo 2 Resultados de ensayo de ductilidad</i>	66
<i>Anexo 3 Resultado ensayo de penetración</i>	67
<i>Anexo 4 Resultados ensayo Marshall modificado</i>	68
<i>Anexo 5 Cantabro</i>	70
<i>Anexo 6 Tracción Indirecta 25 grados Celsius</i>	71
<i>Anexo 7 Tracción Indirecta 60 grados Celsius</i>	72

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Inversión Pública en el Sector del Transporte</i>	18
<i>Figura 2 Estado de Red Primaria de Carreteras 2016</i>	19
<i>Figura 3 Estado de Red Primaria de Carreteras 2018</i>	20
<i>Figura 4 Representación promedio del desgaste con adición de tiras de polisombra</i>	22
<i>Figura 5 Máquina de ensayo Marshall y Tracción Indirecta Universidad Católica</i>	26
<i>Figura 6 Máquina de los Ángeles de Universidad Católica de Colombia</i>	28
<i>Figura 7 Esquema de una instalación para el ensayo de tensión indirecta.</i>	28
<i>Figura 8 briquetas en baño a 60 grados Celsius durante 24 horas en laboratorio de la Universidad Católica de Colombia</i>	29
<i>Figura 9 briqueta control (imagen izquierda) y modificada (imagen derecha) abiertas luego de fallar a tracción indirecta a 60 °C</i>	30
<i>Figura 10 Clasificación de polímeros</i>	32
<i>Figura 11 Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad térmica del asfalto</i>	33
<i>Figura 12 Material polipropileno de baja densidad PBD mezclador de tinto de 9cm cortado en 5mm</i>	35
<i>Figura 13 Diseño de mezcla para briqueta tipo MDC-19 modificada con PBD por vía seca</i>	36
<i>Figura 14 Granulometría utilizada para el diseño de las mezclas del tipo MDC-19</i>	38
<i>Figura 15 PBD cortado referenciado en tamaño con una mano adulta</i>	40
<i>Figura 16 Procedimiento para la realización del ensayo Marshall para el diseño de mezclas asfálticas según INVE 748 – 13.</i>	43
<i>Figura 17 Diseño de Briqueta con inclusión del 3% de PBD</i>	44
<i>Figura 18 Evolución de los parámetros volumétricos con respecto al contenido de asfalto mezcla control</i>	45
<i>Figura 19 Evolución de los parámetros de resistencia con respecto al contenido de asfalto mezcla control.</i>	46
<i>Figura 20 Evolución de los parámetros volumétricos con respecto al contenido de asfalto mezcla modificada.</i>	47
<i>Figura 21 Briquetas falladas en ensayo de Estabilidad – Flujo</i>	48
<i>Figura 22 Evolución de los Estabilidad, Flujo y relación E/F con respecto al contenido de PBD.</i>	49
<i>Figura 23 Estabilidad, flujo y E/F con el contenido vacíos.</i>	50
<i>Figura 24 Briqueta modificada para prueba de resistencia a tracción a 25 grados Celsius en prensa Marshall.</i>	51
<i>Figura 25 Resistencia a la tracción indirecta en baño de 25 y 60 grados Celsius</i>	52
<i>Figura 26 Resistencia a la tracción indirecta vs porcentaje de vacíos</i>	53
<i>Figura 27 Relación de resistencias a la tracción RRT</i>	54
<i>Figura 28 Relación porcentual de desgaste vs porcentaje de vacíos</i>	56
<i>Figura 29 Resultados de cantabro en máquina de los Ángeles</i>	57
<i>Figura 30 Relación porcentual de desgaste vs inclusión porcentual de PBD</i>	57

## Lista de siglas, Abreviaturas, Símbolos y Unidades de medida

- CA Cemento asfáltico de penetración 60-70 décimas de milímetro
- MDC Mezcla densa en caliente
- INVIAS Instituto Nacional de Vías, también INV
- IDU Instituto de Desarrollo Urbano
- AASHTO Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes
- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- KN Kilonewton
- Kpa Kilopascales
- PSI Libra por pulgada cuadrada
- °C Grado Celsius
- PBD Polipropileno de baja densidad
- g Gama del material
- $\pi$  Pi
- Ton Toneladas
- Mm milímetro
- g Gramo
- min – max mínimo – máximo
- Vv Volumen de vacíos
- Cm<sup>3</sup> Centímetro cúbico

## RESUMEN

En Colombia se ha evidenciado una problemática constante a lo largo de su territorio en la capa superficial de rodadura vehicular lo cual causa molestias en el confort de los usuarios y en última instancia puede ser un peligro para la vida humana. Por otra parte, grandes cantidades de residuos de pitillos plásticos son producidos en el mundo, sin embargo, existen mínimas formas de disposición final y ambientalmente segura para este tipo de residuos. Ante este panorama, surge la alternativa de modificar las mezclas asfálticas convencionales con materiales alternativos. El objetivo del trabajo de investigación está destinado a mostrar el comportamiento de una mezcla tipo MDC – 19 en la cual se adiciona una fracción de polipropileno de baja densidad (de ahora en adelante llamado PBD) o comúnmente denominado pitillo por la vía seca, en unos porcentajes definidos del 1.0%, 2.0% y 3.0% sobre el total de los materiales de la mezcla asfáltica, a fin de evaluar el comportamiento mecánico y de adherencia con relación a una mezcla asfáltica de control. Para tal fin, fueron realizados ensayos que evalúan la acción de la carga monotónica (Marshall y Tracción Indirecta) y el desgaste a la abrasión cántabro. Los resultados indican que la mezcla asfáltica modificada con 1% de PBD presento el mejor comportamiento en la estabilidad y flujo Marshall. Sin embargo, la adición de PBD produce una reducción de la resistencia a la tracción indirecta y aumento del desgaste cántabro con respecto a una mezcla de control. Estudios posteriores deben ser realizados, para evaluar el comportamiento mecánico ante la acción de cargas dinámicas, a fin de conocer el comportamiento mecánico del material ante condiciones reales del pavimento.

## ABSTRACT

At Colombia has been evident a constant problematic along its territory in the superficial cap of vehicle rolling which causes discomfort in the users and in the last instance could be a danger to the human life. On the other hand, big amount of plastic straw residues are produced in the word, nevertheless there are minimum forms of final dispose and environment secure for this panorama, surges the alternative of modify the conventional asphaltic mixtures with alternative materials. The research work objective is destined to show the behavior of a mixture type MOC - 19 in which a fraction of pol of low density is added (called from now on PBD) commonly named straw in some defined percentages of 1.0%, 2.0% and 3.0% upon the total of the asphaltic mixture of control. With this purpose, essays were realized that evaluate the monotone burden (Marshall and Indirect Traction) and the waste of the "cantabro" abrasion. The results indicate that the asphaltic mixtures modify with 1% of PBD presented the best behavior in the bolity and Marshall flow. Nevertheless, the addition of PBD produces a reduction to the resistance of the indirect traction and raise in the cantabro waste, with respect to a control mixture. Posterior studies must be realized to evaluate the mechanical behavior of the material before real conditions of the pavement.

## 1. INTRODUCCIÓN

El pavimento es una estructura que tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodadura segura y confortable principalmente para vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Generar un proyecto de pavimentos debería entonces involucrar los aspectos de materiales, diseño, clima y estrategias de conservación cuya eficiencia deba juzgarse a través de la evaluación beneficio costo.

Este a su vez está sujeto a la acción continua de tráfico y la meteorología. Estos dos factores junto con el envejecimiento natural de los materiales hacen que la firme sufra un proceso de progresivo deterioro. Este envejecimiento y deterioro del firme conlleva una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004, pág. 25).

El desgaste superficial ocurre por lo general por la fricción que se genera en la interface entre las llantas de los vehículos y la rasante, lo que ocasiona la pérdida del ligante en la mezcla asfáltica que compone dicha capa. Diferente a la idea de que en el desgaste solo se deben evaluar a los agregados pétreos como (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, Mezclas Asfálticas, 2015) indican: “Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar la mezcla asfáltica”. Se deben de evaluar los demás componentes que integran la capa de rodadura ya que el desprendimiento del material asfáltico como por ejemplo baches ya sea por escasas de asfalto sobre la mezcla o deficiente drenaje o falta de resistencia en la mezcla, deformaciones, roturas y demás problemas surgidos en la corona podrían representar no solamente baja comodidad o calidad de vía sino también un grave riesgo la vida humana en general.

Buscar una solución que mejore las características mecánicas del pavimento y que alargue los tiempos para mantenimientos o cambios por bajo nivel de servicio es la meta del presente trabajo y es por eso que se intentara desarrollar una mezcla asfáltica modificada con residuos fuera de uso; es decir; derivados poliméricos como lo es el polipropileno de baja densidad que ambientalmente, es un material difícil de degradar. Con ello a través de la innovación se minimice el impacto ambiental sin olvidar la comodidad y seguridad de los usuarios.

La modificación de los parámetros en los agregados son nuevas técnicas manejadas para el beneficio efectivo de las vías. “En el mercado existen diferentes agentes modificadores del pavimento. La mayoría de estos son de naturaleza polimérica y entre otras cosas, permiten exaltar las capacidades mecánicas” (Sanchez Gonzales, 2016, pág. 58). El problema inicial de estos es su alto costo.

Concluyendo, se espera que el resultado del presente proyecto genere motivación de sectores público-privados dado que teóricamente los beneficios deberán satisfacer tendencias económicas, ambientales y técnicas. “La conciencia medioambiental también rige el sector del asfalto. Se puede comentar que las carreteras de hoy deben atender a criterios técnicos, económicos y sociales, pero también a ecológicos” (Fernandez, 2012, pág. 5).

La evaluación al desgaste finalmente permitirá observar el efecto cohesivo en el pavimento asfáltico.



## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Bajo la realidad de que el crecimiento de población se da de forma exponencial, y de que el presupuesto estatal cada vez es más escaso en el mantenimiento y creación de las redes de comunicación terrestres, es motivo suficiente para pensar en que las infraestructuras deban tener un comportamiento cada vez más competitivo en cuanto su mantenimiento y vida útil. Con ello surge la necesidad de explorar las nuevas tendencias en innovación de superficies de rodadura que sean más flexibles a los cambios de temperatura y flujo vehicular puesto que el impacto en ellos cada día es más crítico.

Este escenario puede verse muy frecuentemente en un alto porcentaje de red vial tomando como ejemplo a la ciudad de Bogotá, ciudad en donde se evidencia comúnmente agrietamiento, ahuellamiento y bacheo en las superficies de rodadura vehicular en donde al menos el 80% de la superficie de rodadura vehicular se encuentra en pavimento flexible o carpeta asfáltica puesto que brinda mejores sensaciones de comodidad y economía basados en previos diseños de costo beneficio en construcción y mantenimiento. (Vialidad y Transporte, 2014) .El principal inconveniente que este tipo de material pueda presentar es por lo general el desprendimiento de los agregados, una falla que se origina por la falta de cemento asfáltico o la aplicación de un agregado pétreo equivocado, es decir, uno con poca estabilidad o de un espesor muy fino, limpieza y/o tratamientos deficientes entre otros. (POLILIFT, 2017).

Por dicha razón es importante cuestionarse si es posible disminuir el consumo de energía en la construcción de pavimentos, utilizando materiales reciclables, económicos de fácil acceso y que mejoren las propiedades del asfalto y que mejoren las propiedades mecánicas del asfalto sin aumentar costos y teniendo presente la relación costo-beneficio. (Coicue Duarte & Sepulveda Salazar, 2017, pág. 23).

¿Por qué modificar las propiedades de la mezcla asfáltica MDC – 19 por vía seca y que beneficios puede adicionar al método control?

### **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Gracias a los distintos trabajos de grado realizado de mezclas asfálticas por estudiantes que dejaron legado en la universidad católica de Colombia, tanto como algunas otras investigaciones que se han podido encontrar, se retoman fragmentos informativos que generan un horizonte de posibles resultados favorables en la investigación.

Conclusiones importantes dadas por estas obras son:

- El porcentaje de vacíos en la mezcla MDC-19 modificada con polisombra es muy notorio, debido a que, a mayor porcentaje de polisombra más alto es su porcentaje de vacíos. Por lo tanto, se deduce que las mezclas asfálticas modificadas con polisombra, tienden a tener un peso específico bajo, generando disminución en los costos de la mezcla asfáltica y bajando la cantidad de esfuerzos producidos sobre el suelo por el peso específico de la mezcla asfáltica. (Aguilar Machuca, 2017, pág. 55)

La inclusión del material puede alterar la composición interna de los vacíos como indica (Aguilar 2017). Esto puede afectar gravemente al espécimen ante las diversas cargas que se aplican en él.

Por otro lado la cantidad de vacíos puede convertir a la MDC-19 en una mezcla porosa o drenante.

- La polisombra brinda un aumento a la resistencia a los efectos abrasivos y de succión originada por el tránsito vehicular (Aguilar Machuca, 2017, pág. 55).

La polisombra como el polipropileno, es un derivado del polietileno. Por esta razón se piensa que ante los resultados de (Aguilar 2017) se podría intentar el ensayo del PBD para dimensionar respecto al trabajo citado el comportamiento de las resistencias.

Por estas razones se identifica que:

Está claro que se deben mejorar los esfuerzos para evitar la desagregación de la capa asfáltica. Por esta razón es la intención de trabajar con una mezcla densa en caliente MDC -19 que tiene mejor capacidad portante que otras mezclas por ser las más estudiadas y más aplicadas en los pavimentos. La compañía de Trabajos Urbanos S.A. (CTU, 2.017) define: “por razón de tener un tamaño máximo nominal de 19mm, para construir capas de rodadura en vías de tráfico medio y alto”. Con ello superar la siempre creciente demanda vehicular que ocurre en el mundo.

Es objetivo del presente estudiar el comportamiento de la inclusión de PBD frente a Cantabro y Tracción Indirecta puesto no se han realizado ensayos del tipo.

Para la modificación, se debe usar un material que sea sostenible para el medio ambiente y por ello se toma el reciclaje de un material tan abundante y que toma muchos siglos en descomposición como lo es polímero, más propiamente el polipropileno de baja densidad

Por lo anterior, se selecciona manejar una mezcla asfáltica densa en caliente del tipo MDC -19 bajo la inclusión por vía seca de unos mínimos porcentajes de inclusión del material que corresponden al 1,0; 2,0 y 3,0% con respecto al peso total de la muestra en aras de conocer que sea económicamente manejable, que sea resistente a la carga y al desgaste, que sea benéfico para el medio ambiente y que preste las condiciones necesarias de calidad, confort y seguridad para el uso de la población general con la intención de mejorar el problema de desagregación de las partículas por mayormente por abrasión que genera el desgaste en la rasante.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la adherencia por medio de ensayos de comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica control MDC-19 y de tres mezclas asfálticas modificadas por la adición de polipropileno de baja densidad (residuos de pitillo usado) por vía seca.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

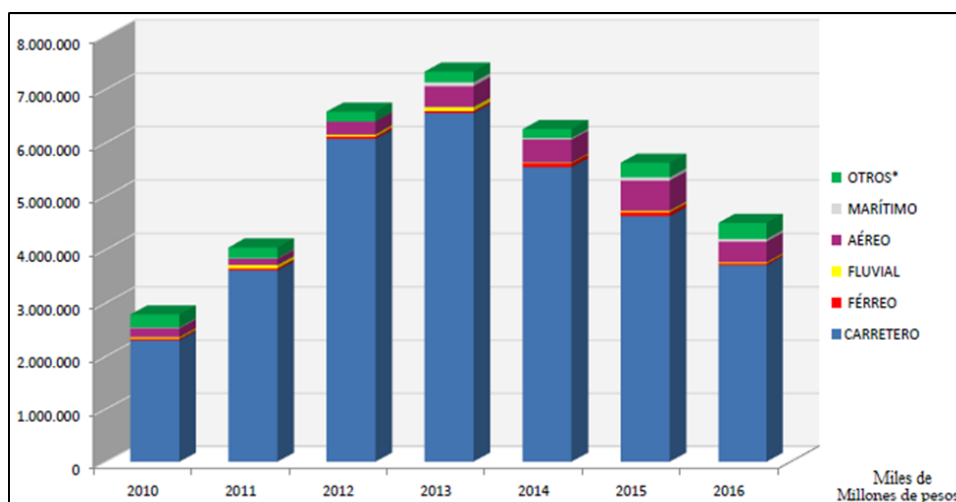
- Caracterizar el material (Cemento Asfáltico) CA 60/70 y agregados pétreos para la determinación del contenido óptimo de una mezcla asfáltica tipo MDC-19 por medio de la metodología Marshall INV E-748-13.
- Determinar el contenido óptimo de una mezcla asfáltica tipo MDC-19 por medio de la metodología Marshall INV E-748-13.
- Evaluar las características mecánicas por medio de la estabilidad Marshall y resistencia a la tracción indirecta, de una mezcla asfáltica control MDC-19 y de tres mezclas asfálticas modificadas con inclusión del pitillo picado (Polipropileno de baja densidad) en porcentajes de 1, 2 y 3% respectivamente.
- Evaluar las características de adherencia por medio del ensayo cántabro, de una mezcla asfáltica control MDC-19 y de tres mezclas asfálticas modificadas con inclusión del pitillo picado (Polipropileno de baja densidad) en porcentajes de 1, 2 y 3% respectivamente.

## 4 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

### 4.1 ESTADO DE LAS VÍAS Y EL TRANSPORTE

El desarrollo del automóvil a principios del siglo veinte (XX), produjo una rápida evolución de las carreteras a nivel mundial. En Colombia la construcción de carreteras se inició prácticamente hacia el año 1.930 y la pavimentación hacia el año 1.945. Según ASOPAC, más del 90% de las vías en el mundo y más del 65% de las vías en Bogotá D.C. están construidas de pavimento asfáltico. Asociación de Productores y Pavimentadoras de Colombia (ASOPAC, 2004).

**Figura 1 Inversión Pública en el Sector del Transporte**

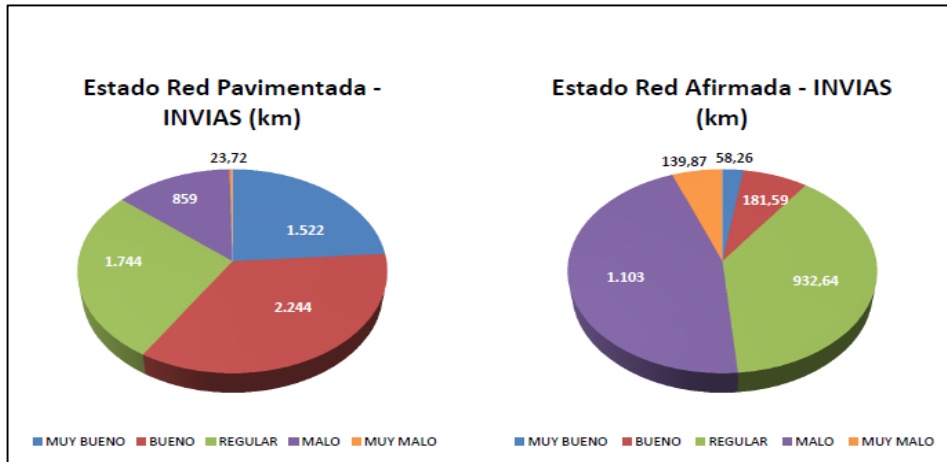


Fuente: INVIAS 2016.

Tomando en cuenta el crecimiento exponencial de la humanidad a lo largo de la historia, y sabiendo aún que para que la vida cotidiana pueda surgir en cualquier lugar del mundo, se deben buscar las mejores condiciones de infraestructura vial que se realizan constantemente en calzadas para el traslado de forma más rápida, más segura y más barata con los estándares de desarrollo sostenible, se toma la decisión de incluir nuevos materiales en la construcción de pavimentos que mejoren sus características fisicoquímicas y funcionales que cumplan con las normas y estándares descritos anteriormente.

En la figura 1 se evidencia la cada vez mas baja inversión para el sector del transporte terrestre a pesar del crecimiento del parque vehicular.

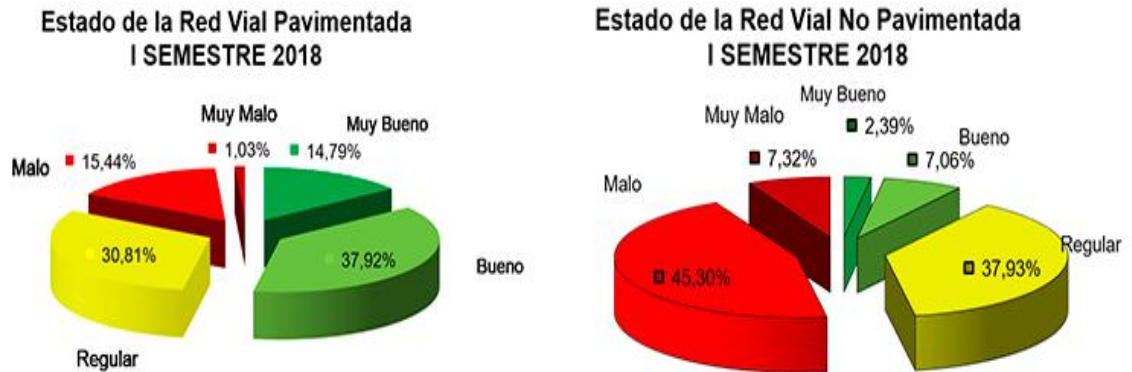
**Figura 2 Estado de Red Primaria de Carreteras 2016**



Fuente: INVIAS 2016

En Colombia el método de diseño de pavimentos flexibles del instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2002) es empírico. (...) los cambios en el tiempo de las condiciones de tránsito o del clima de la zona de estudio pueden hacer que métodos de este tipo pierdan confiabilidad en la predicción del dimensionamiento de pavimentos. Lo delicado de esta situación es que en Colombia las condiciones de clima son cambiantes. INVIAS (como se citó en (Rondon & Grupo de Inversión de Pavimentos y Materiales, 2007)). El parque automotor ha tenido la tendencia de aumentar en los últimos 30 años en número y magnitud de carga. En general, el aumento promedio anual del tránsito es del 4.6% y la capacidad instalada del parque automotor de carga ha venido creciendo con una tasa anual promedio del 5.08% (Mintransporte, 2000; IDEAM, 2001; Mintransporte, 2004 (como se citó en (Rondon & Grupo de Inversión de Pavimentos y Materiales, 2007)). Aún así se muestra en la figura 2 que el estado de las vías a 2016 en Colombia ha sido muy regular o malo en casi un 80% lo que debería crear una ventana de oportunidad para cambiar el diseño del afirmado.

**Figura 3 Estado de Red Primaria de Carreteras 2018**



Fuente: INVIAS 2018.

Además, con respecto al clima, fenómenos ambientales como “el niño” o “la niña” hacen que la temperatura presenta variabilidad interanual de 2°C en algunas zonas del territorio nacional, y que la precipitación aumente provocando periodos de lluvia hasta dos meses más de lo normal por año (IDEAM. 2001) como se citó en (Rondon & Grupo de Inversión de Pavimentos y Materiales, 2007). Esto justifica que ante los cambios de temperatura nace la idea de evaluar la mezcla densa en caliente en comportamiento mecánico a dos temperaturas como es el ensayo INVIAS tracción indirecta INV-E-725-13 a temperaturas de 25°C y 60°C.

**Tabla 1 Cuadro comparativo estado de las vías pavimentadas en Colombia**

Categoría	Año 2.016 Kilómetros	%	Año 2.018 Kilómetros	%
Malo	859.00	13.44	923.00	15.44
Regular	1,744.00	27.28	1,800.00	30.81
Bueno	2,244.00	35.10	2,149.00	37.92
Muy Bueno	1,522.00	23.81	1,409.00	14.79
Muy Malo	23.72	0.37	30.27	1.03

Nota: Analizando las figuras 2 y 3 se puede apreciar que la calidad del servicio del año 2.018 a desmejorado con respecto al año 2016. Esto debería crear una oportunidad para la modificación de una carpeta asfáltica que evite costos de mantenimiento o por cambios a frecuencias mucho mayores.

Fuente el autor

A pesar de que el transporte más utilizado para el desplazamiento de carga y pasajeros es por vía terrestre (contrariamente de que en los últimos años ha venido aumentando el uso del transporte aéreo), como se ha podido apreciar en la figura 1, se evidencia que desde el año 2014 cada vez son menos los recursos que el estado tiene para cubrir la inversión pública en la red asfáltica seguramente para presupuestar en otras ramas. Aun así, como se ha mencionado el medio de transporte de mayor frecuencia es el terrestre, y es por ello que el Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2016) afirma: “según estudios de redes de transporte

inventariada, solo el transporte vial tiene el 86%”. Esto significa entonces que la calzada debe tener un impacto mayor en términos de importancia puesto que es el medio más usado por los usuarios. Ante esta situación se cree que el éxito del presente proyecto podría presentarse como una alternativa para minimizar el impacto económico que cada vez acosa el sector de infraestructura vial.

Explicados los motivos se realizará la documentación pertinente para hacer una mezcla densa en caliente MDC – 19 en vía seca para asfaltos tipo 60 - 70 ya que son los mejores para la ciudad de Bogotá D.C., ciudad domicilio de los autores evaluando a la mezcla descrita mediante ensayo de desgaste y resistencia y con ello obtener una capa asfáltica con una mejora en su capacidad portante.

## **4.2 ESTUDIOS MÁS RECIENTES DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MODIFICADAS**

Es importante revisar el antecedente más representativo para el diseño de la mezcla densa en caliente modificada que se genera de la experiencia obtenida por ingenieros y se relacionan a continuación:

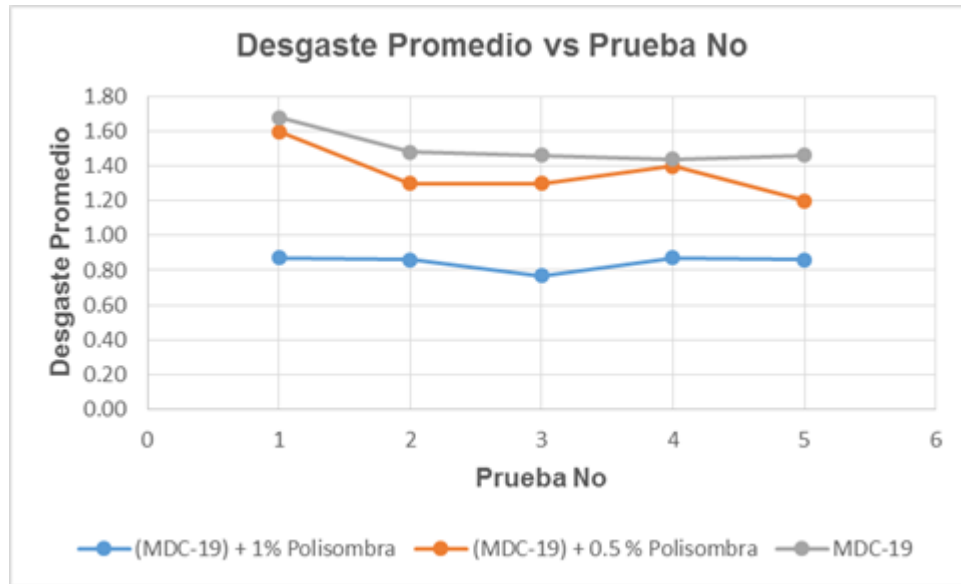
### **4.2.1 Comportamiento de una mezcla MDC-19 con adición de tiras de polisombra**

- El comportamiento de la mezcla asfáltica MDC-19 con la adición de fibras de longitud 15 cm de polisombra, en porcentajes de 1.0 y 0.5, presenta mejoras en el desgaste promedio determinado en el ensayo de cántabro. Sobresaliendo el porcentaje de 1.0 % de fibras, siendo éste el porcentaje mayor de adición y con menores valores de desgaste. (Aguilar Machuca, 2017)

(Aguilar 2017) indica que La polisombra brinda un aumento a la resistencia a los efectos abrasivos y de succión originada por el tránsito vehicular lo cual es muy interesante puesto que como se mencionado, la polisombra y el polipropileno de baja densidad son derivados polímeros. Esta afirmación se refleja en la figura 4 a continuación.



**Figura 4 Representación promedio del desgaste con adición de tiras de polisombra**



Fuente: (Aguilar Machuca, 2017, pág. 46)

#### **4.2.2 Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC – 19**

- Por lo anterior cabe resaltar a manera general que la resistencia de la mezcla asfáltica aumento en un 23%, no obstante, el porcentaje de vacíos aumento, lo que quiere decir que el pavimento puede estar más expuesto a infiltración de fluidos al interior del pavimento, esto se ve reflejado al disminuir su densidad Bulk la cual se puede interpretar como disminución en la cohesión entre las partículas que conforman la mezcla asfáltica modificada
- La modificación de la mezcla asfáltica MDC-19 con polietileno de baja densidad, mejoro las propiedades mecánicas en un 23% respecto a la control MDC-19, determinando así que el desecho de polietileno presentado en trozos de bolsas plásticas puede ser utilizado como alternativa en la modificación de asfaltos con polímeros.
- El valor en la deformación aumento en un 16% respecto a la mezcla control. Esto permite establecer que para que la mezcla sufra esta deformación necesita de mayores esfuerzos, pero si se encuentra sometida a menores esfuerzos su deformación disminuirá proporcionalmente. (Coicue Duarte & Sepulveda Salazar, 2017)

#### **4.2.3 Mezcla asfáltica tibia modificada con husil y un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) empleado como granulometría de referencia la MDC-19**

- La mezcla asfáltica MDC-19 modificada con un porcentaje de 7.5% del desecho de polietileno de baja densidad y el aditivo HUSIL, el comportamiento de la mezcla tiende hacerse rígida. (Tola Florez & Calvo Martelo, 2015)

Además (Tola Florez & Calvo Martelo, 2015, pág. 37) indican que en Colombia se están desarrollando nuevas técnicas de fabricación en las mezclas asfálticas y se espera que con ese proyecto de una iniciativa a futuro para la continuación y ejecución del mismo .la elaboración de las mezclas MDC19, las cuales generan un gran beneficio económico para las plantas de asfalto al calentar los materiales a menor temperatura y se disminuye el desgaste de las plantas al trabajar con rangos menores.

## **5 DELIMITACIÓN**

### **5.1 ESPACIO**

Se contó con las instalaciones de la universidad, entre las que se tiene la biblioteca, aulas, salas informáticas, plataforma virtual de la universidad, para la elaboración de los documentos.

Las pruebas de laboratorio para caracterización de los agregados y de creación de especímenes de tipo Marshall se realizaron en laboratorio particular, mientras que se usó el laboratorio de la universidad católica de Colombia para realizar las pruebas en los equipos de aparato Marshall para los ensayos de tracción indirecta y estabilidad y flujo y por otro lado cantabro en el equipo de Maquina de los Ángeles.

### **5.2 TIEMPO**

El cumplimiento de los objetivos trazados en la investigación fue de ocho meses y dieciocho días a partir de la fecha de elaboración del anteproyecto en donde se contienen la documentación, las prácticas de laboratorio, el análisis y la entrega de los resultados establecidos como se indicó en el anexo 1 cronograma de actividades del anteproyecto adjunto según la rúbrica de normatividad de la universidad para proyectos de investigación dado en 2018.

### **5.3 CONTENIDO**

La investigación cumplió con el análisis de los resultados obtenidos producto de la comparación de una mezcla densa en caliente control contra una mezcla modificada MDC - 19 por vía seca con porcentajes de inclusión porcentual de diámetros de 5mm de PBD establecidos en la metodología del presente para escenarios de tracción, compresión y abrasión.

### **5.4 ALCANCE**

El presente estudio está enfocado al análisis de laboratorio de una mezcla control y una modificada por medio de ensayos mecánicos ante la acción de la carga monotónica a diferentes temperaturas y ensayos de desgaste por abrasión. Los resultados fueron analizados en función de los parámetros volumétricos, principalmente volumen de vacíos y contenido adicionado de PBD. Con los resultados encontrados, se pretende establecer un contenido de PBD en la mezcla asfáltica por la vía seca, que permita un mejor desempeño de las características mecánicas en referencia a una mezcla control. Los resultados encontrados, pueden servir de base en futuras investigaciones de la temática, permitiendo centrar el estudio del comportamiento mecánico ante cargas cíclicas, el cual no es abordado en la presente investigación.

## 6 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

A continuación, se tratarán los fundamentos teóricos, normativos, y técnicos que son de alta importancia y permita llevar a cabo la realización de los ensayos para la elaboración de las briquetas de mezcla asfáltica tipo control y las briquetas modificadas con adición de polipropileno por vía seca.

### 6.1 PAVIMENTOS

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico.

La Ingeniería de Pavimentos tiene por objetivo el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la gerencia de pavimentos, de tal modo que las funciones sean desempeñadas con el menor costo para la sociedad. Tratándose, esencialmente, de una actividad multidisciplinaria, donde están involucrados conceptos y técnicas de las Ingenierías: Geotecnia, de Estructuras, de Materiales, de Transportes y de Sistemas, en vista de la importancia se debe estimar y efectuar el mantenimiento de pavimentos existentes. (Vivar Romero, 2004, pág. 21)

### 6.2 NORMATIVIDAD

Correspondiente a este ítem se enunciará el marco legal del artículo 450 INVIAS en elaboración de la mezcla asfáltica en cuestión:

#### 6.2.1 Norma INV-E-748-13. Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall

En esta norma se consideran los aspectos técnicos – teóricos para la elaboración de las briquetas empleando el aparato Marshall de las mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”) AASHTO T 245 – 97 (2004). (AASHTO, 2013).

El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de Densidad Vacíos de las probetas compactadas según la norma INV-E-748-13.

Para el desarrollo del ensayo Marshall es necesaria la realización de ensayos de caracterización física sobre el asfalto y agregados, tales como:

- Ductilidad de materiales asfálticos (INV E-702-13).
- Punto de ablandamiento de anillo y bola (INV E-712-13).
- Penetración de los materiales asfálticos (INV E-706-13).
- Índice de alargamiento y aplanamiento (INV E-230).
- Porcentaje de caras fracturadas (INV E-227).
- Densidad Bulk (INV E-217).
- Equivalente de arena (INV E-133).
- Gravedad específica de agregado grueso.
- Gravedad específica de agregado fino.
- Azul de metileno (INV E-235-13).
- Abrasión en la máquina microdeval (INV E-238).
- Abrasión en la máquina de los ángeles (INV E-218 Y 219).
- Granulometría de agregados pétreos (INV E-213-214).
- 10% de finos (INV E-224).
- Masa unitaria de agregados (INV E-224).
- Gravedad específica del cemento asfáltico.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los diferentes valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor "óptimo". Definidos en el artículo INV 450-13.

**Figura 5 Máquina de ensayo Marshall y Tracción Indirecta Universidad Católica**



Fuente: El Autor.

## 6.3 ENSAYOS DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

### 6.3.1 Norma INV-E-760-13. Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del ensayo de cantabro de pérdida por desgaste.

Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar el valor de la pérdida de masa porcentual por desgaste o valorando la resistencia a la disgregación del agregado ante efectos abrasivos empleando la máquina de los ángeles.

Según la norma de las secciones 700 y 800 (INVIAS, 2013, pág. 53) el procedimiento se aplica a mezclas en caliente con granulometría de tamaño de partícula menor o igual a 25mm como lo son las mezclas porosas o drenantes caracterizadas por contener un elevado porcentaje de vacíos y que como se manifiesta en la norma, surge de la observación del comportamiento de la capa en rodadura que falla por disgregación para lo cual aplica en el desarrollo del proyecto.

La ecuación del ensayo de pérdida por desgaste se expresa:

$$P = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Dónde:

P: Valor de la pérdida por desgaste de la probeta, %;

P1: La masa inicial y P2: La masa final

**Tabla 2 Relación de vueltas/tiempo para cantabro en máquina de los Ángeles**

Relación de Vueltas/Tiempo para máquina de los Ángeles	
No Vueltas	min.sec
100	03.13
200	06.26
300	09.30
400	12.49
500	16.03
600	19.18
700	22.31
800	25.04
900	28.17
1000	31.30

Fuente: El Autor.

Para el empleo de este ensayo se deben fabricar las briquetas tipo Marshall e introducirla en la máquina de los Ángeles que para nuestro caso será de 33 revoluciones en donde se comparará el estado inicial de la masa contra el final de la misma con el fin de evaluar el valor de pérdida por desgaste en abrasión expresada porcentualmente.

**Figura 6 Máquina de los Ángeles de Universidad Católica de Colombia**

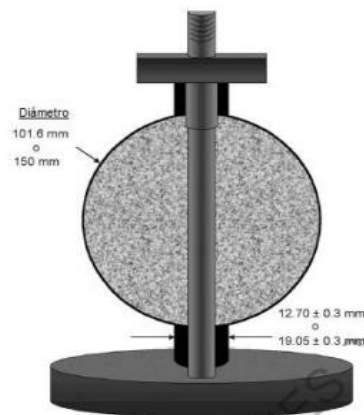


Fuente: El Autor.

### **6.3.2 Norma INV-E-786-13. Determinación de la resistencia a la tensión indirecta (RTI) de las mezclas asfálticas.**

La norma tiene como objetivo el procedimiento para falla mediante ensayo de tensión indirecta a las probetas de mezcla asfáltica. Para ello se determina mediante la carga de una probeta cilíndrica del tipo Marshall tal y como se describe en la norma INV-E-748 en su plano diametral vertical como se observa en la figura 7 bajo unas condiciones especificadas de velocidad de deformación y temperatura.

**Figura 7 Esquema de una instalación para el ensayo de tensión indirecta.**



Fuente: INVIAS 2013.

Según la norma, tomando el procedimiento C, indica que se debe llevar las briquetas en cuestión a la temperatura de 25°C en baño de agua en un lapso de 30 a 120 minutos. Para ello se escogió en el proyecto una hora.

A continuación se retiran los especímenes del agua para aplicación de la carga vertical de compresión hasta que alcance la carga máxima tomándola del dial del aparato Marshall.

### **6.3.3 Norma INV-E-725-13. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta.**

Este ensayo establece los procedimientos de especímenes de CA tipo Marshall evaluando el efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta.

El método evalúa el comportamiento de las probetas con o sin aditivo para poner a prueba la adherencia.

Esta norma propone para su ejecución tres baños:

- Uno de acuerdo a la norma INV-E-733-13
- Un baño que permita mantener una temperatura de  $60\pm 1^\circ\text{C}$  durante veinticuatro (24) horas.
- Un baño que permita mantener una temperatura de  $25\pm 1^\circ\text{C}$  durante una (01) hora.

### **Figura 8 briquetas en baño a 60 grados Celsius durante 24 horas en laboratorio de la Universidad Católica de Colombia**

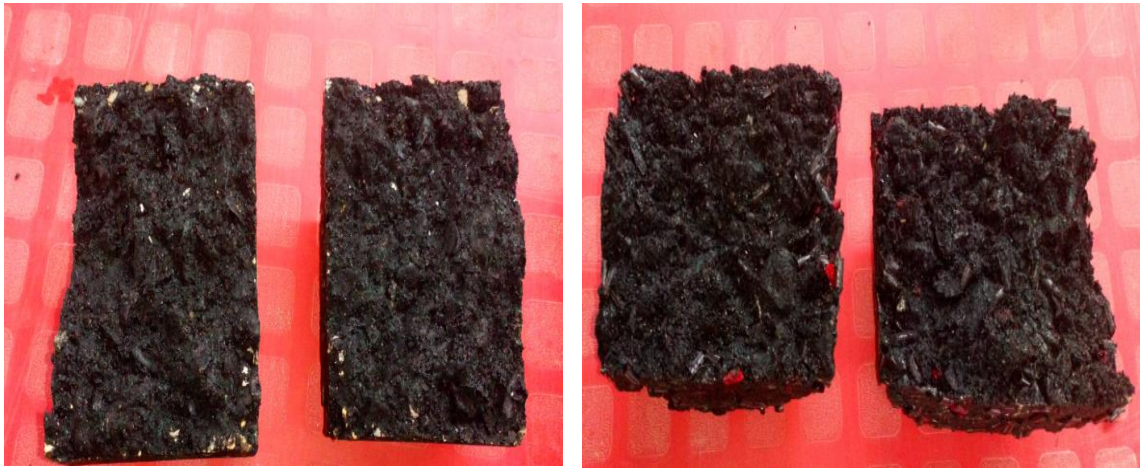


Fuente: El Autor.

Se deben tomar los datos en condición saturada de los especímenes como muestra la figura 8 y paso siguiente se colocan estos en el aparato Marshall tal y como se muestra en la figura 7 mediante la carga diametral a una tasa de deformación de 50 mm/min hasta que el dial ilustre la carga máxima. Se debe tener en cuenta abrir el espécimen para visualizar el daño causado como muestra la figura 9.



**Figura 9** briqueta control (imagen izquierda) y modificada (imagen derecha) abiertas luego de fallar a tracción indirecta a 60°C



Fuente: El Autor.

El cálculo de la resistencia a la tensión (RT) se expresa:

$$RT = \frac{2000 * P}{\pi * t * D}$$

Dónde:

- RT: Resistencia a la tensión en Kpa;
- P: Carga máxima en N;
- t: Altura del espécimen inmediatamente antes de la prueba en mm;
- D: Diámetro del espécimen en mm.

El cálculo de relación de resistencias a tensión como se observa a continuación:

$$RTT = \left[ \frac{RTH}{RTS} \right] X 100$$

Dónde:

RTT: Relación de resistencias a la tensión en porcentaje (%);

RTH: Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo en baño de agua a 60°C.

RTS: Resistencia promedio a la tensión del subgrupo en baño de agua a 25°C.

## **6.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

A continuación, se referencian los parámetros técnicos soporte del trabajo de investigación.

### **6.4.1 Cemento asfáltico**

El cemento asfáltico se designa por las letras CA o AC (Asphalt Cement) y se clasifican por lo general de acuerdo con su consistencia evaluada través de dos ensayos: penetración y viscosidad. Otra forma de clasificación utilizada principalmente en países desarrollados se realiza a través del grado de funcionamiento (PG).

### **6.4.2 Mezclas asfálticas**

“Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse in situ”. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, Mezclas Asfálticas, 2015) p.38 da ejemplo de las mezclas:

- Mezcla abierta en frio
- Mezcla abierta en caliente.
- Mezcla densa en frio.
- Concreto asfáltico o mezcla densa en caliente.
- Arena – Asfalto.
- Tratamientos superficiales.
- Lechadas (Slurry and Seal).
- Mezclas asfálticas drenantes.
- Mezclas discontinuas o micro aglomerados en caliente.
- Mezclas tibias.
- Mezclas asfálticas modificadas.
- Materiales granulares estabilizados con asfalto en frio o caliente.
- Las principales propiedades que se desean en las mezclas son:
- Resistencia bajo carga monotónica a tracción (estabilidad).
- Resistencia a las deformaciones permanentes.
- Resistencia a la fatiga.
- Resistencia al deslizamiento.
- Impermeabilidad.
- Resistencia al envejecimiento.
- Durabilidad.
- Resistencia a las condiciones Ambientales.
- Trabajabilidad.
- Economía.

Además, se aclara que los distintos tipos de mezclas asfálticas están conformadas por agregados pétreos con granulometría y requisitos mínimos de calidad diferentes presentando diferencias cada uno dentro de la estructura del pavimento.

### 6.4.3 Agregados pétreos

La denominación técnica “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados) utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, Mezclas Asfálticas, 2015)p.38.

### 6.4.4 Mezclas asfálticas modificadas

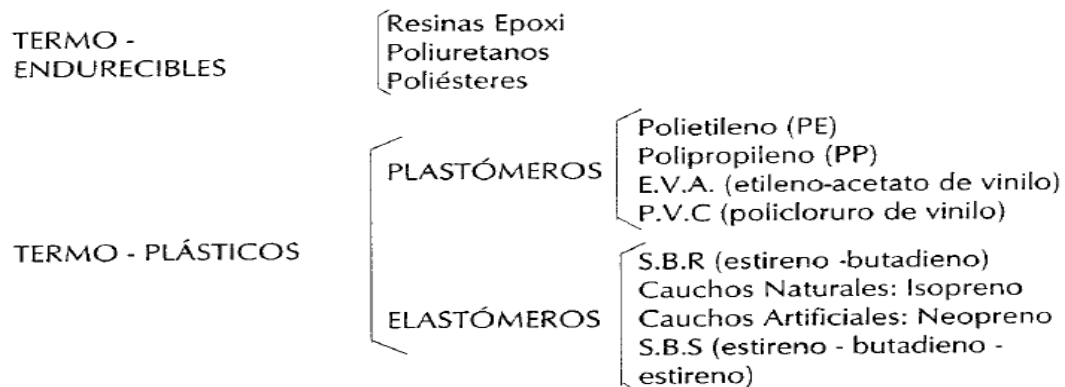
Existen varias técnicas para la modificación de mezclas asfálticas en el mundo. Las principales técnicas se les denominan vía húmeda y vía seca.

Por vía húmeda, el polímero o aditivo es agregado al asfalto a alta temperatura y, luego, este ligante ya modificado es adicionado al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica.

Por vía seca, el aditivo reemplaza parte del agregado pétreo (por lo general las fracciones más finas) y se adiciona a este a alta temperatura para luego recibir el asfalto y formar la mezcla asfáltica.

En general, la literatura de referencia reporta que por vía húmeda las desventajas, entre otras, son el mayor costo inicial de la mezcla (se requiere nuevos equipos en planta como la unidad de mezclado y almacenamiento del asfalto-aditivo, cambio de bombas y tuberías) y el aumento de la temperatura de mezclado. Por vía seca el tiempo de compactación de la mezcla es mayor y demanda mayor cantidad de ligante asfáltico.

**Figura 10 Clasificación de polímeros**



Fuente: (Monteja, 2013)Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. p 621

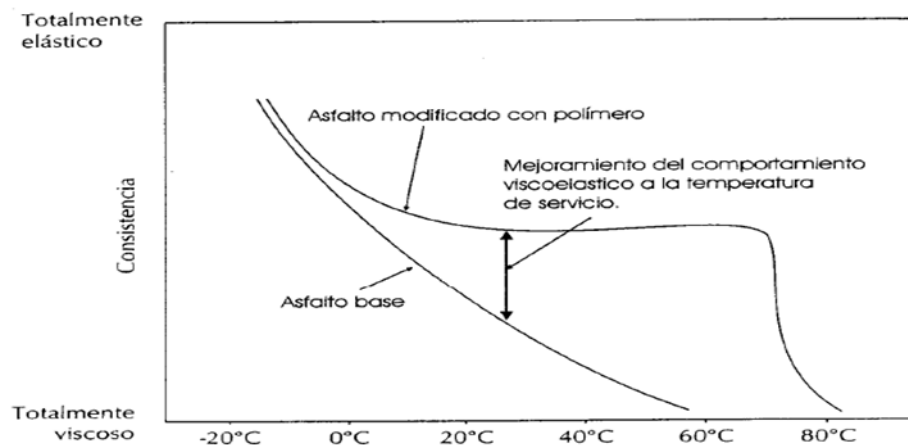
### 6.4.5 Los polímeros

Los polímeros son sustancias formadas por la unión, de varios miles de moléculas de pequeño tamaño también llamadas monómeros. La gran variedad de materiales poliméricos hace que su clasificación como se evidencia en figura 10.

Existen variedad de polímeros comerciales existentes, con composición química y propiedades diferentes, es lógico pensar que las posibilidades de modificación de los ligantes bituminosos con polímeros son compatibles con los ligantes hidrocarbonados (Monteja, 2013). p. 621 como muestra la figura 11. Los polímeros que mejoran la calidad de los asfaltos deben tener las siguientes características:

- Cadena general suficientemente larga.
- Baja polaridad, para facilitar su compatibilidad con el asfalto.
- Peso molecular elevado pero no excesivamente alto, para disminuir riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.
- Baja temperatura vítrea para permitir mejorar los problemas de deformación a bajas temperaturas.

**Figura 11 Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad térmica del asfalto**



Fuente: (Monteja, 2013) Ingeniería de Pavimentos para Carreteras p. 618

### 6.4.6 El polipropileno

El Polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos (homopolímero, copolímero rándom y copolímero de alto impacto), los cuales

pueden ser modificados y adaptados para determinados usos. (PETROQUIM, 2018).

Las principales características son:

- Optima relación Costo / Beneficio.
- Versatilidad: compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existentes y usado en diferentes aplicaciones comerciales, como, packaging, industria automotriz, textiles, menaje, medicina, tuberías, etc.
- Buena procesabilidad: es el material plástico de menor peso específico (0,9 g/cm<sup>3</sup>), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado.
- Buenas propiedades organolépticas, químicas, de resistencia y transparencia.
- Fácil de Colorear.

El Polipropileno es un verdadero se encuentra muy comúnmente en diversos productos que como, por ejemplo: cinta de enmascarar, pitillos, plásticos, juguetes, vasos plásticos, fibras, alfombras, bolsas, prado sintético, entre otros. (PETROQUIM, 2018)

Algunas de sus ventajas y desventajas son:

Ventajas: el polipropileno tiene muchas ventajas: es barato, utilizable en la industria alimentaria (es inodoro y no tóxico), muy resistente a la fatiga y flexión, muy denso, químicamente inerte, esterilizable y reciclable. Es un excelente aislante eléctrico.

Desventajas: Es frágil a baja temperatura, sensible a los rayos UV, menos resistente a la oxidación que el polietileno y difícil de pegar. (CANAL CONSTRUCCION CONSTRUIR, 2018)

La resistencia de polipropileno se puede mejorar mediante la mezcla con elastómeros EPR o EPDM. En la figura 12 se puede observar todo el material pitillo cortado para inclusión en los cuerpos de prueba.

**Figura 12 Material polipropileno de baja densidad PBD mezclador de tinto de 9cm cortado en 5mm**



Fuente: El Autor.

## **6.5 NUEVAS TECNOLOGÍAS**

Todo indica que el futuro de los pavimentos asfálticos es positivo. El desarrollo de nuevas tecnologías en los últimos años ha permitido mejorar la calidad de los productos y procedimientos utilizados en la pavimentación de vías con dos grandes ventajas: la reducción en los costos y alta durabilidad durante toda la vida de servicio del pavimento. (ASOPAC, 2004)p.41.

Conseguir unos pavimentos capaces de tener una vida útil lo más larga posible es el objetivo del proyecto europeo DURABROADS que se inicia en este mes de octubre y en el que participa un conjunto de empresas europeas y las españolas Acciona y Tecnalia, todas ellas lideradas por el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO) de la Universidad de Cantabria.

El título completo del proyecto es “Cost-effective durable roads by green optimized construction and maintenance (DURABROADS)”, tendrá una duración de tres años y un presupuesto de 2,5 millones de euros. Los trabajos que van a llevarse dentro de él están encaminados al diseño eficiente, desarrollo y validación de pavimentos de larga duración que resulten más económicos y ecológicos a partir de materiales mejorados con nanotecnología.

En este contexto se realizarán pruebas y ensayos con nanomateriales de carbono para crear betunes modificados que puedan ofrecer mejores propiedades. También se realizarán pruebas de mezclas templadas con asfaltos reciclados y subproductos industriales que sustituyan a los áridos naturales.

## 7 METODOLOGÍA

La metodología del proyecto está dividida en cuatro etapas. La primera etapa hace referencia a la preparación y caracterización física de los materiales, tales como los agregados pétreos, asfalto y polipropileno de baja densidad en forma de pitillos. La segunda etapa, hace referencia al diseño de una mezcla asfáltica en caliente de control MDC, por medio de la metodología Marshall. La tercera etapa hace referencia al efecto de la adición de los porcentajes de 1%, 2% y 3% en la mezcla asfáltica respectivamente como muestra la figura 13. En esta etapa se evaluaron la mezcla asfáltica de control y las mezclas asfálticas modificadas con PBD por vía seca con el contenido óptimo de asfalto determinado en la etapa 2. Para tal fin, fueron realizados ensayos de respuesta ante la acción de carga monotónica, tales como estabilidad y flujo Marshall. Finalmente, en la cuarta etapa se evaluó la adherencia de la mezcla de control y de las tres mezclas modificadas por medio de la relación de la resistencia a la tracción indirecta a las temperaturas de 25 y 60°C respectivamente, así como también por el desgaste a la abrasión determinada con el ensayo cántabro.

**Figura 13 Diseño de mezcla para briqueta tipo MDC-19 modificada con PBD por vía seca**



Fuente: El Autor.

Esta recopilación se basó en documento público proveniente de artículos de revistas, libros, normas, fuentes virtuales, investigaciones de carácter científico y también de proyectos realizados por distintos estudiantes que han realizado proyectos relacionados con el tema como se evidencia en los antecedentes y en la formulación de la presente investigación junto con el material consignado en el marco teórico.

Una vez recopilada la información teórica, se procede al enfoque de los procesos y procedimientos para la construcción de las briquetas de una mezcla asfáltica tipo MDC-19.

## 7.1 CARACTERIZACIÓN

Se describirán entonces los parámetros fundamentales para la obtención de las briquetas tipo y las modificadas consignadas en la norma INVIAS artículo 450-13.

### 7.1.1 Caracterización de los agregados

Se establecen entonces los parámetros cuantitativos y cualitativos de la granulometría, se definen los ensayos a realizar para la caracterización de los materiales principalmente en la norma INVIAS 2013 descritos anteriormente. Los agregados pétreos estudiados proceden de la cantera Rio Cobello – Tolima, Colombia. En la Figura 14 se ilustra las fracciones de los agregados utilizados en el presente estudio.

El análisis granulométrico que comprende la mezcla densa en caliente exige documentación de la norma INVIAS como lo son: de agregados gruesos y finos (INV. E-213-13), peso específico y absorción de agregados finos (INV. E-222-13), peso específico y absorción de agregados gruesos (INV. E-223-13), partículas fracturadas (INV. E-227-13), ensayo para medir el equivalente de arena (INV. E-133), índice de alargamiento aplanamiento (INV. E-230-13), Pérdida en ensayo de solidez utilizando sulfato de magnesio (INV. E-220-13), micro Deval (INV. E-238-13) y 10% de finos (INV. E-224-13).

Los resultados de los ensayos de caracterización se evidencian en la Tabla 3. De los resultados es posible evidenciar, que los mismos cumplen con los estándares para la realización de las mezclas asfálticas densas, según el INVIAS 2013.

**Tabla 3 Resultado de los agregados**

Ensayo	Procedimiento	Unidad	Resultado	Especificación
Valor Equivalente de Arena	ASTM D2419-09 [42]	%	81	min 55
Abrasión en Maq. De los Ángeles	ASTM C131-06 [43]	%	27	max 50
Adhesion del material Bituminoso	DNER 078-94 [46]	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
Gravedad especifica Bulk	ASTM C127-07 [47]	g/cm <sup>3</sup>	2.44	----
Gravedad especifica Bulk superficialmente saturada	ASTM C127-07 [47]	g/cm <sup>3</sup>	2.39	----
Absorción	ASTM C127-07 [47]	%	0.8	----
Gravedad especifica de los agregados	ASTM C128-07a [48]	g/cm <sup>3</sup>	2.57	----

Fuente: El Autor



**Figura 14 Granulometría utilizada para el diseño de las mezclas del tipo MDC-19**



Fuente: El Autor.

En la tabla 4 y como muestra la figura 14 la norma establece la granulometría base para la creación de la mezcla densa en caliente tipo MDC-19, que es la usada para la creación de las muestras tipo y las modificadas.

Es importante que los ensayos cumplan la calidad dispuesta por la norma INVIAS a continuación para que se garantice que el tipo de mezcla se acomoda a los estándares que validen los resultados obtenidos.

En el anexo 1 se encuentran las características cualitativas de la granulometría de las muestras.

**Tabla 4 Granulometría de mezclas de concreto asfáltico INVIAS 2013**

NORMAL	TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
	INVIAS (2013) ALTERNO	MDC-19
37.5mm	1 1/2"	-
25.0mm	1"	-
19.0mm	3/4"	100
12.5mm	1/2"	80-95
9.5mm	3/8"	70-88
4.75mm	No.4	49-65
2.00mm	No.10	29-45
425µm	No.40	14-25
180 µm	No.80	8-17
75 µm	No.200	4-8

Fuente: INVIAS 2013

## 7.1.2 Caracterización del cemento asfáltico CA

Del mismo modo, al cemento asfáltico (60-70) se le realizan los ensayos típicos que exige la especificación INVIAS como son: penetración (INV. E-706-13), viscosidad absoluta (INV. E-716-13), ductilidad (INV. E-702-13), solubilidad en tricloroetileno (INV. E-713-13), contenido de agua (INV. E-704-13), punto de ablandamiento (anillo y bola) (INV. E-712-13) y ensayo de película delgada en horno rotatorio (RTFOT) (INV. E-720-13). (Rondon & Grupo de Inversión de Pavimentos y Materiales, 2007) Como se cita en (Coicue Duarte & Sepulveda Salazar, 2017)p.54. La tabla 5 presenta los resultados obtenidos en la caracterización del cemento asfáltico, los cuales cumplen los exigidos por la especificación INVIAS para la fabricación de mezclas asfálticas.

Se exponen entonces los requisitos mínimos de calidad requerida para la obtención de cemento asfáltico según la norma INVIAS 2.013 con relación al CA 60-70 que interesa puesto es el concreto asfáltico mayormente utilizado en Colombia. En la tabla 5 se muestran los rangos que según el artículo 400 se deben tener en cuenta.

**Tabla 5 Requisitos mínimos de calidad del CA**

Ensayo	Método	Unidad	CA 60-70
Ensayos sobre el asfalto original ( sin someter a procesos de envejecimiento)			
Penetración (25°C, 100g, 5s)	INV E 706, ASTM D-5	0.1mm	60-70
Punto de ablandamiento	INV E-712 ASTM D-36-95	°C	48-54
Índice de penetración	INV E-724 NLT 181	-	-1.2 a + 0.6
Viscosidad absoluta (60°C)	INV E-716 ASTM D-4402	P	1500min
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	INV E-702 ASTM D-113	Cm	100min
Solubilidad en tricloroetileno	INV E-713 ASTM D-2042	%	99min
Contenido de agua	INV E-704 ASTM D-95	%	0.2max
Punto de inflamación	INV E-709 ASTM D-92	°C	230min
Contenido de parafinas	INV E-718 UNE-EN-12606	%	3max

Fuente: INVIAS 2013, Artículo 400

En el anexo 2 se evidencian las pruebas realizadas de ductilidad y penetración.

### 7.1.3 Caracterización del aditivo

Además de conseguir el material granular, componente básico para la realización de las briquetas según el artículo del INVIAS 450 – 13, se busca el material polipropileno de baja densidad (PBD) que es un material visto muy comúnmente en la cotidianidad como por ejemplo cinta de enmascarar, vasos plásticos, fibras, mezclador de tinto entre otros.

Por comodidad en la adición, se tomó como elemento el mezclador de tinto ya que se hace más fácil de cortar para que la distribución en las briquetas proporcione homogeneidad.

Se decide ingresar el ingrediente en porciones con un diámetro nominal de +/- 5mm con un rango de 1mm de error como se puede observar en la figura 15.

Los mezcladores o pitillos se consiguieron de la compra en una tienda común en Bogotá Colombia, en paquetes que pesan individualmente 95gr de material para lo cual se necesitaron de 9 paquetes (casi unos ochocientos gramos de material) para cubrir el total de las briquetas a modificar que son 28 de 48 y como peso base unos ochocientos gramos de PBD

**Figura 15 PBD cortado referenciado en tamaño con una mano adulta**



Fuente: El Autor.

## 7.2 DISEÑO MARSHALL PARA LA MEZCLA DE CONTROL

Para el diseño de la mezcla asfáltica de control, se elaboraron 15 briquetas utilizando 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% de asfalto. Las mezclas fueron compactadas con 75 golpes por las dos caras. Para la determinación del contenido óptimo de asfalto de la mezcla de control, se adoptó los criterios de la tabla del Invias 2013 que resulta una información detallada para medir su composición volumétrica y la resistencia de la mezcla asfáltica bajo carga monotonica a través de la estabilidad (E) y el flujo (F) que permita determinar el porcentaje óptimo del asfalto que deba presentar las muestras en su mejor comportamiento.

En la tabla 7 se establecen los criterios para diseño del proceso de fabricación de una briqueta Marshall concreto asfaltico establecido en la norma Invias. Para el cálculo de los parámetros volumétricos y de resistencia se utilizaron las siguientes Ecuaciones:

$$VA = \left( \frac{Gmb}{Gmm} \right) * 100$$

Dónde:

VA: Porcentaje de vacíos con aire en la mezcla compactada.  
Gmm: Gravedad Específica Máxima.  
Gmb.....Gravedad Específica Bulk.

$$\text{Contenido de asfalto (\%)} = \left( \frac{(W1 - W2) - (W3 - W4)}{(W1 - W2)} \right) * 100$$

Dónde:

W1 Masa del espécimen, en promedio 1200g  
W2 Masa del agua en la porción del ensayo  
W3 Masa del agregado mineral extraido  
W4 Masa del material en el extracto

Gmb ó

$$\text{Densidad Bulk (g/cm}^3\text{)} = \left( \frac{\text{Masa en el aire}}{(\text{PSS} - \text{Masa en agua})} \right)$$

Dónde:

PSS Masa del espécimen superficialmente saturado.

Gmm ó

$$\text{Gravedad específica máxima} = \left( \frac{100}{\left( \left( \frac{100 - \%CA}{pAP} \right) + \left( \frac{\%CA}{pCA} \right) \right)} \right)$$

Dónde:

- CA Porcentaje de inclusión de cemento asfáltico
- pAP Peso específico del agregado pétreo, en laboratorio 2.57
- pCA Peso específico del cemento asfáltico, en laboratorio 1.012

VAM ó

$$\text{Vacío en agregado mineral (\%)} = 100 - \text{Vol. agregado}$$

$$\text{Vol. Agregado (\%)} = \left( \frac{(100 - \%CA)}{\left( \left( \frac{100}{pAP} \right) \right)} \right) * 100$$

**Tabla 6 Criterios para diseño de concreto asfáltico (ensayo Marshall)**

Características		Norma de ensayo INV	MDC, MSC, MGC		
			NT1	NT2	NT3
Compactación (golpes/cara)		E-748	50	75	75
Estabilidad mínima (N)		E-748	5000	7500	9000
Flujo (mm)*		E-748	2-4	2-4	2-3.5
Estabilidad/flujo (KN/mm)		E-748	2-4	3-5	3-6
Vacíos con aire (Va) (%)	Rodadura	E-736, 799	3-5	3-5	4-6
	Intermedia		4-8	4-8	4-7
	Base		-	5-8	5-8
Vacíos en los agregados (VAM) (%)	Mezclas de 38mm	E-799	≥13	≥13	≥13
	Mezclas de 25mm		≥14	≥14	≥14
	Mezclas de 19mm		≥15	≥15	≥15
	Mezclas de 10mm		≥16	≥16	≥16
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (%) para rodadura e intermedia		E-799	65-80	65-78	65-75

Fuente: Invias 2013.

En la figura 16 se puede observar el procedimiento para la obtención de la briqueta tipo Marshall MDC-19 con adición porcentual de PBD por vía seca.

**Figura 16 Procedimiento para la realización del ensayo Marshall para el diseño de mezclas asfálticas según INV E 748 – 13.**



Fuente: El Autor

### **7.3 DISEÑO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON PBD POR VÍA SECA**

A partir del contenido óptimo de asfalto, se realizó la incorporación de 1%, 2% y 3% de PBD en la mezcla asfáltica respectivamente por vía seca.

Se escoge esta la vía seca como inclusión del material a la mezcla por dos razones: la primera tal y como expone (Velar 1997) citado en (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, Concreto Asfáltico, 2015) “Por vía seca el tiempo de compactación de la mezcla es mayor y demanda mayor cantidad de ligante asfáltico. Sin embargo, el proceso seco es más económico que el húmedo.” El proyecto tiene el claro objetivo de lograr una investigación precisa que aporte al conocimiento utilizando de la mejor manera el presupuesto para su ejecución. La segunda razón surge de la constante búsqueda donde se encontraron trabajos de investigación de colegas que ya han realizado un trabajo similar por vía húmeda para lo cual se compararán los resultados obtenidos.

Para medir el resultado de las briquetas control contra las modificadas mediante ensayo de desgaste, tracción y compresión, se realizarán los ensayos según norma INV-E-760-13(Cantabro), INV-E-725-13(Tracción Indirecta a 25 y 60 grados Celsius) y INV-E-748-13 (Estabilidad y Flujo Marshall) respectivamente.

### **Figura 17 Diseño de Briqueta con inclusión del 3% de PBD**



Fuente: El Autor.

La cantidad de briquetas generadas es de veintisiete (36) como se observan en la imagen derecha de la figura 17 para cubrir los ensayos nombrados anteriormente se describen a continuación:

- 9 cuerpos de prueba tipo Marshall con inclusión del 1% de PMD
- 9 cuerpos de prueba tipo Marshall con inclusión del 2% de PMD
- 9 cuerpos de prueba tipo Marshall con inclusión del 3% de PMD
- 9 cuerpos de prueba tipo Marshall sin aditivo

Luego se fallaron los cuerpos así:

- Se fallaron 8 cuerpos de prueba para cantabro, dos especímenes de cada tipo.
- Se fallaron 8 cuerpos de prueba para Tracción Indirecta a 25°C, dos especímenes de cada tipo.
- Se fallaron 8 cuerpos de prueba para Tracción Indirecta a 60°C, dos especímenes de cada tipo.
- Se fallaron 12 cuerpos de prueba para Estabilidad - Flujo, tres especímenes de cada tipo.

Con ello se espera concluir si el aprovechamiento del material polipropileno en cierto porcentaje de diseño mejora las propiedades a mecánicas ya que la mezcla podrá hacer menor impacto al medio ambiente y es económicamente rentable en la construcción de nuevas vías.

## 8 RESULTADOS

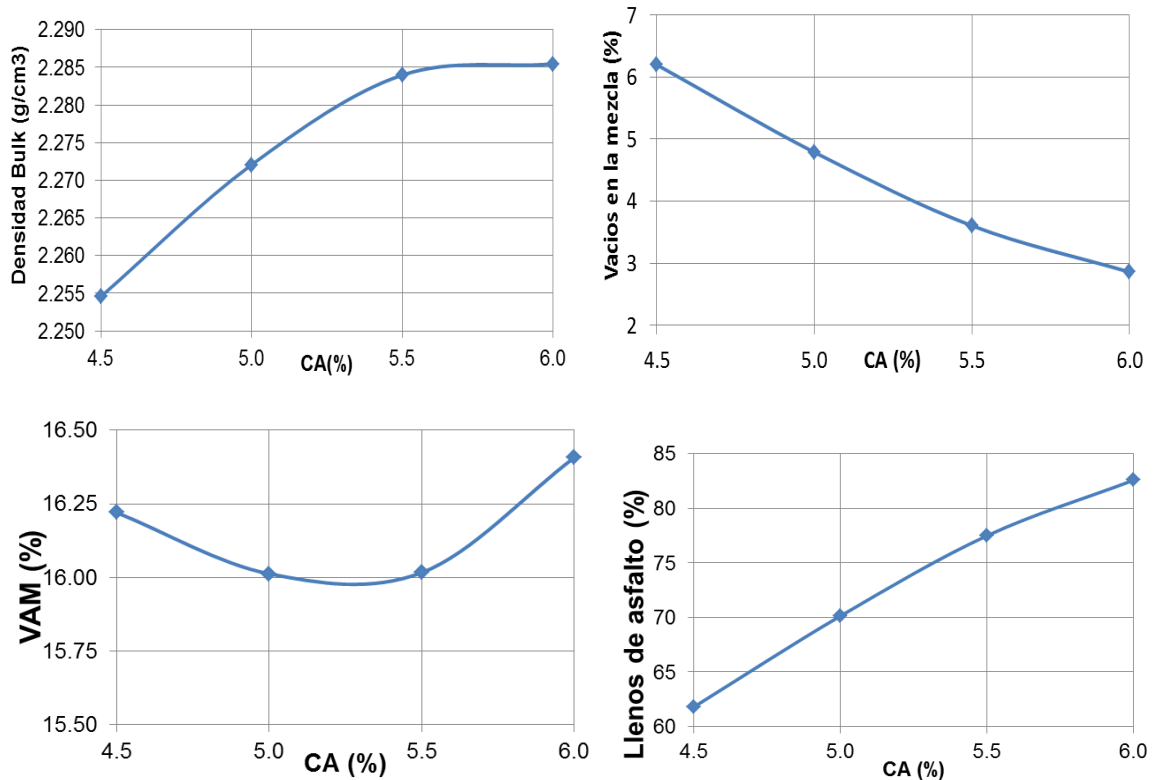
A continuación se expondrán y analizarán los resultados previamente descritos en la metodología donde se pone a prueba la inclusión porcentual de PBD en una mezcla densa en caliente tipo MDC - 19.

### 8.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONTROL MDC – 19

#### 8.1.1 Parámetros volumétricos mezcla control

En la figura 18 se evidencia que la densidad Bulk y los llenos de asfalto aumentan en relación del aumento porcentual de CA. También se puede concluir que los vacíos en la mezcla disminuyen los que es lógico puesto que al adicionar más CA se recubren mejor los agregados y se generan menos vacíos. El resumen de los parámetros volumétricos de la mezcla de control es presentado en la Tabla 7.

**Figura 18 Evolución de los parámetros volumétricos con respecto al contenido de asfalto mezcla control**



Fuente: El Autor.



**Tabla 7 Promedio de densidades y vacíos en briquetas control**

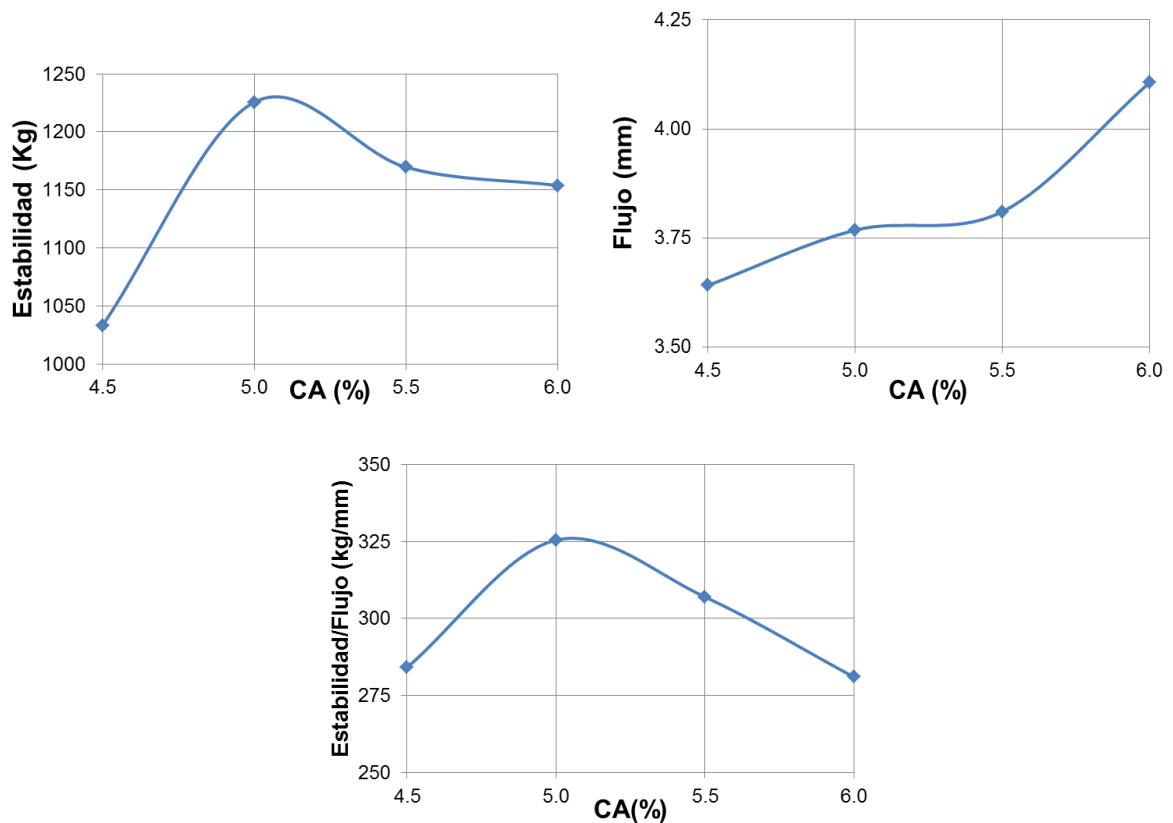
CA [%]	Densidad bulk			
	[g/cm <sup>3</sup> ]	Vacíos [%]	VAM [%]	VFA [%]
4.5	2.255	6.20	16.22	61.81
5.0	2.272	4.79	16.01	70.14
5.5	2.284	3.60	16.02	77.50
6.0	2.285	2.86	16.41	82.58

Fuente: El Autor.

Se consideran dentro de la norma como indican “ (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, Mezclas Asfálticas, 2015) Estos por lo general deben presentar un bajo contenido de vacíos respecto al volumen que van por lo general ente el 3 y el 9% “pág. 53. En la tabla 7 el valor promedio de vacíos se encuentra dentro del rango de densidad para diseño MDC – 19.

### 8.1.2 Parámetros Resistencia Marshall

**Figura 19 Evolución de los parámetros de resistencia con respecto al contenido de asfalto mezcla control.**



Fuente: El Autor.

En la figura 19 se aprecian las siguientes informaciones: lo primero es que la estabilidad de las muestras se da cuando se obtiene un contenido de CA del 5.0% con valor superior a los 1200Kg, lo segundo es que el flujo aumenta respecto a la inclusión de CA pero su rango se mantiene dentro de los parámetros establecidos en la norma y en tercer lugar la relación Estabilidad- Flujo obtiene el máximo valor en resistencia a los 325kg/mm con adición del 5.0% de CA.

En la tabla 8 se observan el promedio de las muestras (3 por cada contenido de CA).

**Tabla 8 Promedio Estabilidad Flujo para cada contenido de Asfalto**

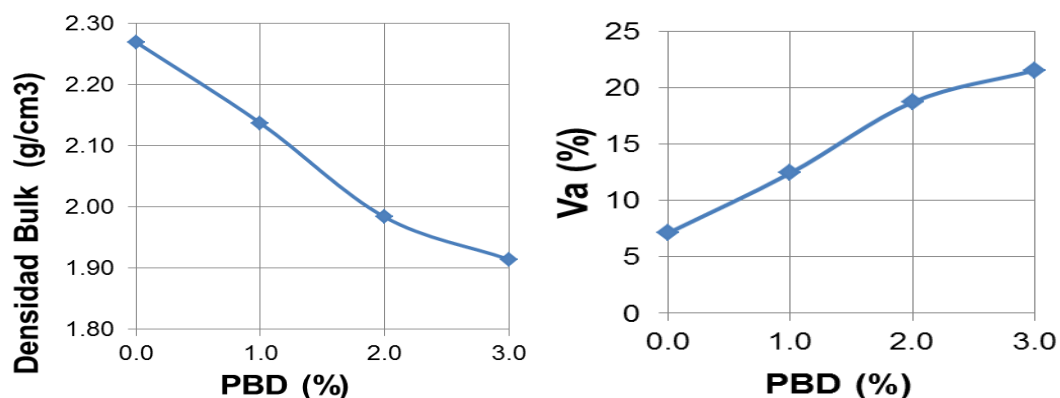
CA [%]	Estabilidad [kg]	E/F [kg/mm]	Estabilidad [kg]	E/F [kg/mm]	Flujo [mm]
4.5	1072.96	294.91	1033.26	284.00	3.64
5.0	1250.65	332.03	1225.64	325.39	3.77
5.5	1175.47	308.52	1169.60	306.98	3.81
6.0	1148.14	279.56	1153.88	280.96	4.11

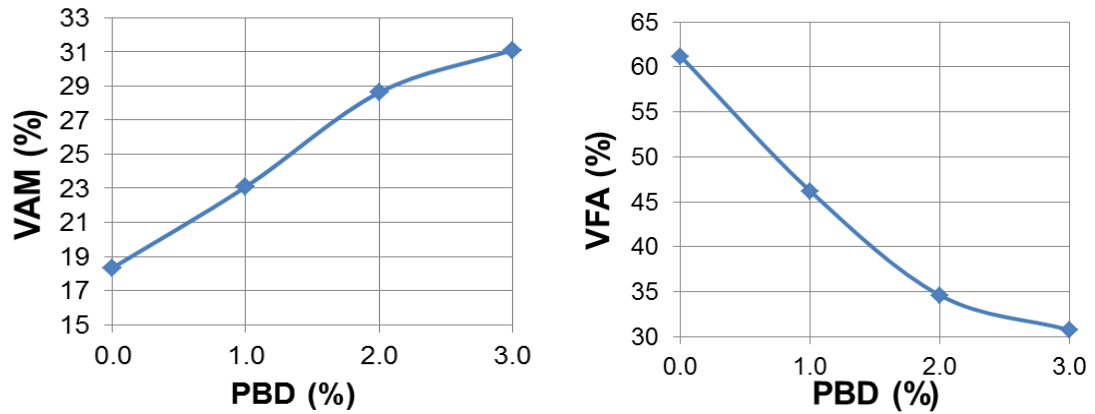
Fuente: El Autor.

## 8.2 ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE PBD

### 8.2.1 Parámetros volumétricos mezclas modificadas

**Figura 20 Evolución de los parámetros volumétricos con respecto al contenido de asfalto mezcla modificada.**





Fuente: El Autor.

La figura 20 se evidencia que la densidad Bulk y los llenos de asfalto disminuyen en relación del aumento porcentual de PBD. También se puede concluir que como caso contrario, los vacíos en la mezcla aumentan en relación al agregar pitillo a los especímenes.

Los datos obtenidos para la evaluación de la resistencia Marshall están consignados en el anexo 4 del presente documento.

#### Figura 21 Briquetas falladas en ensayo de Estabilidad – Flujo

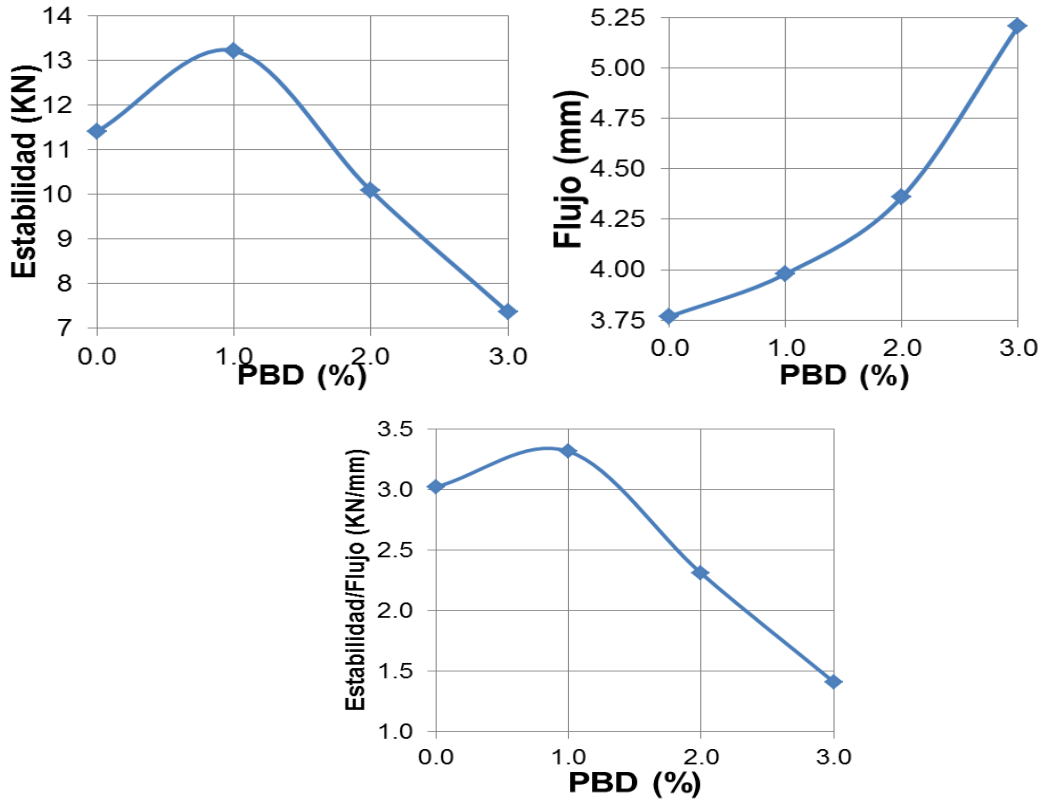


Fuente: El Autor.

En la figura 21 se aprecia al espécimen fallado en la máquina Marshall

## 8.2.2 Estabilidad, flujo y E/F con el contenido de PBD.

Figura 22 Evolución de los Estabilidad, Flujo y relación E/F con respecto al contenido de PBD.



Fuente: El Autor.

En la figura 22 se puede evidenciar que se consigue el valor máximo de la estabilidad en adición del 1.0% de PBD con valor de 13KN que es superior al espécimen control. Aun así también podemos ver que al agregar aún más pitillo a las muestras desmejoran la relación estabilidad.

En caso del flujo se puede observar que la deformación aumenta respecto a la inclusión porcentual de PBD.

El valor máximo obtenido para la Estabilidad – Flujo en relación con la adicción de pitillos supera los 3KN/mm cuando solo se adiciona el 1.0% de PBD respecto al peso de la briqueta.

En la tabla 9 se muestran los resultados de la Estabilidad Flujo la cual muestra los valores del flujo – deformación que aumenta en relación a la inclusión de PBD.

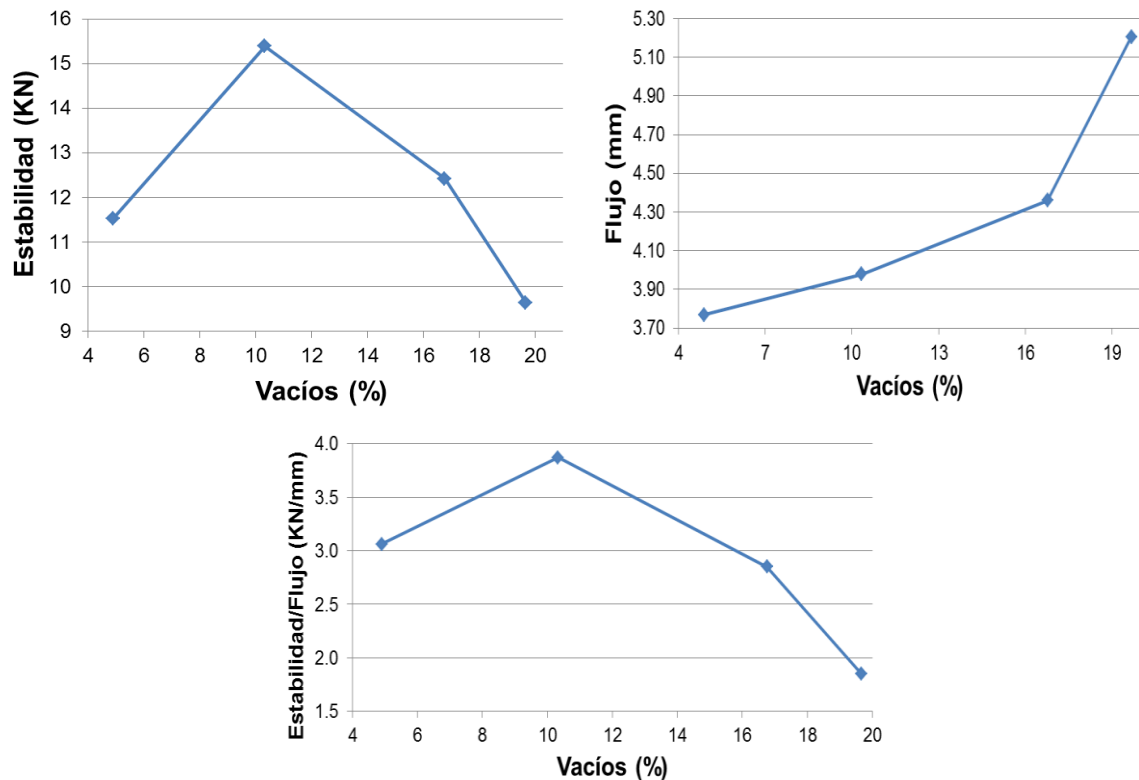
**Tabla 9 Promedios en prueba de Estabilidad - Flujo**

Pitillo [%]	Estabilidad [kN]	E/F [kN/mm]	Estabilidad [kN]	E/F [kN/mm]	Flujo [mm]
0.0	11.54	3.06	11.40	3.03	3.77
1.0	15.39	3.87	13.21	3.32	3.98
2.0	12.42	2.85	10.08	2.31	4.36
3.0	9.64	1.85	7.36	1.41	5.21

Fuente: El Autor.

### 8.2.3 . Estabilidad, flujo y E/F con el contenido vacíos.

**Figura 23 Estabilidad, flujo y E/F con el contenido vacíos.**



Fuente: El Autor.

La relación Estabilidad respecto al contenido de los vacíos para la figura 23 muestra una estabilidad máxima de 15KN cuando tiene alrededor de 10(%) de contenido de vacíos pero luego de ello decae. Contrario a ello la deformación aumenta cuanto más pitillo se ingresa a la mezcla. La relación Estabilidad – Flujo presenta el mismo comportamiento de la curva de estabilidad con máximo superior de los 3.8KN/mm.

**Tabla 10 Promedio de densidades y vacíos en briquetas modificadas**

Pitillo [%]	Densidad bulk		VAM [%]	VFA [%]
	[g/cm <sup>3</sup> ]	Vacíos [%]		
0.0	2.270	7.12	18.33	61.17
1.0	2.137	12.43	23.09	46.19
2.0	1.984	18.71	28.62	34.62
3.0	1.914	21.54	31.11	30.77

Fuente: El Autor.

En la tabla 10 se muestran los resultados de las densidades respecto a la inclusión de pitillo evidenciando el crecimiento de los vacíos a medida de que se adiciona PBD. Los rangos que se obtuvieron según el ensayo muestran vacíos superiores a los establecidos por la norma.

### **8.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE PBD**

Se realizaron ensayos triaxiales cíclicos sobre el material para evaluar el comportamiento del material bajo la influencia de agua que se encuentra a temperaturas de 25 y 60°C determinando así el impacto en la deformación permanente proporcional al incremento de estado de saturación de las mismas.

#### **8.3.1 Resistencia a la tracción indirecta en baño a 25°C**

A continuación, se exponen los efectos de adición de aditivos en aras de evaluar la adhesividad en los especímenes frente a los convencionales en baño a 25°C por una hora. Los datos obtenidos se encuentran consignados en el anexo 6.

**Figura 24 Briqueta modificada para prueba de resistencia a tracción a 25 grados Celsius en prensa Marshall.**



Fuente: El Autor.

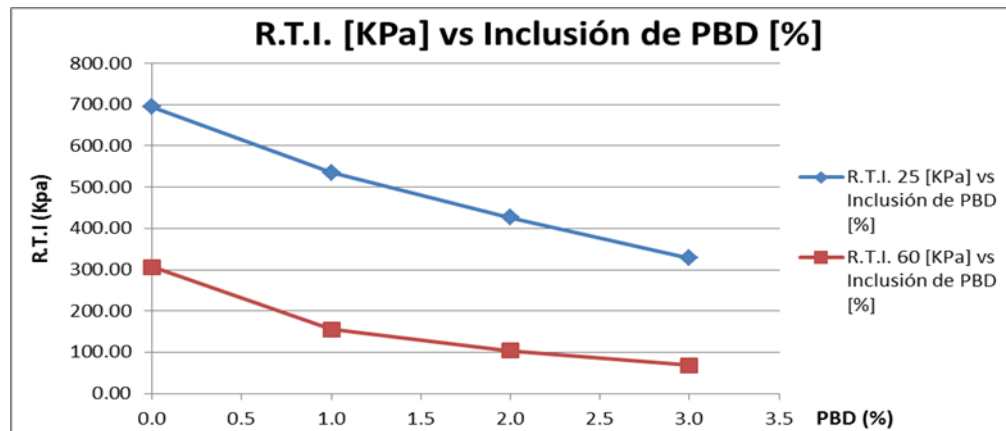
**Tabla 11 Promedios de RTI en baño a 25°C**

Pitillo [%]	Long. [mm]	Diám. [mm]	Masa enaire [g]	Masa enagua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm3]	Vol. Agreg. [%]	CA 60-70 (5%) - T.I. 25°C Promedios					RT [KPa]
								Gmm	Vacios [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	
0.0	65	100	1196	676	1197	2.295	84.82	2.39	3.84	11.34	15.18	74.70	694.60
1.0	68	100	1203	638.5	1211	2.101	77.68	2.39	11.94	10.38	22.32	46.52	535.51
2.0	75	100	1183	599.5	1205	1.953	72.19	2.39	18.16	9.65	27.81	34.70	426.53
3.0	77	100	1100	556.5	1149	1.857	68.63	2.39	22.20	9.17	31.37	29.27	328.23

Fuente: El Autor.

Como se puede evidenciar en la tabla 11 respecto a las tablas de tracción indirecta en baño a 25°C, entre mayor sea el contenido de inclusión de PBD, mayor es el contenido de agua pues estos tienen mayores contenidos de vacíos y por ello menor peso en el agua. Esto significa que las briquetas están más saturadas y por ello más expuestas a la disgregación y presa fácil a la fatiga por carga monotónica

**Figura 25 Resistencia a la tracción indirecta en baño de 25 y 60 grados Celsius**



Fuente: El Autor.

La resistencia a la tracción como se representa en la figura 25 demuestra la superioridad de las muestras que se fallaron a 25°C frente a las que se fallaron a 60°C en procedimiento establecido según norma INV-E-725-13.

### 8.3.2 Resistencia a la tracción indirecta en baño a 60°C

Se exponen los efectos de adición de aditivos en aras de evaluar la adhesividad en los especímenes frente a los convencionales en baño a 60°C por 24 horas.

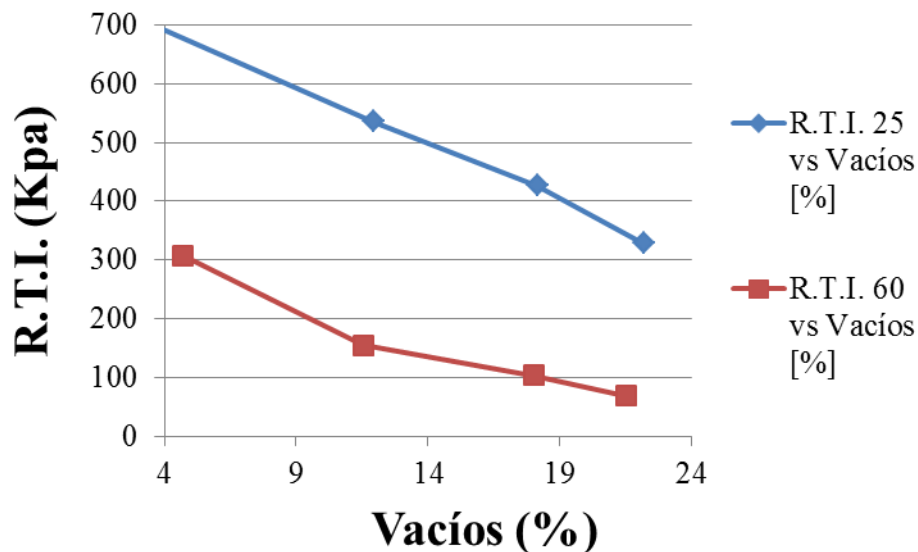
**Tabla 12 Promedios de RTI en baño a 60°C**

CA 60-70 (5%) - T.I. 60°C Promedios													
Pitillo [%]	Long. [mm]	Diám. [mm]	Masa enaire [g]	Masa enagua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm <sup>3</sup> ]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [KPa]
0.0	64.5	100	1195	671	1197	2.27	84.06	2.39	4.70	11.24	15.94	70.52	307.01
1.0	70	100	1202	640	1210	2.11	78.03	2.39	11.55	10.43	21.97	47.50	155.08
2.0	74	100	1170	595.5	1194	1.96	72.32	2.39	18.01	9.67	27.68	34.93	103.55
3.0	75	100	1116	552	1148	1.87	69.22	2.39	21.53	9.25	30.78	30.06	68.11

Fuente: El Autor.

A continuación, en la figura 26 se evidencia el resultado a la tracción de 25 y 60 grados Celsius respecto al porcentaje de vacíos en los especímenes que deja la conclusión que entre mayor sea el contenido de vacíos en la muestra, menor será la resistencia de la misma. Los datos obtenidos se encuentran consignados en el anexo 7.

**Figura 26 Resistencia a la tracción indirecta vs porcentaje de vacíos**



Fuente: El Autor.

### 8.3.3 Relación de resistencias a la tracción RTT

El aumento de la temperatura en cualquier material se relaciona directamente a la vibración de las partículas atómicas causando una especie de rotura en los elementos por aumento de energía cinética a escalas moleculares como lo expuso Robert Boyle en el siglo XVI en su modelo cinético molecular.

Esto significa que, en cierto sentido, debido a que las mezclas de concreto asfáltico presentan un comportamiento viscoso, propiedades como la rigidez



cambian con las variaciones de velocidad de aplicación de la carga y con las variaciones de temperatura. Si estas últimas resultan en variaciones de la rigidez del concreto asfáltico, entonces para un mismo nivel de carga se presentan cambios en el esfuerzo de la mezcla. En los ensayos bajo esfuerzo controlado, la disminución de la temperatura significa el aumento de la vida a la fatiga de la mezcla ensayada: varios ensayos realizados a diferentes temperaturas, bajo el mismo nivel de esfuerzo, indican que la reducción de la temperatura lleva a un aumento de la rigidez de la mezcla; por consiguiente esta experimenta una menor deformación en cada ciclo de carga y presenta una vida a la fatiga más larga. (Epps & Monismith. 1972) Como se cita en (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015) pág. 207.

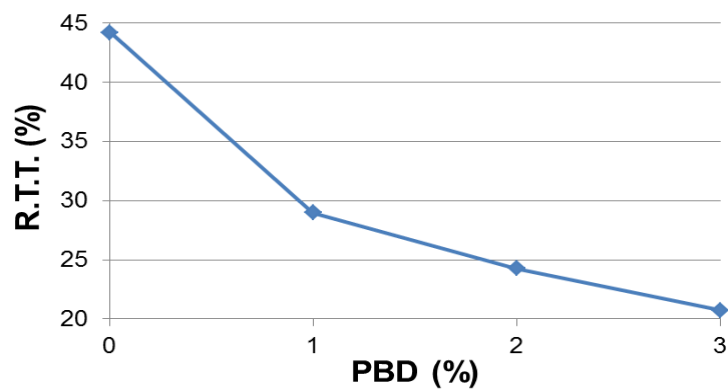
**Tabla 13 Relación de resistencias a la tracción RTT**

Pitillo [%]	RT 25 [KPa]	RT 60 [KPa]	RRT [%]
0.0	694.60	307.01	44.20
1.0	535.51	155.08	28.96
2.0	426.53	103.55	24.28
3.0	328.23	68.11	20.75

Fuente: El Autor.

Como se puede evidenciar en la tabla 13 y en la figura 27, se aprecia que la relación a la resistencia a la tracción se ve afectada con la inclusión porcentual de polietileno de baja densidad PBD dado en que entre mayor sea el porcentaje de pitillo, menor es su característica rígida.

**Figura 27 Relación de resistencias a la tracción RRT**



Fuente: El Autor.

## 8.4 RESULTADOS DE ENSAYO DE CANTABRO

En este ensayo se expondrán los valores obtenidos en laboratorio por producto de experimentar los distintos especímenes descritos en la metodología de cantabro INV-E-760-13 sin la carga abrasiva cada uno en 300 vueltas o a 33 r.p.m. durante nueve minutos y treinta segundos como se puede revisar en la tabla 5 a una temperatura de 25<sup>0</sup>C que permitan calcular el desgaste de las briquetas modificadas respecto a las convencionales.

En las tablas 14 y 15 se observan los resultados de desgaste de cantabro.

**Tabla 14 Resultados para cantabro en máquina de los Ángeles convencionales e inclusión de PBD (1%)**

CA 60-70 (5%) - Convencional (0%)				CA 60-70 (5%) - Modificada (1%)			
Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]	Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]
1191.00	1142.00	49.00	4.11	1211.00	1110.00	101.00	8.34
1202.00	1144.00	58.00	4.83	1194.00	1143.00	51.00	4.27
<b>1196.50</b>	<b>1143.00</b>	<b>53.50</b>	<b>4.47</b>	<b>1202.50</b>	<b>1126.50</b>	<b>76.00</b>	<b>6.31</b>

Nota: Los valores promedios se encuentran en Negrilla. Fuente el autor

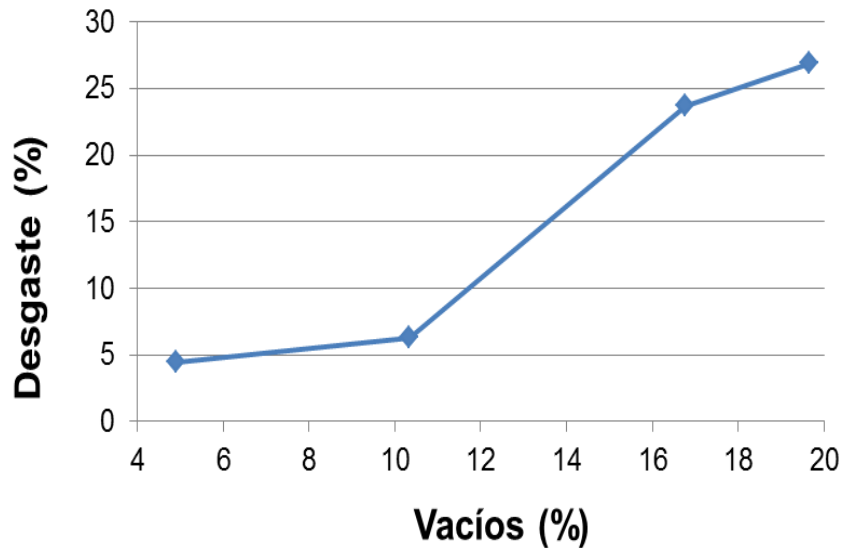
**Tabla 15 Resultados para cantabro en máquina de los Ángeles inclusión de PBD del 2 y 3%**

CA 60-70 (5%) - Modificada (2%)				CA 60-70 (5%) - Modificada (3%)			
Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]	Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]
1161.00	825.00	336.00	28.94	1136.00	815.00	321.00	28.26
1174.00	957.00	217.00	18.48	1138.00	847.00	291.00	25.57
<b>1167.50</b>	<b>891.00</b>	<b>276.50</b>	<b>23.71</b>	<b>1137.00</b>	<b>831.00</b>	<b>306.00</b>	<b>26.91</b>

Nota: Los valores promedios se encuentran en Negrilla. Fuente el autor

En las tablas 14 y 15 se puede apreciar el porcentaje de pérdida con un máximo de 23.71 (%) generado al incluir el 3.0(%) de PBD luego de más de nueve minutos en cantabro a 33rpm

**Figura 28 Relación porcentual de desgaste vs porcentaje de vacíos**



Fuente: El Autor.

Se puede concluir de la figura 28 que el desgaste está involucrado con la cantidad de vacíos ya que a mayor contenido de vacíos, mayor es el desgaste en la muestras lo cual refleja que el material PBD en inclusión por vía seca no mostro una adherencia mejorada respecto a la briqueta control.

#### 8.4.1 Características de la adherencia

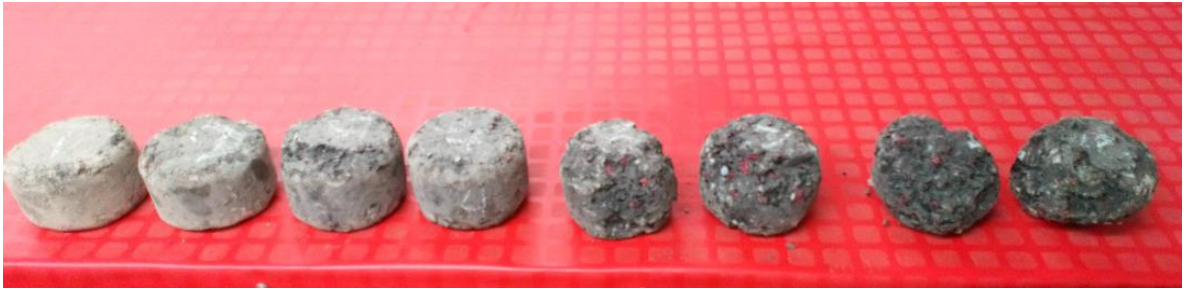
**Tabla 16 Promedios Ensayo Cantabro CA 60 - 70 (5%)**

Promedios Ensayo Cantabro CA 60-70 (5%)				
Pitillo [%]	Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]
0.0	1196.50	1143.00	53.50	4.47
1.0	1202.50	1126.50	76.00	6.31
2.0	1167.50	891.00	276.50	23.71
3.0	1137.00	831.00	306.00	26.91

Fuente: El Autor.

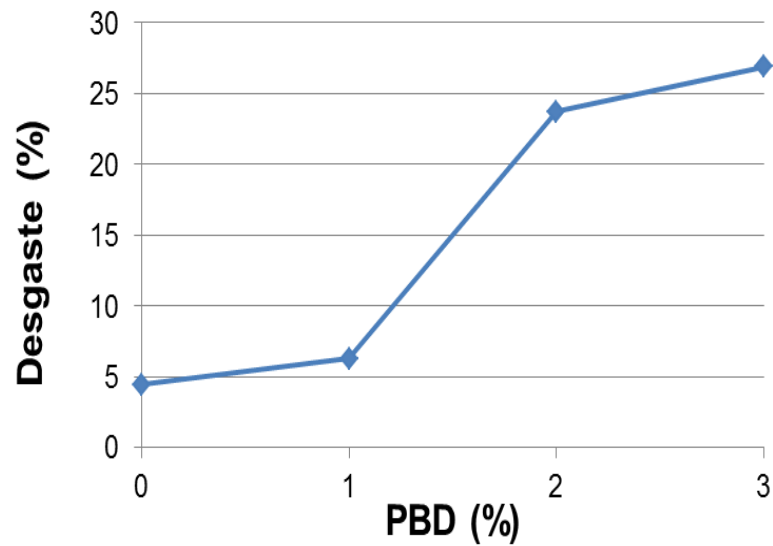
Se observa en la tabla 16 y la figura 29 el resultado de la disgregación de las partículas para las mezclas por medio del ensayo de cantabro. De izquierda a derecha se encuentran: las briquetas convencionales, inclusión del 1.0%, inclusión del 20%, e inclusión del 3.0%, respectivamente en lo cual se puede describir que entre mayor cantidad porcentual de agregado polipropileno de baja densidad o PBD, mayor el desgaste presento el espécimen luego de nueve minutos y medio en máquina de los Ángeles.

**Figura 29 Resultados de cantabro en máquina de los Ángeles**



Fuente: El Autor.

**Figura 30 Relación porcentual de desgaste vs inclusión porcentual de PBD**



Nota: La resistencia de la mezcla se ve realmente deteriorada cuanto más porcentaje de inclusión de material se incluyó en el espécimen.

Fuente: El Autor.

La consigna de los datos evaluados para el ensayo de desgaste se encuentra consignados en el anexo 5 del presente documento.

## 9 CONCLUSIONES

A partir de los resultados de laboratorio realizados con el fin de adicionar PBD en la mezcla asfáltica de control, es posible concluir:

- El contenido óptimo de asfalto para la mezcla en caliente MDC – 19 por vía seca a través del ensayo Marshall es del 5.0%, el cual corresponde a un valor usual para las mezclas asfálticas para los materiales locales.
- La mezcla modificada en adición del 1.0% de polipropileno de baja densidad mostró un aumento en su capacidad portante respecto a los especímenes convencionales y los modificados con adición de PBD del 2.0 y 3.0%.
- La inclusión de polipropileno de baja densidad por vía seca no mostró mejoría ante el ensayo de desgaste puesto que, entre mayor inclusión de material, mayor era la desagregación de la mezcla. Lo anterior, puede entenderse por la falta de asfalto para recubrir los agregados y las partículas de PBD.
- La adición de polipropileno de baja densidad por vía seca no superó los resultados de las briquetas convencionales ante los ensayos de tracción indirecta. Lo cual también puede ser atribuido a la falta de adherencia por presencia del asfalto.
- Contenido de vacíos aumentó considerablemente porque al agregar el PBD el asfalto aumento la viscosidad y se compactó la mezcla con la misma temperatura de mezcla de control, perdiendo así manejabilidad y compactibilidad.
- Como gran conclusión, se puede reportar técnicamente que la adición de 1% PBD en la mezcla asfáltica aumenta la estabilidad Marshall, sin embargo, disminuye la adherencia (resistencia a la tracción y desgaste cantabro). En este sentido, es necesario realizar ensayos mecánicos con cargas dinámicas, a fin de observar la recuperación elástica del material y los fenómenos de deformación permanente y fatiga para validar su uso en la ingeniería de pavimentos.
- Desde el punto de vista ambiental, la técnica de incorporación del residuo de PDB se considera viable en las mezclas asfálticas para pavimentos, por permitir una forma de disposición final, ambientalmente correcta y permitir realizar prácticas de la ingeniería civil sostenible.

## 10 RECOMENDACIONES

- Las recomendaciones a continuación son producto de que se explore al PBD para ser evaluados en otros ensayos ya que es un material reciclable, siendo positivo para el medio ambiente como también
- Se recomienda trabajar inclusión del material triturado por vía seca y húmeda en porcentajes de hasta el 1.0% del peso de la briqueta.
- Se aconseja también probar la recuperación elástica o módulos elásticos que permitan analizar un posible éxito en la capacidad de restauración de la forma ante cargas repetidas.
- Se recomienda medir la permeabilidad para evaluar la eficiencia de los vacíos como posible investigación futura.
- Dado que la adición de PBD incrementa la estabilidad en detrimento de la adherencia, podría emplearse para pavimentos de bajo tráfico.

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (2013). *Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes*. Obtenido de Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes: Recuperado de [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-748-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-748-07.pdf)
- Aguilar Machuca, N. A. (2017). *Comportamiento de una mezcla mdc 19 con adición de tiras de polisombra de 15 cm en % de 1 y 0.5 con respecto a una mezcla patron*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Aguilar Machuca, N. A. (2017). *Comportamiento de una mezcla MDC-19 con adición de tiras de polisombra de 15cm en % de 1.0 y 0.5 con respecto a una mezcla patron*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- ASOPAC. (2004). *Cartilla del Pavimento Asfáltico de Colombia. Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia*. Bogotá D. C., Colombia: Faid.
- CANAL CONSTRUCCION CONSTRUIR. (2018). *CANAL CONSTRUCCION CONSTRUIR*. Obtenido de Recuperado de <http://canalconstruccion.com/polipropileno-usos-y-caracteristicas.html>
- Coicue Duarte, L. F., & Sepulveda Salazar, C. (2017). *Polietileno de Baja Densidad Como Alternativa para Mejorar las Propiedades Mecanicas de una Mezcla Asfáltica Densa en Caliente MDC-19*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Coicue Duarte, L. F., & Sepulveda Salazar, C. C. (Noviembre de 2017). *POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO ALTERNATIVA PARA MEJORAR*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- CONCRELAB. (2018). <https://www.concrelab.com/>. Obtenido de <https://www.concrelab.com/>
- CTU. (2017). *Compañía de Trabajos Urbanos S.A.* Obtenido de Recuperado de <http://ctu.com.co/>
- Fernandez, B. (2012). *Civilgeeks.com*. Obtenido de Civilgeeks.com: Recuperado de <https://civilgeeks.com/2014/02/20/la-conciencia-medioambiental-tambien-rige-el-sector-del-asfalto/>
- INVIAS. (2013). *Secciones 700 y 800 - Materiales y Mezclas Asfálticas y Prospección de Pavimentos*. Obtenido de Recuperado de [ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/SECCIONES%20700%20Y%20800%20\(segunda%20parte\)mod\\_2013-NOV-15.pdf](ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/SECCIONES%20700%20Y%20800%20(segunda%20parte)mod_2013-NOV-15.pdf)
- INVIAS. (2016). *INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS*. Obtenido de INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS: Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos1>
- Monteja, A. (2013). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.

- PETROQUIM. (2018). *PETROQUIM*. Obtenido de Recuperado de <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>
- POLILIFT. (2017). *POLILIFT*. Obtenido de POLILIFT: <http://polilift.com/contacto/>
- Rodriguez Mineros, C., & Rodriguez Molina, J. (2004). *Evaluacion y rehabilitacion de pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. San Juan: Universidad de el Salvador.
- Rondon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). Concreto Asfáltico. En *Pavimentos Materiales, Construccion y Diseño* (págs. 103 -104). Bogotá D.C: ECOE EDICIONES.
- Rondon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). Evaluación de Pavimentos. En *Pavimentos Materiales, Construccion y Diseño* (págs. 265 - 266 ). Bogotá D.C.: Ecoe.
- Rondon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). Mezclas Asfálticas. En *Pavimentos Materiales, Construccion y Diseño* (pág. 39). Bogotá D.C.: Ecoe.
- Rondon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). Mezclas Asfálticas. En *Pavimentos Materiales, Construcción y Diseño* (pág. 56). BogotáD.C.: Ecoe Ediciones.
- Rondon, H. A., & Grupo de Invescion de Pavimentos y Materiales. (2007). Comportamiento de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles. En H. Rondon, *Comportamiento de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles* (págs. 13-14). Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Sanchez Gonzales, A. (01 de diciembre de 2016). *Cueva del Ingeniero Civil*. Obtenido de Cueva del Ingeniero Civil: Recuperado de <http://www.cuevadelcivil.com/2016/01/asfaltos-modificados-conceptos.html>
- TECNOCARRETERAS. (2018). *TECNOCARRETERAS*. Obtenido de Recuperado de <https://www.tecnocarreteras.es/2013/10/01/diseno-y-fabricacion-de-nuevos-pavimentos-asfalticos-de-larga-duracion-dentro-del-proyecto-durabroads/>
- Tola Florez, M. L., & Calvo Martelo, V. P. (2015). *Mezcla asfáltica tibia modificada con husil y un sesecho de polietileno de baja densidad (PEBD) empleado como granulometría de referencia de la MDC-19*. Bogotá D.C.: Universidad Distriatal Francisco Jose de Caldas.
- Universidad Nacional de Colombia Ministerio de Trasnporte. (2006). *Manual para la inspeccion visula de Pavimentos Flexibles*. Bogotá D.C.: Unal.
- Vialidad y Transporte. (2014). *Vialidad y Transporte*. Obtenido de Recuperado de <http://vialidadytransporte.com/noticia/17-pavimentos-rigidvs-versus-flexibles-mitos-realidades>
- Vivar Romero, G. (2004). *Pavimentos*. La Paz: Universidad Mayor de San Simon.



# ANEXOS

## Anexo 1 Granulometría

CARLOS GOMEZ

ENSAYO AGREGADOS PETREOS  
PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS  
NORMA INV E-227

Descripción COMBINACION AGREGADOS Fecha de muestra MARZO DE 2018  
Fuente CONCRESCOL Fecha de ensayo MARZO DE 2018

### COMBINACION AGREGADO GRUESO 3/4"

Tamices		Peso Material	Peso Particulas	% Particulas	% Retenido	Caras
Pasa	Retiene	fracción (A).	fracturadas (B).	fracturadas (C).	original (D).	Fracturadas E=(C+D).
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1140,0	1020,0	89,5	47,7	4268
3/4"	1/2"	1174,0	1075,0	91,6	50,4	4615
1/2"	3/8"	0,0	0,0	0,0	0,0	0
TOTALES :				181,0	96,1	8883
TOTAL PONDERADO =						91%

### COMBINACION AGREGADO GRUESO 1/2"

Tamices		Peso Material	Peso Particulas	% Particulas	% Material	Caras
Pasa	Retiene	fracción A.	fracturadas B.	fracturadas C.	retenido D.	Fracturadas E=C+D.
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1239,0	1161,0	93,7	7,5	702,8
1/2"	3/8"	374,0	299,0	79,9	19,4	1551,0
TOTALES :				173,7	26,9	2253,7
TOTAL PONDERADO =						84%

Observaciones : Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

EJECUTO

**PINZ LAB**  
LABORATORIOS - ING. CIVIL  
IT 18 214.315-3

REVISO

**ENSAYO AGREGADOS PETREOS**  
INDICÉ DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO  
NORMA INV E-230

Descripción AGREGADO GRUESO Fecha de muestra MARZO DE 2018  
Fuente CONCRESCOL Fecha de ensayo MARZO DE 2018

**INDICE DE APLANAMIENTO**

Tamices		Peso Material	Peso Particulas	% Particulas	% Retenido	Particulas
Pasa	Retiene	Inicial (A).	Aplanadas (B).	Aplanadas (C).	original (D)	Aplanadas E=(C*D).
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1140,0	123,0	10,8	12,5	133
3/4"	1/2"	1174,0	135,0	11,5	17,2	198
1/2"	3/8"	0,0	45,0	0,0	8,0	0
TOTALES :				22,3	37,5	330
TOTAL PONDERADO =						9%

**INDICE DE ALARGAMIENTO**

Tamices		Peso Material	Peso Particulas	% Particulas	% Retenido	Particulas
Pasa	Retiene	Inicial (A).	Alargadas (B).	Alargadas (C).	original (D)	Alargadas E=C*D.
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1140,0	108,0	9,5	9,6	90,9
3/4"	1/2"	1174,0	112,0	9,5	9,6	91,6
1/2"	3/8"	0,0	42,0	0,0	13,6	0,0
TOTALES :				19,0	32,8	182,5
TOTAL PONDERADO =						6%

Observaciones : Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

**PINZ L 7**  
LABORATORIOS - ING. CIVIL  
KIT. 19 214.315-3

\_\_\_\_\_  
EJECUTO

\_\_\_\_\_  
REVISO

	<p>ENSAYO AGREGADOS PETREOS DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO NORMA INV E-223</p>
--	---

Descripción GRAVA TRITURADA 3/4 " Y 1/2" Fecha de muestra: MARZO DE 2018  
Fuente CONCRESCOL Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

	Tipo de muestra	Triturado 3/4	Triturado 1/2	Promedio
1	Masa de material sss	980	1020	
2	Masa de material sumergido en agua	615	639	
3	Masa de material seco	970	1010	

4	Agua absorbida	10	10	
5	Volumen muestra saturada	365	381	
6	Volumen de sólidos	355	371	
7	Peso específico aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,65	2,65
8	Peso específico sss (g/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,68	2,68
9	Peso específico nominal (g/cm <sup>3</sup> )	2,73	2,72	2,73
10	Absorción	1,03	0,99	1,01

Observaciones: Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

**PINZ LAB**  
LABORATORIOS - ING. CIVIL  
NIT 19 214.315-3

\_\_\_\_\_  
EJECUTO

\_\_\_\_\_  
REVISOR

ENSAYO DE AGREGADOS PETREOS  
ABRACION EN LA MAQUINA MICRODEVAL  
NORMA INV E-238

Descripción      AGREGADOS FINOS      Fecha de muestra      MARZO DE 2018  
Fuente            CONCRESCOL              Fecha de ensayo      MARZO DE 2018

Tipo de Agregado	TM 1/2"	TM 3/4"
Muestra No.	1	2
Masa de esferas	B	B
Tiempo de saturación (Horas)	11	11
No. de revoluciones	500	500
Pa= Peso muestra seca inicial	5004,0	5002,0
Pb= Peso muestra seca final	3824,0	3808,0
Pérdida= Pa-Pb	1180,0	1194,0
% Desgaste (Pa-Pb)/Pa	23,6	23,9
Especificación (% Máximo)	30	31

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

Tamices		Masa y granulometría de la muestra		
Pasa	Retiene	1	2	3
3/4"	5/8"	375		
5/8"	1/2"	375		
1/2"	3/8"	750	750	
3/8"	1/4"		375	750
1/4"	No. 4		375	750
Peso de esferas (g)		5000+/-5	5000+/- 5	5000+/-5
No. de revoluciones / min.		100 +/- 5	100 +/- 5	100 +/- 5
Tiempo de ensayo (min)		120	105	95

Observaciones :      Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

\_\_\_\_\_  
EJECUTO



**PINZ LAB**  
LABORATORIOS - ING. CIVIL  
TEL 19 214.315-3

\_\_\_\_\_  
REVISO

## Anexo 2 Resultados de ensayo de ductilidad

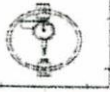


PINZ - LAB  
 LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES  
 INTERV. - INSPECT. - LAB/TA - ING. CIVL

<b>TOMA DE DATOS MATERIALES ASFÁLTICOS</b>					
INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 / IE-AF1-03 / EI-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07					
CÓDIGO ORDEN: _____			Fecha de Ensayo: _____		
Referencia: CA: 60-70					
Descripción: CONVENCIONAL					
<b>I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E -702-07)</b>					
EQUIPO UTILIZADO (No de inventario)					
Ductilómetro _____		Termómetro _____		Baño María _____	
PRUEBA No.	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (mm/min)	Probeta No. 1 (cm)	Probeta No. 2 (cm)	Probeta No. 3 (cm)
1	25.0	50	117	120	
2					
3					
OBSERVACIONES: _____					
<b>II. PUNTO DE IGNICIÓN Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND (INV E-709-07)</b>					
EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario)					
Equipo Copa Abierta de Cleveland _____		X		Termómetro _____ X	
PRUEBA No.		1	2	3	
Temperatura del punto de ignición	A [°F]	298°C			
Temperatura del punto de llama	A [°F]	310°C			
OBSERVACIONES: _____					
<b>III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)</b>					
EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario)					
Aparato de Anillo y Bola _____		X		Termómetro _____ X	
Baño María _____		X			
Placa de Calentamiento MECHERO					
ANILLO No.	Líquido utilizado	Punto de ablandamiento (°C)			
1	AGUA DESTILADA	43.5°C			
2	AGUA DESTILADA	44.0°C			
OBSERVACIONES: _____					
 _____ EJECUTO: LABORATORISTA			 _____ REVISO: TECNOLOGO		

Archivo: AF-01\_ Gravedad Especifica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos-Método del picnómetro  
 Revisión: 09-04-06V1

### Anexo 3 Resultado ensayo de penetración



PINZ - LAB  
 LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES  
 INTERV. - INSPECT. - LAB/TA - ING. CIVL.

**TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS  
 SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS – MÉTODO DEL PICNÓMETRO**  
 INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04      PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

CÓDIGO ORDEN: _____	Fecha de Ensayo: _____
EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)	
Penetrómetro: _____ X _____	Cronómetro: _____ X _____
Baño de Agua: _____ X _____	Termómetro: _____ X _____

Referencia: CA:60-70  
 Descripción: CONVENCIONAL

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	25°C	60	61	60
2				

Carga (g): \_\_\_\_\_ Tiempo (s): 5 SEGUNDOS

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Referencia: \_\_\_\_\_  
 Descripción: \_\_\_\_\_

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				

Carga (g): \_\_\_\_\_ Tiempo (s): \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Referencia: \_\_\_\_\_  
 Descripción: \_\_\_\_\_

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				

Carga (g): \_\_\_\_\_ Tiempo (s): \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ag. Davis  
 EJECUTO: LABORATORISTA

HE  
 REVISO: TECNÓLOGO

## Anexo 4 Resultados ensayo Marshall modificado

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia Vigilada Mineducación	<b>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL</b> 2018
---	---

### ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO \_\_\_\_\_  
 TEMPERTURA DE MEZCLA 150°C  
 TEMPERTURA DE COMPACTACIÓN 135-140°C  
 No. DE GOLPES POR CAPA 75  
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS Concescol - Colombia Gs.A.PETREOS 252-2.64  
 TIPO DE CEMENTO ASFALTICO 60-70 Gs. ASFALTO 1.012

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo de Mezcla	MDG-14	MDG-14	MDG-14	MDG-14	MDG-14	MDG-14	MDG-14	MDG-14	MDG-14	
% Asfalto	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
Altura Briqueta (cm)	1195	1190	1194	7	7	7	7.3	7.3	7.3	
Paso briqueta en aire Seca (g)	1195	1190	1194	1197	1200	1200	1178	1154	1187	
Peso briqueta en aire SSS (g)	1196	1191	1195	1207	1209	1208	1195	1182	1205	
Peso briqueta en agua (g)	670	665	670	648	646	647	600	599	609	
Lectura de carga (KN) <i>Estabilidad</i>	1152	1171	1138	15.44	15.93	1481	22.95	1197	1235	
Flujo (1/100") <i>Flujo</i>	150	150	145	155	160	155	170	175	170	

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES 1 al 3 (conversiones); 4 al 6 (1%); 7 al 9 (2%)

Lab/ta: Ag. Paris Reviso: HR

*Balanza de precisión de 1g  
SSJ superficialmente solo*



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO \_\_\_\_\_  
 TEMPERTURA DE MEZCLA 150°C  
 TEMPERTURA DE COMPACTACIÓN 135 - 140°C  
 No. DE GOLPES POR CAPA 75  
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS Concescol - Colombia Gs.A.PETREOS 2.52 - 2.69  
 TIPO DE CEMENTO ASFALTICO 60-70 Gs. ASFALTO 1.012

Briqueta No.	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
Tipo de Mezcla	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14	MDC-14
% Asfalto	5%	5%	5%							
Altura Briqueta (cm)	<del>7.6</del>	<del>7.6</del>	<del>7.6</del>							
Paso briqueta en aire Seca (g)	1149	1143	1146							
Peso briqueta en aire SSS (g)	1173	1160	1180							
Peso briqueta en agua (g)	572	567	578							
Lectura de carga (KN) <i>Estabilidad</i>	9.74	10.12	9.07							
Flujo (1/100") <i>Flujo</i>	270	240	205							

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES

10 w 12 (3%)

Lab/ta:


Ag. Diaz S.

Reviso:

HR



## Anexo 5 Cantabro

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia Vigilada por el Estado				<b>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL</b> 2018			
<b>CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE</b>							
INFORME DE ENSAYO				PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13			
CA 60-70 (5%) - Convencional (0%)				CA 60-70 (5%) - Modificada (1%)			
Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]	Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]
1191.00	1142.00	49.00	4.11	1211.00	1110.00	101.00	8.34
1202.00	1144.00	58.00	4.83	1194.00	1143.00	51.00	4.27
<b>1196.50</b>	<b>1143.00</b>	<b>53.50</b>	<b>4.47</b>	<b>1202.50</b>	<b>1126.50</b>	<b>76.00</b>	<b>6.31</b>
CA 60-70 (5%) - Modificada (2%)				CA 60-70 (5%) - Modificada (3%)			
Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]	Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Perdida [g]	Perdida [%]
1161.00	825.00	336.00	28.94	1136.00	815.00	321.00	28.26
1174.00	957.00	217.00	18.48	1138.00	847.00	291.00	25.57
<b>1167.50</b>	<b>891.00</b>	<b>276.50</b>	<b>23.71</b>	<b>1137.00</b>	<b>831.00</b>	<b>306.00</b>	<b>26.91</b>

## Anexo 6 Tracción Indirecta 25 grados Celsius



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL  
2018

### ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

CA 60-70 (5%) - T.I. 25°C Convencional (0%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm <sup>3</sup> ]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [kPa]
65	100	1198	679	1200	2.299	85.00	2.39	3.64	11.36	15.00	75.73	686.98
65	100	1193	673	1194	2.290	84.64	2.39	4.04	11.31	15.36	73.67	703.22
<b>65.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1195.5</b>	<b>676.0</b>	<b>1197.0</b>	<b>2.29</b>	<b>84.82</b>	<b>2.39</b>	<b>3.84</b>	<b>11.34</b>	<b>15.18</b>	<b>74.70</b>	<b>694.60</b>

CA 60-70 (5%) - T.I. 25°C Inclusión de PBD (1%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm <sup>3</sup> ]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [kPa]
67	100	1203	641	1211	2.111	78.02	2.39	11.56	10.43	21.98	47.43	599.56
69	100	1203	636	1211	2.092	77.34	2.39	12.33	10.34	22.66	45.61	471.47
<b>68.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1203.0</b>	<b>638.5</b>	<b>1211.0</b>	<b>2.10</b>	<b>77.68</b>	<b>2.39</b>	<b>11.94</b>	<b>10.38</b>	<b>22.32</b>	<b>46.52</b>	<b>535.51</b>

CA 60-70 (5%) - T.I. 25°C Inclusión de PBD (2%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm <sup>3</sup> ]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [kPa]
75	100	1194	605	1218	1.948	72.00	2.39	18.38	9.62	28.00	34.37	471.95
75	100	1171	594	1192	1.958	72.38	2.39	17.94	9.67	27.62	35.03	381.12
<b>75.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1182.5</b>	<b>599.5</b>	<b>1205.0</b>	<b>1.95</b>	<b>72.19</b>	<b>2.39</b>	<b>18.16</b>	<b>9.65</b>	<b>27.81</b>	<b>34.70</b>	<b>426.53</b>

CA 60-70 (5%) - T.I. 25°C Inclusión de PBD (3%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm <sup>3</sup> ]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [kPa]
77	100	1054	544	1118	1.836	67.88	2.39	23.05	9.07	32.12	28.24	339.81
77	100	1145	569	1179	1.877	69.39	2.39	21.34	9.27	30.61	30.29	316.66
<b>77.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1099.5</b>	<b>556.5</b>	<b>1148.5</b>	<b>1.86</b>	<b>68.63</b>	<b>2.39</b>	<b>22.20</b>	<b>9.17</b>	<b>31.37</b>	<b>29.27</b>	<b>328.23</b>

## Anexo 7 Tracción Indirecta 60 grados Celsius

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación		LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL 2018										
<b>ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA</b>												
INFORME DE ENSAYO						PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13						
CA 60-70 (5%) - T.I. 60°C Convencional (0%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm3]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [KPa]
65	100	1199	672	1201	2.267	83.78	2.39	6.02	11.20	16.22	69.05	294.73
64	100	1191	670	1192	2.282	84.34	2.39	4.39	11.27	15.66	71.98	319.29
<b>64.50</b>	<b>100.00</b>	<b>1195.0</b>	<b>671.0</b>	<b>1196.5</b>	<b>2.27</b>	<b>84.06</b>	<b>2.39</b>	<b>4.70</b>	<b>11.24</b>	<b>15.94</b>	<b>70.52</b>	<b>307.01</b>
CA 60-70 (5%) - T.I. 60°C Inclusión de PBD (1%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm3]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [KPa]
70	100	1207	640	1216	2.095	77.46	2.39	12.19	10.35	22.54	45.93	145.96
70	100	1197	640	1203	2.126	78.59	2.39	10.90	10.60	21.41	49.07	164.21
<b>70.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1202.0</b>	<b>640.0</b>	<b>1209.5</b>	<b>2.11</b>	<b>78.03</b>	<b>2.39</b>	<b>11.55</b>	<b>10.43</b>	<b>21.97</b>	<b>47.50</b>	<b>155.08</b>
CA 60-70 (5%) - T.I. 60°C Inclusión de PBD (2%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm3]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [KPa]
74	100	1166	592	1187	1.968	72.38	2.39	17.95	9.67	27.62	35.02	103.65
74	100	1175	599	1200	1.955	72.27	2.39	18.07	9.66	27.73	34.83	103.55
<b>74.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1170.0</b>	<b>595.5</b>	<b>1193.5</b>	<b>1.96</b>	<b>72.32</b>	<b>2.39</b>	<b>18.01</b>	<b>9.67</b>	<b>27.68</b>	<b>34.93</b>	<b>103.55</b>
CA 60-70 (5%) - T.I. 60°C Inclusión de PBD (3%)												
Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Masa en aire [g]	Masa en agua [g]	PSS [g]	Densidad bulk [g/cm3]	Vol. Agreg. [%]	Gmm	Vacíos [%]	Vol. CA [%]	VAM [%]	VFA [%]	RT [KPa]
75	100	1103	549	1136	1.879	69.46	2.39	21.26	9.28	30.64	30.40	68.115
75	100	1129	555	1160	1.866	68.98	2.39	21.80	9.22	31.02	29.72	68.115
<b>75.00</b>	<b>100.00</b>	<b>1116.0</b>	<b>552.0</b>	<b>1148.0</b>	<b>1.87</b>	<b>69.22</b>	<b>2.39</b>	<b>21.53</b>	<b>9.25</b>	<b>30.78</b>	<b>30.06</b>	<b>68.11</b>