

**FORMULACIÓN DE CONCRETOS BITUMINOSOS CON ASFALTO  
MODIFICADO, CAUCHO RECICLADO Y ASFALTITA**

**JAZMITH DOMÍNGUEZ RINCÓN  
GIOVANNY ANDRÉS CORTÉS RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2017**

**FORMULACIÓN DE CONCRETOS BITUMINOSOS CON ASFALTO  
MODIFICADO, CAUCHO RECICLADO Y ASFALTITA**

**JAZMITH DOMÍNGUEZ RINCÓN  
GIOVANNY ANDRÉS CORTÉS RODRÍGUEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**DIRECTORA  
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN  
Ph.D. Ingeniero civil.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2017**

## **DEDICATORIA.**

Agradecimientos totales primeramente a Dios , a nuestros padres y familiares , los cuales nos apoyaron y respaldaron durante todo este proceso tan importante , a nuestros compañeros quienes compartieron con nosotros días difíciles pero también días de triunfo y motivación , a docentes y a nuestra universidad industrial de Santander por permitirnos hacer parte de ella, de todo corazón muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS.**

En primer lugar gracias a Dios por brindarnos el conocimiento y las herramientas necesarias para lograr la realización de este proyecto, al Dr. Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por su excelente dirección, a la Universidad Industrial de Santander por formarnos como profesionales integrales y a todas las personas que directa e indirectamente hicieron parte de este proceso.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	14
1. PROBLEMÁTICA Y ANTECEDENTES .....	15
2. METODOLOGÍA .....	16
3. MATERIALES .....	17
3.1 AGREGADO Y ASFALTO.....	17
4. OBTENCIÓN DE DATOS PERTINENTES MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁTICA .....	19
4.1 LIGANTE ASFALTICO.....	19
4.1.1 Preparación del ligante .....	19
4.2 APLICACIÓN GRANOS DE CAUCHO EN MEZCLAS ASFÁTICAS.....	20
4.3 CAUCHO RECICLADO.....	21
4.4 AGREGADOS PÉTREOS.....	22
4.4.1 Agregado grueso.....	22
4.4.2 Llenante mineral.....	22
4.4.3 Agregado fino.....	22
4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁTICA MODIFICADA CON ASFALTITA Y CAUCHO RECICLADO.....	23
4.5.1 Granulometría para la MDC-19.....	23
4.5.2 Gravedad específica bulk y densidad de mezcla asfáltica compactada .....	23
4.5.3 Gravedad específica máxima teórica (Gmm).....	23
4.5.4 Preparación de los moldes.....	24
4.6 MANUFACTURA DE LAS PROBETAS TIPO MARSHALL EN LABORATORIO.....	24
4.6.1 Pesaje de los agregados y caucho.....	24
4.6.2 Armado y compactación de las probetas .....	25

4.6.4 Desmoldado.....	25
4.7 ENSAYO DE MARSHALL.....	26
4.7.1 Preparación de las probetas. A.....	26
4.7.2 Fallo de probetas en la prensa de Marshall. ....	26
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS .....	27
5.4 ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS.....	32
6. CONCLUSIONES. ....	38
7. RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Agregado pétreo .....	17
Figura 2. Asfaltita .....	18
Figura 3. Ensayo de penetración estándar .....	20
Figura 4. Caucho granulado .....	22
Figura 5. Probetas tipo Marshall sin desmoldar .....	24
Figura 6. Probetas tipo Marshall desmoldadas.....	25
Figura 7. Probetas sumergidas en baño María a 60 grados Centígrados.....	25

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Datos tabulados del ensayo de penetración estándar .....	19
Tabla 2. Tipos de concreto asfáltico .....	23
Tabla 3. Caracterización de los materiales .....	27
Tabla 4. Proceso vía húmeda Caucho como parte del agregado .....	28
Tabla 5. Proceso vía húmeda Caucho como parte del ligante.....	29
Tabla 6. Proceso vía húmeda Caucho como parte del agregado .....	30
Tabla 7. Proceso vía húmeda Caucho como parte del ligante.....	31

## RESUMEN

**TITULO:** FORMULACIÓN DE CONCRETOS BITUMINOSOS CON ASFALTO MODIFICADO, CAUCHO RECICLADO Y ASFALTITA

**AUTOR:** JAZMITH DOMÍNGUEZ RINCÓN  
GIOVANNY ANDRÉS CORTÉS RODRÍGUEZ\*\*

**Palabras claves:** Ensayo de penetración, asfaltita, ensayo de Marshall, asfalto , caucho.

Mediante el procedimiento del ensayo Marshall de la norma invías I.N.V. E – 748 – 07[1] se analizó la estabilidad y resistencia de probetas con dimensiones estándar cuyos volúmenes y granulometrías tuvieron su base de cálculo de acuerdo a la norma .Fue realizada una selección de material pétreo que no excediera un tamaño a  $\frac{3}{4}$ " , se tuvo como diseño base de las probetas uno suministrado por el artículo 450 de INVÍAS[1]donde los porcentajes de agregado y asfalto se ajustan a las especificaciones granulométricas permitidas , teniendo en consideración el nuevo elemento (caucho reciclado ) ,se modificó el asfalto a razón de 4% de asfaltita por 96% de asfalto no modificado , para lograr uno de características (40-50) esto se constató mediante el ensayo de penetración estándar PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS I.N.V. E – 706 – 07 [1] ,se procedió a realizar las probetas variando el porcentaje de ligante asfalto – asfaltita a razón de 0,5% entre cada una, una vez obtenidos estos valores se generaron gráficas en función del porcentaje de asfalto , al interpretar estas gráficas y hacer las respectivas comparaciones, se pudo llegar a las conclusiones que arrojarían el diseño de mezcla más óptimo , alcanzando así los objetivos propuestos en este proyecto .Las recomendaciones que se hicieron tienen como fin proponer una profundización en este estudio ya que podría llegar a ser viable para la implementación en la industria de los pavimentos a nivel nacional .

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías fisicomecánicas, escuela de Ingeniería Civil Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

## ABSTRACT

**TITLE:** FORMULATION OF BITUMINOUS CONCRETES WITH MODIFIED ASPHALT, REICLED RUBBER AND ASFALTITY \*

**AUTHOR:** JAZMITH DOMÍNGUEZ RINCÓN  
GIOVANNY ANDRÉS CORTÉS RODRÍGUEZ\*\*

**Keywords:** Penetration test, asphaltite, Marshall test, asphalt, rubber

By the Marshall test procedure of the standard invias I.N.V. E - 748 - 07 [1] the stability and strength of specimens with standard dimensions were analyzed whose volumes and granulometries had their basis of calculation according to the standard. A selection of stone material was made that did not exceed a size a  $\frac{3}{4}$  " , The basic design of the specimens was one supplied by article 450 of INVIAS [1], where percentages of aggregate and asphalt were adjusted to the allowed granulometric specifications, taking into account the new element (recycled rubber), the asphalt was modified At the rate of 4% of asphaltite per 96% of unmodified asphalt, to achieve one of characteristics (40-50) this was verified by the standard penetration test PENETRATION OF ASPHALTICAL MATERIALS INV E - 706-07 [1], the samples were made by varying the percentage of asphalt - asphaltite binder at 0.5% between each one. Once these values were obtained, graphs were generated based on the percentage of asphalt, when interpreting these graphs and making the respective comparisons, it was possible to reach the conclusions that would yield the most optimal mix design, thus reaching the objectives proposed in this project. The recommendations that were made have as purpose to propose a deepening in this study since it could become viable for the implementation in the industry of the pavements at national level

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering, School of Civil Engineering Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

## INTRODUCCIÓN

El ensayo de Marshall es usado hoy en día para formular mezclas asfálticas, mediante la fabricación de probetas sometidas a cargas impuestas por un dispositivo especial (el aparato Marshall). El contenido de asfalto se establece con base en valores límites de los componentes de la mezcla. En este estudio se evalúa la aplicación preliminar del método para formular mezclas con dos adiciones: Asfaltita y caucho sintético. Con estos modificadores del ligante, se pretende formular una mezcla con mayor capacidad estructural. La mezcla será fabricada haciendo la adición del caucho por los dos métodos existentes: vía húmeda y vía seca. En el estudio se evalúan las propiedades volumétricas considerando el caucho de dos maneras: como parte del agregado y como parte del ligante.

## 1. PROBLEMÁTICA Y ANTECEDENTES

Como es bien sabido en los últimos años la ciencia apunta a un avance tecnológico enmarcado en el entorno ambientalista, la ingeniería civil especialmente en la rama de los pavimentos no ha hecho caso omiso a ello dándole una salida viable al uso de uno de los materiales que hoy en día se ha convertido en factor contaminante sobre el globo terráqueo, hablando de Colombia se desechan alrededor de 20 a 30 millones de llantas cada año, estos desechos se convierten en agentes contaminantes por distintos medios, sea bien sirviendo de madrigueras para roedores o terminando en forma de humo después de una quema masiva, por este motivo destinar este material como aditivo en las mezclas asfálticas sería una salida viable de uso eficiente de este “insumo” ya que sus propiedades son adecuadas para esta tarea [2]. Desde el año 2016 se comenzó a usar de forma más activa el caucho de llanta procesado industrialmente en la pavimentación de vías nacionales y secundarias, esta decisión fue tomada por la Vicepresidencia de la República, el Ministerio de Ambiente, el Instituto Nacional de Vías (Invías) y convertido en grano en mezclas asfálticas para la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), de impulsar –lo que llaman técnicamente– la utilización de la mezcla asfáltica modificada con gránulo de caucho reciclado (GCR) en la pavimentación de los corredores viales del país. Las mezclas resultantes tienen una menor rigidez que las mezclas tradicionales, no obstante, con la adición de asfaltitas como modificante podría obtenerse un ligante más rígido y una mezcla con mayor poder estructurante. Este estudio es un primer paso en el estudio de este nuevo material que debe complementarse para validar su uso en la industria.

## 2. METODOLOGÍA

En la formulación de mezclas con caucho, no hay un método universalmente aceptado, en las especificaciones colombianas el método Marshall de tipo volumétrico es el más empleado, sin embargo cuando se adiciona caucho, los volúmenes de materiales se alteran porque no es claro aún si el caucho hace parte del ligante o del agregado.

En este estudio se utiliza la volumetría de la mezcla considerando dos condiciones:

- El caucho y la asfaltita hacen parte del ligante.
- El caucho es un componente del agregado, la asfaltita es un componente del ligante.

En desarrollo del estudio se evalúan 2 mezclas.

- Agregado más caucho mezcladas con ligante.
- Agregado granular más ligante mezclado con caucho.

### 3. MATERIALES

#### 3.1 AGREGADO Y ASFALTO

Primordialmente los materiales utilizados para la fabricación de las probetas para el ensayo de Marshall fueron suministrados de forma gratuita por la empresa Asfaltart S.A.S ubicada en el caucho, Girón, Santander, empresa experta en mezclas asfálticas y de concreto, las características de los materiales son agregados pétreos de gradación menor e igual a  $\frac{3}{4}$  ", arenas y asfalto 60- 70, no obstante, debido a la características del Proyecto, se hizo una modificación en su consistencia.

**Figura 1. Agregado pétreo**



Fuente: Asfaltita [en línea] disponible en: [www.mineralesindustriales.com](http://www.mineralesindustriales.com)

Este material dio dureza y modificó el asfalto pasando de ser 60-70 a 40-50. El asfalto se modificó con asfaltita; obtenida en minas ubicadas en el municipio La Esperanza ubicado a 80 km desde Bucaramanga, Santander (Propiedad de la señora Sandra Milena Pacheco y su esposo Josué Isaac Gelvez).

La cantidad empleada en la modificación fue estimada con ensayos de Penetración de asfaltos, estimando la cantidad de asfaltita requerida para aumentarla dureza del ligante.

**Figura 2. Asfaltita**



## 4. OBTENCIÓN DE DATOS PERTINENTES MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁTICA

Se llevaron a cabo los parámetros requeridos por la norma I.N.V. E – 799 – 07 [1] análisis volumétrico de Mezclas asfálticas compactadas en caliente.

### 4.1 LIGANTE ASFALTICO

El asfalto utilizado en la preparación de las mezclas fue suministrado por la empresa Asfaltart S.A.S.

**4.1.1 Preparación del ligante** Se realizó el ensayo de penetración estándar I.N.V. E – 706 – 07[1] para muestras de 100 gr de una mezcla asfalto- asfaltita en las cuales 4 muestras variaban a razón de 1 gr, iniciando con 3 gr de asfaltita por 97 gr de asfalto avanzando así hasta lograr una mezcla (40-50) la cual se consiguió al dosificar 4% de asfaltita con ello se logró con éxito modificar el asfalto. Ver Tabla 1.

**Tabla 1. Datos tabulados del ensayo de penetración estándar**

Ensayo de penetración estándar					promedio
Asfalto	60	77	69	73	69,75
Asfalto con 3% de asfaltita	58	55	52		55
Asfalto con 4% de asfaltita	43	47	45		45
Asfalto con 5% de asfaltita	32	42	37		37

**Figura 3. Ensayo de penetración estándar**



#### **4.2 APLICACIÓN GRANOS DE CAUCHO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El caucho reciclado puede ser incorporado en mezclas asfálticas por medio de dos procesos. Proceso por vía húmeda y proceso por vía seca.

En el proceso húmedo el caucho es usado modificando el cemento asfáltico (Asfalto- Caucho), este proceso se encuentra definido en la norma ASTM D8-88[5] mientras que en el proceso por vía seca el caucho es adicionado al agregado.

##### **Temperatura de mezclado**

Se determinó la temperatura de mezclado para ambos diseños de mezcla por vía húmeda y seca de acuerdo a un artículo[5] en el cual hay un rango de temperatura propuesto que oscila entre los 170° C y los 210°C pero predomina los 175° más o menos 5° dicha temperatura no afecta la calidad ni las propiedades de los componentes de las probetas y fue tomado teniendo en cuenta los ensayos de viscosidad para cada caso normalmente las temperaturas de mezclado no son tan altas , pero debido a que hay un nuevo componente (caucho) se debe optar por una temperatura más alta de lo habitual .

#### **- Mezcla Asfalto-caucho Vía húmeda (mezcla I)**

Porcentaje de caucho en masa con respecto al ligante 20%

Temperatura de la mezcla 180°C Tiempo de mezcla: 1 hora

#### **Estudio de la utilización de caucho en mezclas asfálticas en caliente [5]**

#### **- Mezcla Vía seca (mezcla II)**

Porcentaje de caucho con respecto a la cantidad de agregado: 5%

Temperatura: 180°C Tiempo de mezcla: 5 min

#### **Estudio de la utilización de caucho en mezclas asfálticas en caliente [5]**

### **4.3 CAUCHO RECICLADO**

El caucho utilizado para la elaboración de las probetas fue obtenido en una despensa de materiales reciclados ubicados en la ciudad de Barrancabermeja, posteriormente este caucho fue triturado por una máquina industrial, una vez tenido el material granulado se procedió a tamizarlo para separarlo en granos que pudieran clasificarse en una granulometría

**Figura 4. Caucho granulado**



#### **4.4 AGREGADOS PÉTREOS.**

El material pedido a Asfaltart S.A.S tuvo ciertas especificaciones tales como tener un tamaño menor o igual al que pasa el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " y contener buena gradación ya que el ensayo Marshall tiene ciertos parámetros en cuanto a las granulometrías de las muestras a ensayar, sin embargo, fue necesario realizar un estudio general de dicho insumo para clasificar y cuantificar sus características referentes a tamaños y propiedades físicas de los mismos.

**4.4.1 Agregado grueso.** Se acudió a la norma INVIAS INV E-222-07 e INVIAS INV E-223-07 [1] para un análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos de manera cuantitativa, también para conocer sus características físicas y propiedades físicas según lo recomendado por la norma.

**4.4.2 Llenante mineral.** INVIAS INV E-128-07 [1] fue la norma usada para el cálculo de la gravedad específica de la llenante mineral.

**4.4.3 Agregado fino** En cuanto a los agregados finos la norma INVIAS INV E-222-07 [1] es en la cual encontramos ensayos para determinar densidades y otros parámetros de este insumo.

## 4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON ASFALTITA Y CAUCHO RECICLADO.

### 4.5.1 Granulometría para la MDC-19. De acuerdo a la granulometría especificada en el artículo 450 de **MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA (CONCRETO ASFÁLTICO) ARTÍCULO 450**

**Tabla 2. Tipos de concreto asfáltico**

TIPO DE CONCRETO ASFALTICO			
Milimetro	Pulgada	% pasa	% retenido acumulado
37.5	1 1/2"	100	0
25.0	1"	100	0
19.0	3/4"	100	0
12.5	1/2"	87	13
9.5	3/8"	79	21
4.75	Nº4	55	45
2.0	Nº10	27	73
0.425	Nº40	19	81
0.180	Nº80	12	88
0.075	Nº200	6	94

Fuente: Modificación del concreto asfáltico (MDC-19)[6]

### 4.5.2 Gravedad específica bulk y densidad de mezcla asfáltica compactada.

Una vez fabricadas las probetas mediante las especificaciones del ensayo de Marshall I.N.V. E – 748 – 07 [1] con el cálculo previo de granulometrías y cantidad de asfalto modificado.

### 4.5.3 Gravedad específica máxima teórica (Gmm). Se calcula con base en la norma INVIAS INV E– 735–07 [1] antes de ser compactada la mezcla.

Se efectúa el ensayo de densidad bulk y gravedad específica a las probetas previamente compactadas de acuerdo a I.N.V – 733 – 07 [1] GRAVEDAD

ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

**4.5.4 Preparación de los moldes** Se prepararon los moldes a trabajar lubricando su parte interna y fondo para que no se pegaran partículas a las paredes del mismo, también se puso un papel filtro en la base, acuñado por el mismo fondo del molde.

**Figura 5. Probetas tipo Marshall sin desmoldar**



## **4.6 MANUFACTURA DE LAS PROBETAS TIPO MARSHALL EN LABORATORIO.**

**4.6.1 Pesaje de los agregados y caucho.** Una vez teniendo las granulometrías en peso para cada probeta, se procedió a pesar las respectivas cantidades de agregado, arena, llenante mineral y caucho utilizando la báscula digital, se almacenaron por separado y en bolsas enumeradas de acuerdo con cada tipo.

Para el proceso húmedo será adicionado el 20% de caucho con respecto al peso del ligante Pesaje y dosificación de la asfaltita.

De forma simultánea se hizo el pesaje de la asfaltita y el asfalto, fundiéndolos en un recipiente metálico a una temperatura constante sobre una cocineta eléctrica para que la mezcla permaneciera líquida y así lograr una mezcla homogénea

**4.6.2 Armado y compactación de las probetas.** De forma inmediata al paso anterior se vertió todo el contenido dentro del molde (previamente dispuesto y lubricado) y con una varilla se distribuyó dentro del mismo, se llevó al mesón de impactos donde se ajustó el molde con el contenido dentro, con el martillo de impacto se golpeó 75 veces por lado y lado de la probeta, girándola una vez un lado fuera cumple

**Figura 6. Probetas tipo Marshall desmoldadas**



**4.6.4 Desmoldado.** Una vez las muestras fueron compactadas se llevaron al gato hidráulico para desencofrarlas de manera segura, sin dañar las muestras.

**Figura 7. Probetas sumergidas en baño María a 60 grados Centígrados**



## **4.7 ENSAYO DE MARSHALL.**

De acuerdo con I.N.V. E – 748 – 07 [1] RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL las probetas fabricadas fueron sometidas a compresión para poder cuantificar su estabilidad y deformación de acuerdo con las mediciones obtenidas en la prensa Marshall después de su rotura.

**4.7.1 Preparación de las probetas.** Antes de fallar las probetas, estas debieron ser introducidas en un baño María el cual fue configurado para tener una temperatura de 60 grados centígrados, una vez lograda esta temperatura se introdujeron todas las muestras por 40 minutos.

**4.7.2 Fallo de probetas en la prensa de Marshall.** Una vez las probetas estuvieron en el baño maría por 40 minutos, se procedió a ensayar una por una con la colaboración del técnico encargado, se Puso cada muestra dentro de las prensas semicirculares y se sometió a una carga hasta lograr su rotura, se tomaron las respectivas medidas marcadas en el deformímetro para el posterior cálculo de estabilidad y Resistencia.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los resultados de caracterización de los componentes de las mezclas se ilustran a continuación.

**Tabla 3. Caracterización de los materiales**

Caracterización de los materiales			
	grueso	Fino	Asfalto modificado
Gs bulk	2.713	2.287	0.95
Gs bulk sss	2.746	2.312	-
gs aparente	2.766	2.612	-
Abso %	0.812	4.845	-
Densidad	-	-	0.98

Los resultados del proceso de formulación de las mezclas se muestran en las tablas 4,5,6 Y 7 y en las Gráficas a continuación.

## Vía húmeda

- Caucho como parte del agregado

**Tabla 4. Proceso vía húmeda Caucho como parte del agregado**

<i>% Asfalto sin caucho</i>	<i>%Caucho en el asfalto</i>	<i>Alt (cm)</i>	<i>Densidad bulk</i>	<i>Gmm (RICE)</i>	<i>% Vagr (Vol agregado)</i>	<i>%pa (Vacíos)</i>	<i>Va (Vol de asfalto)</i>	<i>Vam (Vacíos agregado mineral)</i>	<i>Vea (Vol efectivo asfalto)</i>	<i>VFA (Vacíos llenos de asf)</i>
4	19,2	5,7	2,235	2,513	88,124	11,062	0,814	11,876	6,850	10,222
4,5	19,1	5,633	2,253	2,493	88,3646	9,627	2,008	11,635	17,261	17,258
5	19	6,033	2,275	2,449	88,75	7,105	4,145	11,25	36,845	36,844
5,5	18,9	6,267	2,302	2,443	89,3156	5,772	4,913	10,684	45,981	45,985
6	18,8	6,433	2,316	2,412	89,3816	3,980	6,638	10,618	62,517	62,516
6,5	18,7	6,667	2,313	2,397	88,8062	3,504	7,689	11,194	68,694	68,689

- Caucho como parte del ligante

**Tabla 5. Proceso vía húmeda Caucho como parte del ligante**

<i>% Asfalto sin caucho</i>	<i>% caucho en el agregado</i>	<i>Alt (cm)</i>	<i>Densidad bulk</i>	<i>Gmm (RICE)</i>	<i>% Vagr (Vol agregado)</i>	<i>%pa (Vacíos)</i>	<i>Va (Vol de asfalto)</i>	<i>Vam (Vacíos agregado mineral)</i>	<i>Vea (Vol efectivo asfalto)</i>	<i>VFA (Vacíos llenos de asf)</i>
3,2	0,8	5,700	2,235	2,513	85,824	11,062	3,114	14,176	21,963	21,967
3,6	0,9	5,633	2,253	2,493	86,065	9,627	4,308	13,935	30,917	30,915
4	1	6,033	2,275	2,449	86,45	7,105	6,445	13,550	47,565	47,565
4,4	1,1	6,267	2,302	2,443	87,016	5,772	7,213	12,984	55,550	55,553
4,8	1,2	6,433	2,316	2,412	87,082	3,980	8,938	12,918	69,190	69,190
5,2	1,3	6,667	2,313	2,397	86,506	3,504	9,989	13,494	74,030	73,292

- Vía seca
- Caucho como parte del agregado

**Tabla 6. Proceso vía húmeda Caucho como parte del agregado**

<i>% de asfalto</i>	<i>%Caucho como parte del agregado</i>	<i>Alt (cm)</i>	<i>Densidad bulk</i>	<i>Gmm (RICE)</i>	<i>% Vagr (Vol agregado)</i>	<i>%pa (Vacíos)</i>	<i>Va (Vol de asfalto)</i>	<i>Vam (Vacíos agregado mineral)</i>	<i>Vea (Vol efectivo asfalto)</i>	<i>VFA (Vacíos llenos de asf)</i>
4	4,8	5,733	2,250	2,513	85,325	11,580	3,095	14,675	21,093	21,090
4,5	4,775	5,5	2,302	2,493	86,179	9,507	4,314	13,821	31,215	31,213
5	4,75	6,033	2,334	2,449	86,982	6,533	6,485	13,018	49,813	49,816
5,5	4,725	6,3	2,357	2,443	87,394	5,362	7,244	12,606	57,464	57,465
6	4,7	6,633	2,382	2,412	87,345	3,690	8,965	12,655	70,843	70,842
6,5	4,675	6,767	2,305	2,397	86,057	4,005	9,938	13,943	71,275	71,276

- Caucho como parte del ligante

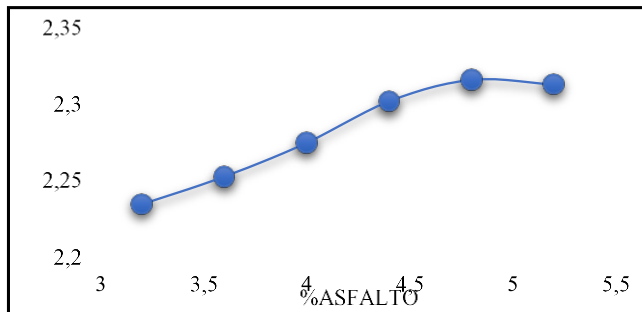
**Tabla 7. Proceso vía húmeda Caucho como parte del ligante**

<i>% de asfalto</i>	<i>%Caucho como parte del ligante</i>	<i>Alt (cm)</i>	<i>Densidad bulk</i>	<i>Gmm (RICE)</i>	<i>% Vagr (Vol agregado)</i>	<i>%pa (Vacíos)</i>	<i>Va (Vol de asfalto)</i>	<i>Vam (Vacíos agregado mineral)</i>	<i>Vea (Vol efectivo asfalto)</i>	<i>VFA (Vacíos llenos de asf)</i>
3,8	0,2	5,733	2,250	2,513	83,025	11,580	5,395	16,975	31,784	31,782
3,6	0,225	5,5	2,302	2,493	83,879	9,507	6,614	16,121	41,029	41,025
5	0,25	6,033	2,334	2,449	84,702	6,533	8,765	15,298	57,293	57,295
4,4	0,275	6,3	2,357	2,443	87,144	5,362	7,494	12,856	58,291	58,292
6	0,3	6,633	2,382	2,412	85,065	3,690	11,245	14,935	75,294	75,293
6,5	0,325	6,767	2,305	2,397	83,777	4,005	12,218	16,223	75,312	75,313

## 5.4 ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS.

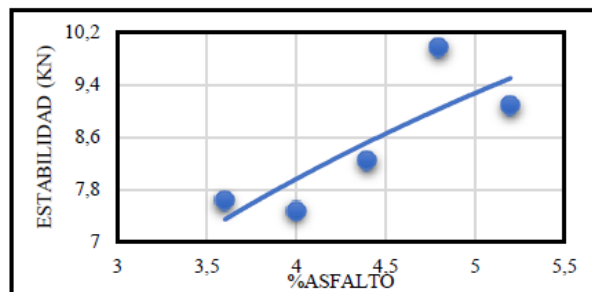
### Mezcla I (Vía húmeda)

**Gráfica 1. Peso unitario vs %asfalto**



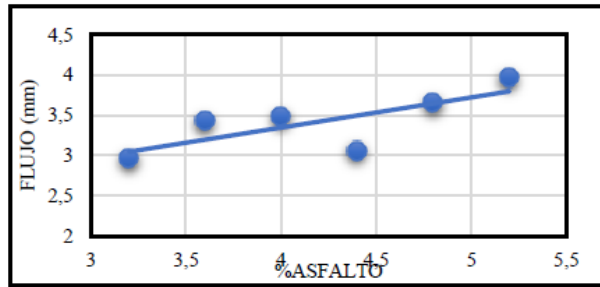
% Asfalto	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2
Dens g/cc	2,235	2,253	2,275	2,302	2,316	2,313

**Gráfica 2. Estabilidad vs %asfalto**



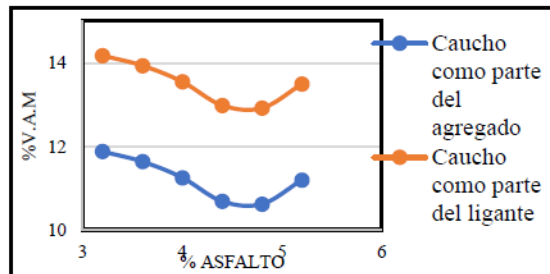
%ASF	3,2	4	4,4	4,8	5,2
EST (Kn)	7.62	7.47	8.23	9.96	9.07

**Gráfica 3. Flujo vs % Asfalto**



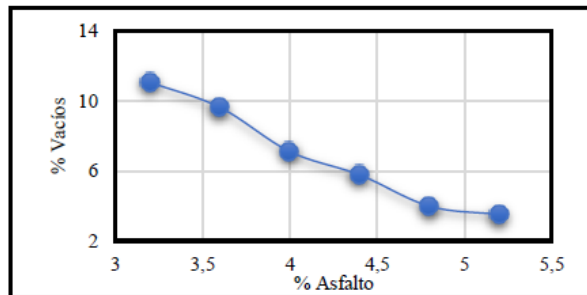
% Asf	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2
Flujo (mm)	2,96	3,42	3,48	3,05	3,65	3,96

**Gráfica 4. V.A.M vs %asfalto (con las dos variantes)**



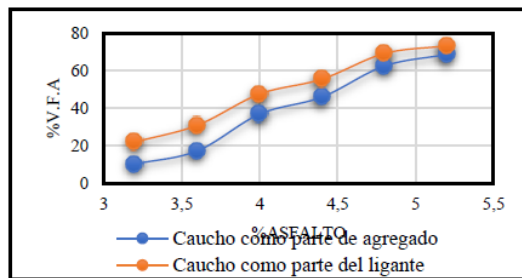
%ASF	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2
%V.A.M	11,876	11,635	11,25	10,684	10,618	11,194
	14,176	13,935	13,550	12,984	12,918	13,494

**Gráfica 5. %Vacíos vs %asfalto**



% Asf	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2
%Vacíos	11,06	9,627	7,104	5,771	3,980	3,504

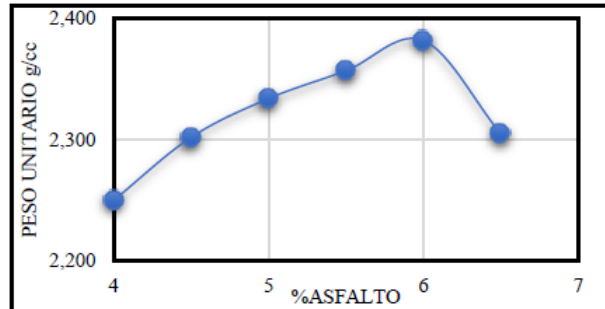
**Gráfica 6. %V.F.A vs %asfalto**



% ASF	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2
% V.F.A	10,222	17,258	36,844	45,985	62,516	68,689
	21,967	30,915	47,565	55,553	69,190	73,292

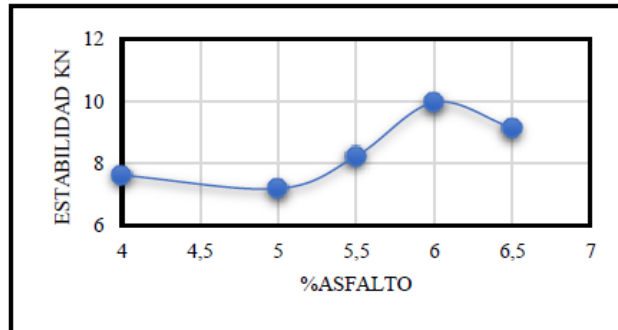
**Mezcla II (Vía seca)**

**Gráfica 7. Peso unitario vs %asfalto**



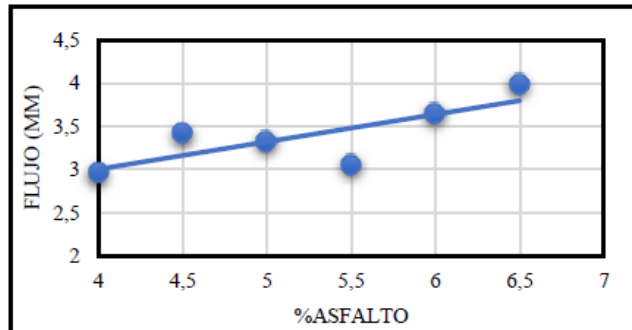
% Asf	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Der	2,250	2,300	2,330	2,350	2,380	2,300

**Gráfica 8. Estabilidad vs %asfalto**



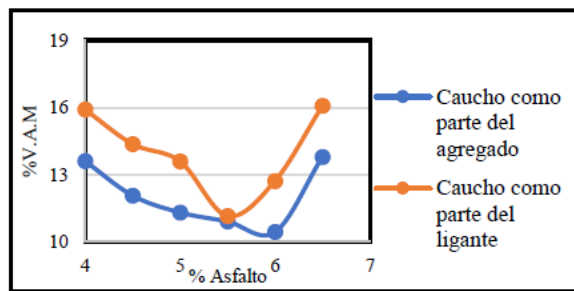
%Asf	4	5	5.5	6	6.5
Est	7.62	7.192	8.233	9.9566	9.132

**Gráfica 9. Flujo vs %asfalto**



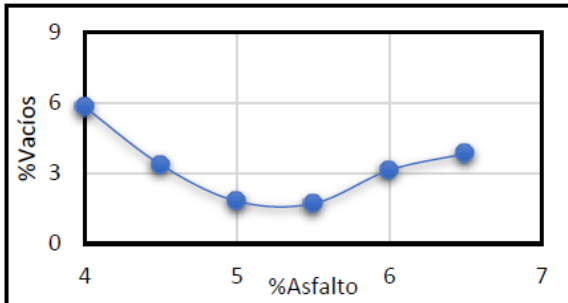
%Asf	4	4.5	5	5.5	6
FLUJO(mm)	2.96	3.4233	3.327	3.053	3.65

**Gráfica 10. V.A.M vs %asfalto (con las dos variantes)**



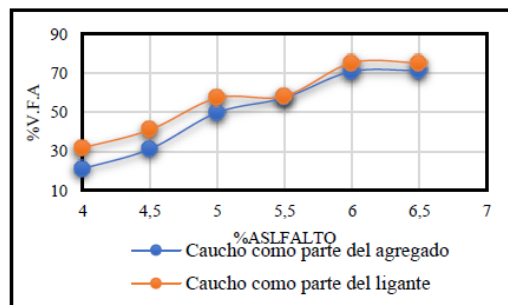
%ASF	4	4.5	5	5.5	6	6.5
V.A.M	13,6	12,0636	11,308	10,9054	10,4368	13,793
	15,9	14,3636	13,588	11,1554	12,7168	16,073

**Gráfica 11. %Vacíos vs %asfalto**



% Asfalto	4	4.5	5	5.5	6	6.5
%Vacíos	5,818	3,358	1,809	1,708	3,128	3,838

**Gráfica 12. %V.F.A vs %asfalto**



% ASF	4	0,5	5	5,5	6	6,5
%	21,090	31,213	49,816	57,465	70,842	71,276
% V.F.A	31,782	41,025	57,295	58,292	75,293	75,313

- Con base en la variación de las propiedades de las probetas fabricadas, se seleccionó una mezcla con contenido de asfalto de 4,8% cuando el proceso se hace por vía húmeda y de 6% por vía seca cumpliendo con las siguientes especificaciones: La Estabilidad es superior a 5 KN, el flujo debe estar comprendido entre los valores 2 a 3.5 mm, los vacíos con aire deben estar comprendidos entre 3% y 5% y los vacíos en el agregado mineral deben ser superiores al 15% y por último el VFA debe estar comprendido entre el 65% y el 75%.

## 6. CONCLUSIONES.

- Se evidenció que la modificación del ligante utilizando asfaltita aumentó la consistencia, ya que aportó dureza, eso fue ratificado en el ensayo de penetración.
- Teniendo en cuenta los resultados de estabilidad, la rigidez de las mezclas es similar al de las mezclas tradicionales y con rigidez superior a las mezclas en las que solamente se adiciona caucho.
- Los vacíos en el agregado mineral, la estabilidad y el flujo no son diferenciador para determinar si es mejor realizar las mezclas por vía húmeda o vía seca. Sin embargo, la fuerte diferencia en los contenidos de ligante, 4.8% en el caso de la adición por vía húmeda y 6.0% para la mezcla por vía seca, permiten establecer que el costo de la mezcla sería mucho menor cuando la mezcla se fabrica por vía húmeda.
- El procedimiento por vía húmeda arrojó mejores resultados similares al de una mezcla convencional, en cuanto a Estabilidad y flujo. Lo anterior pareciera confirmar que con la adición de la Asfaltita se puede obtener una mezcla con mayor capacidad estructural.
- La diferencia de manejabilidad de las mezclas parece ser la factor que incrementó el contenido de ligante en las mezclas fabricadas por vía seca. La adición del caucho en el agregado no permite mayor homogeneidad por tratarse de una mezcla con materiales de muy diferente densidad (caucho=0.98 g/cc y agregado=2.5 g/cc). La mezcla asfalto- caucho se hace con dos materiales de densidad similar.

- Parece técnicamente mas apropiado realizar el análisis considerando el caucho como agregado. Porque la formulación se puede evaluar de manera similar a una mezcla tradicional en la que parte de los finos del agregado han sido reemplazados por un material de tamaños similares pero con propiedad física diferente.

## **7. RECOMENDACIONES.**

- Se debe continuar el estudio de este nuevo material con la realización de ensayos de comportamiento como fatiga, deformación plástica y rigidez.
- Los laboratorios deberían adquirir equipo especializado para la manufactura de la mezcla.

## BIBLIOGRAFÍA.

El TIEMPO Reciclaje de llantas en Colombia [en línea] disponible en:  
<http://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>

IMT Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas  
<http://www..mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>

INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras [en línea] disponible en:  
<https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construcción-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

REVISTA POLITECNICA Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores [en línea] disponible en:  
[http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/Obtencion\\_de\\_Asfalto\\_Modificado\\_con\\_Polvo\\_de\\_Caucho\\_Proveniente.pdf](http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/Obtencion_de_Asfalto_Modificado_con_Polvo_de_Caucho_Proveniente.pdf)

SLIDESHARE Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas [en línea] disponible en: <https://es..net/inrahil/estudio-de-la-utilizacin-de-caucho-de-neumticos-en-mezclas-asfalticas>

U CATOLICA Estado del arte implementación de normas GAP. [en línea] disponible en: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1743/1/Dise%C3%B1o-mezcla-asf%C3%A1ltica-asfalto-caucho- tecnolog%C3%ADa-Gap->

U DISTRITAL Modificación del concreto asfáltico (MDC-19) [en línea] disponible en:  
<http://repository..edu.co/bitstream/11349/5384/1/MODIFICACION%20DEL%20CONCRETO%20ASFALTICO%20MDC-19%20CON%20LA%20SUSTITUCION%20DEL%20LLENANTE%20MINERAL%20POR%20CALAMINA%20Y%20LA%20INCORPORACION%20DEL%20ADITIVO%20E2%80%9CHUSILE2%80%9D.pdf>