

**MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA MODIFICADA CON HUSIL Y UN DESECHO DE
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD) EMPLEANDO COMO
GRANULOMETRIA DE REFERENCIA LA MDC-19**

Presentado por:

Marx Lenin Tola Flórez 20092032038

Viviana Paola Calvo Martelo 20082032011

Director:

Ing. Dr. Hugo Alexander Rondón Quintana

**Trabajo de Grado Presentado para Optar por el Título de Ingeniero
Topográfico**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

BOGOTÁ

2015

El Trabajo de Grado con título “**MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA MODIFICADA CON HUSIL Y UN DESECHO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD) EMPLEANDO COMO GRANULOMETRÍA DE REFERENCIA LA MDC-19.**”, desarrollado por los estudiantes VIVIANA PAOLA CALVO MARTELO Y MARX LENIN TOLA FLÓREZ, en cumplimiento de uno de los requisitos depuestos por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para optar el Título de Ingeniero Topográfico, fue aprobado por:

Director

Ing., Dr. Hugo Alexander Rondón Quintana

Jurado

Ing. Carlos Javier González

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus más sinceras muestras de agradecimiento a:

Principalmente nos gustaría agradecerle a Dios por bendecirnos para llegar hasta este punto, porque hizo que fuera posible este sueño anhelado.

A nuestros padres que estuvieron apoyándonos en todo el recorrido de nuestra carrera profesional hasta su culminación, brindando su amor y motivación para alcanzar nuestros sueños.

Agradecemos la confianza, la dedicación, el apoyo y de tiempo a nuestro profesor de investigación: Ingeniero Hugo Alexander Rondón Quintana, Director del Trabajo de Grado por haber compartido sus conocimientos y la confianza depositada en nosotros para esta investigación.

Ingeniero Carlos González Vergara, jurado del trabajo de Grado, por los aportes brindados durante la elaboración del proyecto.

Nos gustaría agradecer a nuestros profesores que nos acompañaron durante el desarrollo y culminación de la carrera, cada uno de ellos aportó mucho en formación como profesional.

Le agradecemos amigos que nos acompañaron durante este arduo camino, los cuales siempre creyeron en nosotros fueron una base sólida para lograr hoy esta meta.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1. ASFALTOS.....	4
3.1.1. ASFALTOS NATURALES.....	4
3.1.2. ASFALTOS DERIVADOS DEL PETROLEO.....	4
3.2. LOS TIPOS DE ASFALTOS.....	5
3.2.1. CEMENTO ASFALTICO	5
3.2.1.1. Ensayos al cemento asfaltico	8
3.2.1.1.1 Penetración.....	8
3.2.1.1.2. Punto de ablandamiento	8
3.2.1.1.3. Ductilidad	9
3.2.1.1.4. Contenido de parafinas	10
3.2.1.1.5. Punto de ignición e inflamación	10
3.2.1.1.6. Viscosidad.....	10
3.3. Clases de agregados pétreos.....	11
• Agregados naturales	11
• Agregados artificiales	11
• Agregados marginales.....	11
• Agregados triturados	11
3.3.1. Características de los agregados pétreos.....	12
• Forma y angulosidad	12
• Resistencia al desgaste.....	12
<i>Fuente: (Jimeno, 1994).</i>	12
• Adhesividad	13
• Resistencia al desprendimiento.....	13
3.3.2. Características según su tamaño.....	13

• Agregado grueso	13
• Agregado fino	13
• Filler mineral	13
3.3.3. Ensayos Agregados Pétreos	14
• Granulometría.....	14
• . Desgaste en la máquina de Los Ángeles	14
• Micro Deval.....	14
• 10 % de finos.....	14
• Pérdida de solidez en sulfato de sodio o magnesio.....	15
• Índice de plasticidad	15
• Equivalente de arena.....	15
• Azul de metileno	16
• Contenido de impurezas.....	16
• Partículas fracturadas mecánicamente	16
<i>Fuente: Manual INVIAS, INV. E-227-07.</i>	16
• Angularidad del agregado fino.....	16
• Partículas planas y alargadas.....	17
• . Gravedad específica y absorción	17
• Resistencia al pulimiento.....	17
4. METODOLOGIA	18
4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	19
4.2.1. Caracterización del agregado pétreo	19
4.2.2. Caracterización del cemento asfáltico.....	20
4.2.3. Caracterización del aditivo	21
4.2.4. Caracterización del asfalto modificado.....	22
4.3. DISEÑO DE MUESTRA DE CONTROL MDC-19	22
4.4. ENSAYOS MARSHALL SOBRE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA (MDC-19) CON EL DESECHO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)	
23	
4.4.1. Contenido óptimo	25

4.4.2. Ensayos Marshall sobre mezcla asfáltica modificada con PEBD	27
4.5. ANALISIS DE RESULTADOS	28
4.5.1. Resultados	28
4.5.2. Resultados de los agregados pétreos	28
4.5.3. Resultados cemento asfáltico	28
4.5.4. Porcentaje óptimo de asfalto seleccionado	29
4.5.5. Mezcla convencional MDC-19	30
4.5.6. Análisis de vacíos mezcla convencional MDC-19	30
4.5.7. Análisis de la Mezcla convencional MDC-19, modificada con desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) y aditivo HUSIL	33
4.5.8. Análisis estabilidad-flujo (kg/mm) mezcla de diseño con PEBD y aditivo HUSIL	36
Bibliografía	39

Índice de Tablas

Tabla 1 tipos de asfalto fuente (pavimentos, 2015) .	6
Tabla 2 (pavimentos, 2015)	7
Tabla 3 Granulometría de agregado pétreo según la mezcla de diseño (INVIAS, 2013)	17
Tabla 4 Granulometría del agregado pétreo según la mezcla de diseño	20
Tabla 5 Caracterización de Cemento Asfáltico CA 60-70.....	21
Tabla 6 Distribución de los agregados y CA.....	26
Tabla 7 Especificaciones Marshall de una mezcla en caliente.....	26
Tabla 8 Resultado de los ensayos a los agregados pétreos	28
Tabla 9 ESTANDARES DE CALIDAD	29
Tabla 10 Porcentaje óptimo de asfalto	29
Tabla 11 mezcla convencional MDC-19	30
Tabla 12 Resumen de ensayos Estabilidad - Flujo con PEBD y aditivo HUSIL	36

Ilustración 1 penetrometro (racperu, 2015)	6
Ilustración 2 aparato de anillo y bola (AM3)	8
Ilustración 3 copa abierta de Cleveland (SHT6)	10
<i>Ilustración 4. Forma de las partículas de agregado pétreo. i. Redondeada, ii Irregular, iii. Angular, iv. Lajosa, v. Alargada, vi. Alargada Lajosa.</i>	12
<i>Ilustración 5. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada</i>	16
Ilustración 6 diagrama de flujo.....	18
Ilustración 7 Relación de vacíos vs cemento asfáltico.....	30
Ilustración 8 relación de vacíos en agregado pétreo vs cemento asfáltico.....	31
Ilustración 9 conducta de estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico	31
Ilustración 10 comportamiento de flujo vs cemento asfáltico.....	32
Ilustración 11 comportamiento de rigidez vs cemento asfáltico.....	32
Ilustración 12 comportamiento de la densidad vs cemento asfáltico	33
Ilustración 13 densidad bulk vs cemento asfáltico... ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 14	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El presente trabajo de grado muestra los resultados experimentales arrojados por una mezcla densa en caliente de granulometría MDC-19 (especificación INVIAS 2013) al ser modificada con HUSIL y un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD). Donde posteriormente se midió la resistencia bajo carga monotonica y el impacto posiblemente favorable que tendría con el medio ambiente, puesto que la adición de polímeros modifica de una manera considerable las propiedades del asfalto reduciendo la temperatura de producción.

Para la elaboración de la mezcla y consecutivamente la evaluación de la misma, se empleó cemento asfáltico tipo CA 60-70 producido en la ciudad de Barrancabermeja por la Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL. Realizando ensayos tipo Marshall (INV. 748-13) a 20 briquetas con distintos porcentajes de asfalto, entre 4.5% a 6%, y a temperaturas de mezclado de 150 °C y de compactación a 140 °C; se logró determinar que el contenido óptimo para la muestra fue del 5.5%. Al haber obtenido este porcentaje se continuó con la adición del desecho de polietileno (PEBD), en porcentajes de 5% y 7.5%, por vía húmeda a una temperatura controlada y con tiempos de mezcla establecidos para lograr una mezcla homogénea. Complementando el procedimiento del diseño de la mezcla se decidió utilizar el aditivo HUSIL (suministrado por el grupo de investigación de pavimentos de la universidad distrital), el cual espuma el asfalto haciendo que la viscosidad se reduzca e incrementando sus propiedades adherentes aptas para la mezcla con el agregado pétreo.

Los ensayos realizados a la mezcla convencional (sin el aditivo) y a la mezcla modificada (con los aditivos) mediante el método Marshall; logro evidenciar que el comportamiento de las propiedades presenta ventajas y desventajas: aumenta la rigidez y resistencia a la deformación pero la resistencia a fatiga (ciclos de vida) se ve disminuida. Sin embargo las características de la mezcla MDC-19 modificada cumplen con el objetivo de lograr que ésta reduzca su temperatura de producción (mezclado y compactación) logrando así una mezcla asfáltica tibia que esté dentro de los parámetros de calidad establecidos por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Palabras clave: *mezcla densa en caliente, HUSIL, desecho de polietileno (PEBD), asfalto modificado, mezcla asfáltica tibia.*

El presente trabajo de trabajo muestra los resultados experimentales arrojados por una mezcla densa en caliente de granulometría MDC-19 (especificación INVIAS 2013) al ser modificada con HUSIL y un desecho de polietileno de baja

densidad (PEBD). Donde posteriormente se midió la resistencia bajo carga monotonica y el impacto posible favorable que tendrá con el medio ambiente, puesto que la adición de polímeros modifica de una manera considerable las propiedades del asfalto reduciendo las temperaturas de producción.

Para la elaboración de la mezcla y consecutivamente la evaluación de la misma, se empleó cemento asfáltico tipo CA 60-70 producido en la ciudad de Barrancabermeja por la empresa Colombiana de petroleros –ECOPETROL realizando ensayos tipo Marshall (INV 748-13) a

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia la mayoría de las vías son diseñadas y construidas con pavimentos flexibles (Asociación de productores Pavimentadores Asfálticos de Colombia, 2004) que presentan superficialmente por lo general, capas asfálticas de tipo denso y en caliente (MDC, Instituto Nacional de Vías - INVIAS 2013). Las mezclas en caliente presentan como principal desventaja que por ser fabricadas, extendidas y compactadas a altas temperaturas, contaminan el medio ambiente generando un impacto negativo al mismo.

Por lo anterior, en la actualidad se están trabajando nuevas tecnologías como son las mezclas asfálticas tibias (MAT) o “Warm Mix Asphalt” (WAM), las cuales han sido diseñadas para ser fabricadas entre los 100 y 140° C; presentando un proceso de producción diferente con respecto a la fabricación de las mezclas en caliente, debido a que adiciona polímeros al asfalto para modificar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas.

Lo cual resulta ser una gran propuesta para contribuir en la mitigación de los impactos ambientales, controlar, manejar y reducir las temperaturas de fabricación de dichas mezclas. Además de la reducción de las emisiones en planta de gases, reducción del consumo de energía y costos financieros, mejor trabajabilidad, compactación y eficiencia, distancias permitidas de transporte del material más largas, rotación más rápida del tráfico debido al menor tiempo de enfriamiento y ubicación de plantas en zonas urbanas (Rubio et al., 2011; Rondón y Reyes, 2015).

En el presente trabajo de grado se tiene como objetivo encontrar soluciones de pavimentación amigables con el medio ambiente, teniendo en cuenta que en Bogotá se produce diariamente alrededor 600 toneladas de basura, donde el 10% son plásticos. Una alternativa para mejorar los índices de contaminación es utilizar dichos materiales para modificar las mezclas asfálticas y disminuir el impacto que generan. (Hugo Rondon, 2007). Entre los elementos que se producen en la ciudad encontramos un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) tipo elastómero (palillo de plástico).

La idea es emplear este desecho para modificar una mezcla asfáltica densa en caliente (MDC-19). En el cual se procederá a realizar en promedio 85 briquetas con un cemento asfáltico (CA), proporcionado por el grupo de investigación TOPOVIAL. Para disminuir la temperatura de fabricación de la mezcla se empleara el aditivo HUSIL proporcionado por el grupo TOPOVIAL. Dicho aditivo espuma el asfalto a una temperatura de 80°C, disminuyendo la viscosidad del ligante base, mejorando la trabajabilidad, compactibilidad y el recubrimiento de los

agregados pétreos (AP). Como parámetro de evaluación del comportamiento de las propiedades de la mezclas, se empleara la resistencia mecánica bajo carga monofónica a través del ensayo Marshall (INV. E-748-13).

Mediante este estudio se buscara reducir la temperatura en el momento de ser elaborada, minimizar costos y tiempo de producción; Lo cual ayudaran a las diferentes áreas que están relacionadas en el diseño de pavimentos aplicado a la construcción de vías. A su vez la finalidad de realizar este proyecto se enfoca en identificar si mediante la modificación de dicha mezcla se puede mejorar las propiedades de cemento asfáltico o por lo contrario no presenta ningún resultado favorable con respecto a lo que se busca evaluar.

Lo anteriormente es puesto, está sujeto al proyecto de investigación “*Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia, bajo criterios técnicos y medioambientales*” que actualmente está adelantando el grupo de investigación TOPOVIAL de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC), según convocatoria pública del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico - CIDC No. 014/13. En este proyecto se utiliza un aditivo químico que actúa como una zeolita sintética (HUSIL), espumando el asfalto a aproximadamente 80°C.

El grupo de investigación ha vinculado a diferentes estudiantes del Proyecto Curricular de Ingeniería Topográfica con el fin de ejecutar trabajos de grados que evalúen la resistencia bajo carga monotónica que desarrollen mezclas tibias empleando HUSIL como aditivo cuando se emplea la granulometría de mezclas tipo MDC-10, MDC-19 y MDC-25 (INVIAS 2013). Adicionalmente, dicho grupo de investigación, mediante estudios reportados en el artículo “*EVALUACIÓN DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE CON UN DESECHO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD*” (Hugo Rondón, Wilmar Fernández y William Castro). (Hugo Rondon, 2007, pág. 5).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Medir la resistencia bajo carga monotónica que experimenta una mezcla asfáltica tibia empleando la granulometría de una mezcla tipo MDC-19 al adicionarle el desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) para posteriormente desarrollar una mezcla asfáltica tibia que cumpla con todas las especificaciones de calidad y que sea más amigable con el medio ambiente.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Modificar las propiedades de una mezcla asfáltica MDC-19 con el aditivo PEBD y evaluar dichas propiedades en ensayos de laboratorio (carga monotónica).
- Diseñar una mezcla de referencia MDC-19.
- Evaluar y analizar la influencia de la temperatura de la mezcla y compactación sobre la mezcla asfáltica modificada con el aditivo Husil empleado para espumar el asfalto.
- Efectuar ensayos Marshall sobre la mezcla asfáltica en caliente y tibia modificada en PEBD. Primero sin el aditivo mezcla en caliente y después con el aditivo fabricado a diferentes temperaturas para saber que comportamiento tiene el asfalto y cuanto contenido del desecho de polietileno es necesario para generar una mezcla asfáltica óptima.
- Evaluar y analizar los resultados obtenidos de los ya mencionados ensayos Marshall teniendo en cuenta las temperaturas de compactación y las temperaturas de mezclado todo con el fin de dar una conclusión final del tipo de mezcla asfáltica tibia que se generó para comparar sus principales propiedades con las de una mezcla asfáltica en caliente.

3. MARCO TEORICO

3.1. ASFALTOS

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencias, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes: los derivados de petróleos y los naturales. (asfaltoenobravicil, 2011).

3.1.1. ASFALTOS NATURALES

Es un asfalto bituminoso en estado sólido compuesto por hidrocarburos de alto peso molecular en estratos que pueden ir en alguno centímetros a decenas de metros de espesor y presentan gran variedad en su rigidez, por lo que su punto de difusión puede ir de los 100°C a más de 300°C.este material presenta un punto alto de ablandamiento superior a 90°C y en el mundo son conocidos como endurecedores de asfaltos por su alto cantidad de asfaltenos.). (pavimentos, 2015, pág. 13)

3.1.2. ASFALTOS DERIVADOS DEL PETROLEO

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.
- Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad. Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosene de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior.

El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS₂). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos.

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños. (e- asfalto, 2015)

3.2. LOS TIPOS DE ASFALTOS

Los tipos de asfaltos utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas son:

- Cementos asfáltico.
- Emulsiones asfálticas.
- Asfaltos rebajados.
- Asfaltos modificados y multigrados.
- Asfaltos espumados.
- Crudos pesados.
- Asfaltitos o asfaltos naturales.

3.2.1. CEMENTO ASFALTICO

El cemento asfáltico se designa por las letras CA o AC (*Asphalt Cement* en un país anglosajón) y se clasifican por lo general de acuerdo con su consistencia evaluada a 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 por sus siglas en inglés).

El cemento asfáltico se clasifica de acuerdo a su penetración (INV .E7-706-13 ASTM D-5). En estos ensayos los resultados pueden ser entendidos como la resistencia que experimenta el cemento asfáltico cuando se permite penetrar en él una aguja normalizada de 100g de masa durante cinco segundos a una temperatura estándar (25°C). es decir, de manera directa mide la consistencia CA y

de manera indirecta evalúa su rigidez, entendiéndose que, bajo mismas condiciones de ensayo, el CA más rígido será aquel en el cual la aguja penetre menos. Esta penetración se evalúa en 1/10 de mm, se mide en un “penetrómetro” (Figura 1), el procedimiento del ensayo se puede consultar en las especificaciones INV –E706-13 (ASTM D-5) del instituto Nacional de Invias (2013). (pavimentos, 2015)



Ilustración 1 penetrómetro (racperu, 2015)

Las mezclas que se fabrican CA como ligante son denominadas mezclas en caliente ya que necesita calentarla a altas temperaturas (entre 135 y 160° C por lo general) para poder adherirlo al agregado pétreo. A temperatura ambiente el CA es un material sólido viscoso que no puede adherirse al agregado pétreo. En Colombia se exige la producción industrial de tres tipos CA: Tabla 1

TIPOS DE CEMENTO ASFALTICO (CA)	UTILIDAD Y TEMPERATURA
CA 80-100(Mínimo PG 58-22)	Es utilizado por lo general a temperaturas inferiores a 24°C.
CA 60-70 (Mínimo PG 64-22)	Para temperaturas superiores a 24°C .con respecto al nivel de tránsito que deben soportar las mezclas de pavimento, se recomienda para altos volúmenes de tránsitos
CA 40-50(Mínimo PG 64-22)	Para temperaturas superiores a 24°C .con respecto al nivel de tránsito que deben soportar las mezclas de pavimento, se recomienda para altos volúmenes de tránsitos

Tabla 1 tipos de asfalto fuente (pavimentos, 2015) .

Los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir los CA en Colombia, con el fin de ser utilizados como materiales para conformar mezclas asfálticas, como se presentan en las tabla 2 (Invias, 2013, artículo 400).pero para el caso de Bogotá, estos requisitos mínimos de calidad se controlan a través de las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU, artículo 200 ,2011).

Tabla 2 (pavimentos, 2015)

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACION					
		40-50		60-70		80-100	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
ASFALTO ORIGINAL							
Penetration (25° C, 100 g, 5 s), 0.1 mm	E- 706	40	50	60	70	80	100
punto de ablandamiento	E-712	52	58	48	54	45	52
índice de penetración	E-724	-1,2	0,6	-1,2	0,6	-1,2	0,6
Viscosidad absoluta (60°C), P	E-716 o E-717	200-0	— —	150-0	— —	100-0	— —
Ductibilidad (25° C, 5 cm/min),cm	E-702	80	— —	100	— —	100	— —
solubilidad en tricloroetileno,%	E-713	99	— —	99	— —	99	— —
contenido de agua %	E-704	— —	0,2	— —	0,2	— —	0,2
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland, C°	E-709	240	— —	230	— —	230	— —
Contenido de parafinas, %	E-718	— —	3	— —	3	— —	3
Asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delegada rotatoria, norma de ensayo INV E-720							
Perdida de masa por calentamiento, %	E-720	— —	0.8	— —	0.8	— —	1.0
Penetración del residuo, en %de la penetración de asfalto original	E-706	55	— —	50	— —	46	— —
incremento en el punto de ablandamiento	E-712	— —	8	— —	9	— —	9
Índice de envejecimiento: relación de viscosidades (60°C) del asfalto residual y el asfalto original	E-716 o E-717	— —	4	— —	4	— —	4

3.2.1.1. Ensayos al cemento asfáltico

3.2.1.1.1 Penetración

De acuerdo con Rondón y Reyes (2015), físicamente, los resultados de este ensayo pueden ser entendidos como la resistencia que experimenta el cemento asfáltico cuando se permite penetrar en él una aguja normalizada de 100 g de masa durante cinco segundos a una temperatura estándar (25 °C). Es decir, de manera directa mide la consistencia del CA y de manera indirecta evalúa su rigidez, entendiéndose que, bajo las mismas condiciones de ensayo, el CA más rígido será aquel en el cual la aguja penetre menos. De acuerdo con la especificación de ensayo INV. E-706-13. (INVIAS, 2013), la penetración se evalúa en 1/10 de mm y se mide en un “penetrómetro” (ver ilustración 1).

3.2.1.1.2. Punto de ablandamiento

(INV,E-712-13,ASTM D-36-96) es un parámetro que se mide empleando un equipo denominado anillo y bola (R&B por sus siglas en inglés, ver ilustración 3) y mide la temperatura a la cual el CA pasa de un estado sólido a uno en el cual fluye como un líquido. Esta temperatura es muchas veces utilizada como indicador empírico de máxima temperatura de operación de las mezclas en servicio. Lo ideal es que la mezcla no experimente durante su vida útil en el pavimento dicha temperatura, ya que el ligante asfáltico, y por lo tanto la mezcla, experimentarían una gran disminución en su rigidez (Rondón y Reyes, 2015). Se determina por medio de la especificación de ensayo INV. E-712 de INVIAS (2013). En términos generales, la temperatura del cemento asfáltico cuando alcanza el punto de ablandamiento es equivalente aproximadamente a una penetración de 800 décimas de mm medido a 25° C durante 5 segundos (INV. E-706-13). (pavimentos, 2015, pág. 13).



Ilustración 2 aparato de anillo y bola (AM3)

3.2.1.1.3. Ductilidad

La ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura, es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo "extensión" en un ductilímetro para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones y medidas normalizadas. Se somete el asfalto a la temperatura de ensayo generalmente a 25 °C (INV. E 702-13), y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo. (pavimentos, 2015, pág. 16)

Tabla 3 Ensayos sobre CA

Ensayo	Metodo	Unidad	CA 60-70
Ensayos sobre el CA original			
Penetración (25°C , 100g, 5 s)	ASTM D-5	0.1 mm	65
Índice de penetración	N TL 181/88	-	-0,7
Punto de ablandamiento	ASTM D-36-95	°C	52,5
Viscosidad absoluta(60°C)	ASTM D - 4402	Poises	1750
Gravedad especifica	AASHTO T 228-04	-	1,016
Viscosidad a 135° C	AASHTO T - 316	Pa - s	0,36
Ductilidad (25°C , 5cm/min)	ASTM D-113	cm	>105
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D -2042	%	>99
Ensayos sobre el residuo del CA luego del RTFOT			
Perdida de masa	ASTM D- 2872	%	0,47
Penetración (25°C, 100g,5s), en porcentaje de la penetración original	ASTM D -5	%	72

3.2.1.1.4. Contenido de parafinas

(INV. E-718-13, UNE-EN-12606) este ensayo se ejecuta con el fin de medir la cantidad de parafinas presentes en el CA. Las parafinas generan cristalización y cambio de comportamiento dúctil a frágil en el asfalto a bajas temperaturas de servicio, por el contrario, se ablandan, disminuyendo la resistencia del asfalto a deformarse bajo carga. Adicionalmente, reducen las propiedades adherentes del asfalto con el agregado pétreo. (pavimentos, 2015, pág. 15)

3.2.1.1.5. Punto de ignición e inflamación

(INV. E-709-13, ASTM D-92) es la temperatura a la cual inflama el CA y se mide en un equipo denominado copa abierta de Cleveland (ver ilustración 3). Entre mayor sea el punto de inflamación, menor es la probabilidad de experimentar problemas de combustión e inflamación durante los procesos de almacenamiento del CA y de fabricación de las mezclas en las plantas asfálticas (seguridad industrial). (pavimentos, 2015, pág. 14)



Ilustración 3 copa abierta de Cleveland (SHT6)

3.2.1.1.6. Viscosidad

(INV. E-714, 715, 716, 717-13, AASTHO T 72-97, T 201-03, ASTM D-4402, AASTHO T 316-04) puede ser entendida como la resistencia que tiene un material a fluir sobre una superficie, siendo el agua, para dar un ejemplo, menos viscosa que el CA pero más viscosa que la gasolina. Para el caso de los pavimentos, la viscosidad es un parámetro físico que ha sido utilizado ampliamente desde la

década de los sesenta (*Asphalt Institute*, 1962, 1974) principalmente para determinar, de manera aproximada, las temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas (temperatura de mezclado entre el agregado pétreo y el CA en la planta de asfalto) y de extensión y compactación de dichas mezclas en el laboratorio. Adicionalmente, la viscosidad ofrece una medida indirecta de la consistencia y rigidez del CA, siendo por lo general más rígido aquel CA que experimente mayor viscosidad. De acuerdo con estos autores, la norma ASTM D 6925, determina la viscosidad de laboratorio requerida para obtener la temperatura de fabricación y de compactación de mezclas asfálticas del tipo denso (85 ± 15 SSF=170 cp y 140 ± 15 SSF=280 cp respectivamente). Para mezclas asfálticas drenantes o abiertas, la temperatura de fabricación que se recomienda por lo general es aquella donde el ligante alcance una viscosidad entre 700 cp y 900 cp. (pavimentos, 2015, pág. 7)

Algunos equipos para medir la viscosidad del CA son los siguientes:

- Viscosímetro rotacional (AASHTO T 316 y ASTM D 4402).
- Copa Ford.
- Falling Ball.
- Viscosímetro capilar.

3.3. Clases de agregados pétreos

La clase de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para la eficacia de su técnica, se clasifican de la siguiente manera:

- **Agregados naturales**

Son usados exclusivamente después de la modificación de su distribución de tamaño para la adaptación a ciertas exigencias según sea su disposición final.

- **Agregados artificiales**

Son el resultado de procesos industriales, tales como materiales procedente de demoliciones, con características reciclables.

- **Agregados marginales**

Son aquellos materiales que no cumplen cierto nivel de requerimiento según sea la norma.

- **Agregados triturados**

Son aquellos obtenidos de procesos de trituración de diferentes rocas, de la granulometría de rechazo de agregados naturales.

3.3.1. Características de los agregados pétreos

- **Forma y angulosidad**

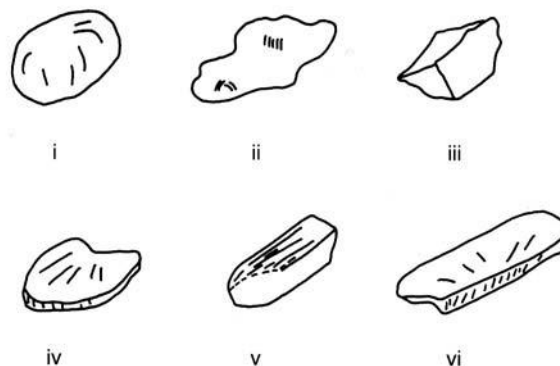
La forma que deben adoptar las partículas del agregado grueso están asociadas fundamentalmente, a la estructura o esqueleto del mineral. Según sea su forma estas partículas se pueden clasificar en partículas redondeadas, irregulares, angulares, lajosas y alargadas y alargada lajosa. (Jimeno, 1994).

Los agregados pétreos deseados principalmente son aquellos que tienen características de partícula cuboideas para la fabricación de mezclas asfálticas. Los factores intrínsecos, como la composición de la roca están asociados a afectar la forma del agregado en el momento de trituración.

- **Resistencia al desgaste**

La resistencia que actúa mecánicamente sobre la forma del mineral es de carácter predominante ya que su comportamiento permite estabilidad después de la puesta en servicio. El análisis de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos en laboratorio; pero teniendo en cuenta, que ninguno de ellos da la caracterización real del estado tensional del agregado. Se realizan ensayos para identificar el comportamiento que estos tendrán luego en servicio, para ello se realizan muestras con granulometría muy similares a las que serán expuestas en la obra, someténdolas a desgastes, que de manera indirecta, proporcionaran información de la resistencia mecánica del material. El ensayo de desgaste Los Ángeles (Norma INV E-218-13) es un ejemplo a los que es sometido.

Ilustración 4. Forma de las partículas de agregado pétreo. i. Redondeada, ii Irregular, iii. Angular, iv. Lajosa, v. Alargada, vi. Alargada Lajosa.



Fuente: (Jimeno, 1994).

- **Adhesividad**

La adhesividad del agregado con el ligante asfáltico (cemento asfáltico) es de suma importancia debido a que pueden presentar fenómenos físico-químicos en la superficie del agregado que tienden a separar el ligante del agregado.

Los agregados se pueden clasificar en ácidos y básicos. Los agregados ácidos tienen la característica de poseer alto contenido de sílice. La adhesividad entre este tipo de agregado con el ligante no es totalmente buena, debido a que puede llegar a ser necesario disminuir la tensión superficial del ligante por medio de procesos de activación para que pueda existir una buena adhesividad. Mientras que los agregados básicos presentan menos afinidad del agregado con el agua. Por ellos estos pueden presentar cierta atracción por los ácidos libres en el ligante y por ellos presentan mejor adhesividad con los mismos.

- **Resistencia al desprendimiento**

La adhesión tiene como defectos la quiebra de las fuerzas de unión entre los agregados y la cubierta de conglomerados asfálticos, lo que conduce a una separación física.

3.3.2. Características según su tamaño

Para definir los términos de las características del agregado según su tamaño se utilizará la terminología expuesta en las especificaciones AASTHO y ATSM.

- **Agregado grueso**

Según el sistema de clasificación de suelos de la AASTHO, se define agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz # 4. Debe provenir preferiblemente de minerales como Granito, Gabro y Basalto, extraídos de lechos de ríos. Generalmente su dosificación es equivalente al 70% del peso de la mezcla. Tiene la característica de que el material es 100 % triturado, arena o mezcla de ambos.

- **Agregado fino**

Según el sistema de clasificación de suelos de la AASTHO, se define agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa por el tamiz # 200. Este material del agregado debe ser el 100 % triturado, arena o mezcla de ambos. Comúnmente constituye el 15 % del peso total de la mezcla.

- **Filler mineral**

Puede ser el polvo de piedras calizas u otro material disponible; pero al momento de su uso debe emplearse en estado no saturado (seco) para que fluya libremente sin formar aglomeraciones, carecer de impurezas orgánicas y tener el índice de plasticidad nulo. Este llenante mineral constituye aproximadamente el 10 % total del peso de la mezcla asfáltica.

3.3.3. Ensayos Agregados Pétreos

A continuación se describen los ensayos a los que son sometidos los agregados pétreos según la especificación INVIAS (2013).

- **Granulometría**

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones, en este caso INVIAS INV. E-213-13, que son aplicables y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados. Los datos pueden también servir para el desarrollo de las relaciones referentes a la porosidad y el empaquetamiento. (pavimentos, 2015)

- **. Desgaste en la máquina de Los Ángeles**

Este ensayo (INV. E-218, 219-13) ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones finales específicas. (pavimentos, 2015)

- **Micro Deval**

El ensayo Micro-Deval (INV. E-238-13), en agregados gruesos, es una medida de la resistencia a la abrasión y durabilidad de agregados pétreos que han sido sometidos a la acción combinada de abrasión y molienda con bolas de acero en presencia de agua. Los agregados son más débiles en estado húmedo que secos y el uso del agua en este ensayo mide esta reducción de resistencia en contraste con otros ensayos que se realizan con agregados secos solamente. Proporciona información útil para juzgar la resistencia desgaste/abrasión y durabilidad/solidez de agregados sujetos a abrasión y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información adecuada de este tipo de comportamiento. (pavimentos, 2015)

- **10 % de finos**

El método (INV. E-224-13) busca evaluar la resistencia mecánica de un agregado, tomando como parámetro de referencia la carga de compresión necesaria que se debe aplicar al material para que se produzca un 10% de finos (pasa el tamiz No. 8 en un ensayo de granulometría) producto de la acción mecánica. (pavimentos, 2015)

- **Pérdida de solidez en sulfato de sodio o magnesio**

Este ensayo (INV. E-220-13) es un procedimiento para hacer un estimativo preliminar de la sanidad de los agregados a ser usados en concretos. Los valores obtenidos pueden ser comparados con especificaciones que se han diseñado para indicar la posibilidad de usar el agregado propuesto. Dado que la precisión de este método es baja, el rechazo de los agregados que no cumplan las especificaciones pertinentes, no puede darse sin confirmar con los resultados de otros ensayos mejor relacionados con el uso que se le va a dar al material. Este ensayo busca evaluar la resistencia del agregado pétreo a desintegrarse cuando, dentro de sus poros, el agua se expande por congelamiento. En teoría, es un ensayo que busca evaluar la resistencia del agregado pétreo al intemperismo. (pavimentos, 2015)

- **Índice de plasticidad**

“Índice expresado como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) de un suelo. Los límites LP y LL de un suelo de tamaño de arcilla denotan el contenido de agua o humedad que se necesita adicionar a una muestra seca para que esta experimente plasticidad (pasar de un estado sólido a plástico) y para que comience a fluir como un líquido (pasar de un estado sólido a plástico) respectivamente. LP y LL son obtenidos empleando la cazuela de Casagrande y el método de los “rollitos” en el laboratorio. Si el IP es igual a cero, las partículas de tamaño de arcilla ensayadas adquieren la denominación de filler o llenante mineral y no experimentan plasticidad cuando se humedecen. Si, por el contrario, el IP adquiere una magnitud, significa que las partículas son arcillosas, y estas sí experimentan plasticidad al ser humedecidas. El IP también es utilizado como indicador de potencial de expansión de arcillas” (pavimentos, 2015)

El ensayo de moldeo manual de rollos de suelo debe ser dado por el procedimiento normativo indicado en la norma INV. E-126-13. Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos rollos se desmoronen. (pavimentos, 2015)

- **Equivalente de arena**

En el ensayo (INV. E-133-13), a un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado y agitándolos para que las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa. La muestra es entonces "irrigada", usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje. este ensayo es utilizado para evaluar el contenido de

partículas de tamaño de arcilla adheridas a una muestra de agregado pétreo fina (arena y limos). (pavimentos, 2015)

- **Azul de metileno**

A través de este ensayo (INV. E-235-13) se determina la cantidad de material indeseable (p.e., arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina del agregado pétreo. (pavimentos, 2015)

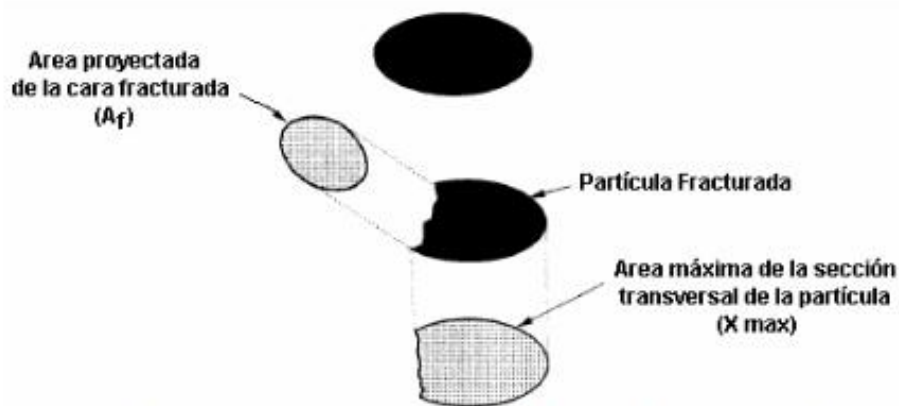
- **Contenido de impurezas**

El ensayo INV. E-237-13 indica separar por lavado, mediante un tamiz de referencia, las partículas menores de 0.5 mm mezcladas o adheridas a la superficie de los agregados gruesos, las cuales se consideran como impurezas. Posteriormente, se calcula el porcentaje en masa de las impurezas respecto de la masa seca de la muestra total. (pavimentos, 2015)

- **Partículas fracturadas mecánicamente**

Una cara será considerada fracturada (INV. E-227-13), solo si tiene un área proyectada al menos tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara tiene bordes cortantes y bien definidos, esto excluye pequeños (ver ilustración 5).

Ilustración 5. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.



Nota: Una cara será considerada "Una cara fracturada" únicamente si tiene: $Af \geq 0.25X_{max}$

Fuente: Manual INVIAS, INV. E-227-07.

- **Angularidad del agregado fino**

Esta norma INV. E-239-13 se refiere a la determinación del contenido de vacíos de una muestra de agregado fino no compactada. Cuando es medido en cualquier agregado de gradación conocida, el contenido de vacíos provee una indicación de la Angularidad de ese agregado, esfericidad y textura de la superficie que pueden ser comparados con las de otros agregados finos ensayados con la misma gradación. Cuando el contenido de vacíos es medido en un agregado fino con gradación tal como se recibe, este puede ser un indicador del efecto del agregado

fino en la manejabilidad de una mezcla en la cual puede ser empleado. (pavimentos, 2015)

- **Partículas planas y alargadas**

Se mide partículas individuales de agregado de una fracción de tamaño específico de tamiz para determinar las relaciones de ancho/espesor, longitud/ancho ó longitud/espesor (INV. E-213-13). (pavimentos, 2015)

- **. Gravedad específica y absorción**

Esta normas describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de gravedades específicas bulk, bulk saturada y superficialmente seca y aparente, así como la absorción, después que los agregados gruesos y finos que pasan con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4) han estado sumergidos en agua durante 15 horas. Este método de ensayo no se debe aplicar a agregados pétreos livianos.

- **Resistencia al pulimiento**

Esta norma describe la susceptibilidad al pulimento de los agregados, mediante la máquina de pulimento acelerado, valorando esta susceptibilidad por medio del Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA), determinado con ayuda del péndulo de fricción.

Para el desarrollo del trabajo de grado se utilizará la granulometría de una mezclas asfáltica tipo MDC-19 del Instituto Nacional de Vías - INVIAS (2013, ver tabla.4). (pavimentos, 2015, pág. 13)

Tabla 4 Granulometría de agregado pétreo según la mezcla de diseño (INVIAS, 2013)

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ(mm/U.S.Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1(1/2)"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
		%PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8 --17	4--8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8--17	4--8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9--19	5--10

4. METODOLOGIA

En siguiente esquema se expondrán las etapas que se tendrá en cuenta para el desarrollo del proyecto que recibe el nombre “mezcla asfáltica tibia modificada con HUSIL y un desecho de polietileno de baja densidad elaborada mediante la modificación de un MDC-19”. La cual se describe de la siguiente forma: ver ilustración 4.

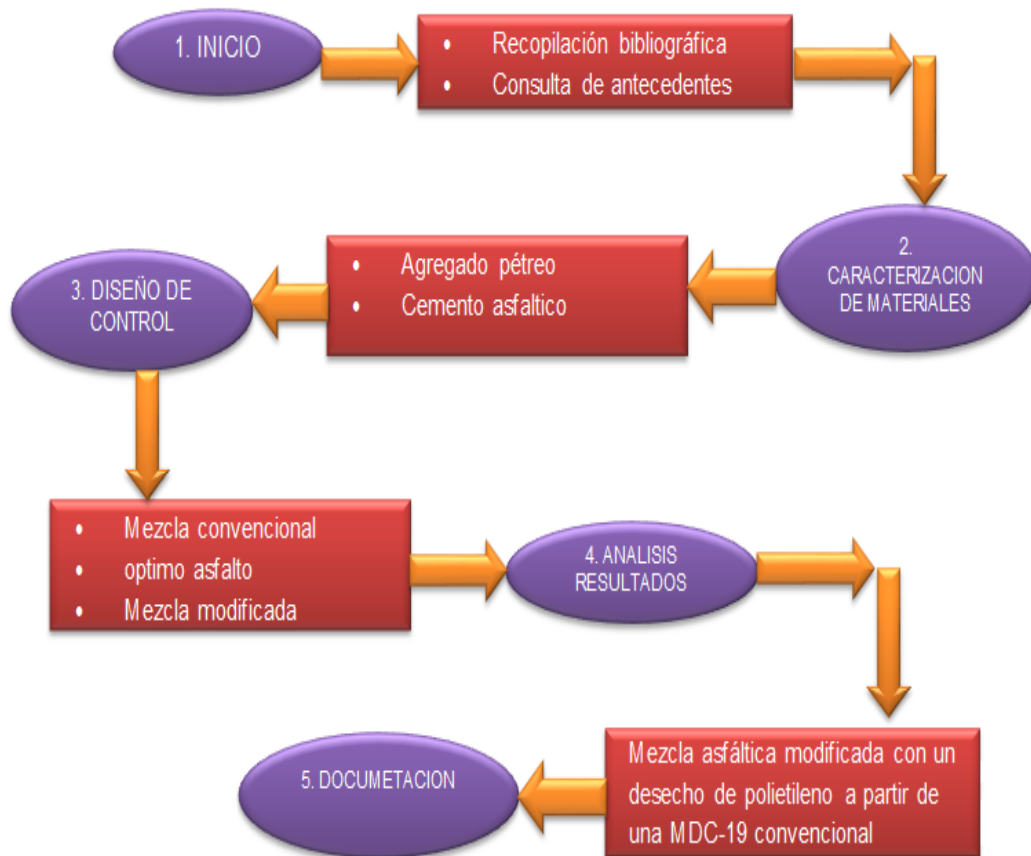


Ilustración 6 diagrama de flujo.

4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se buscará información documentada que contengan temas como mezclas asfálticas en calientes densas convencionales y modificadas, y mezclas asfálticas tibias (WMA). Adicionalmente, se revisará literatura bibliográfica sobre el comportamiento de las propiedades de estos tipos de mezclas al momento de ser modificadas. La consulta se ejecutará teniendo como referencia documentos técnicos provenientes de artículos de revistas indexadas, libros, publicaciones y especificaciones, que son resultado de investigaciones de carácter científico y

técnico disponibles en físico e igualmente virtual que suministrarán confiabilidad y veracidad a la información que proporcionan.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

4.2.1. Caracterización del agregado pétreo

El agregado pétreo se utilizará para la elaboración de briquetas con mezclas asfálticas densas en caliente tipo MDC-19. Dicho agregado deberá cumplir con los requisitos de calidad dispuestos por el INVIAS (ver tabla 4).

Tabla 4 Ensayos de verificación para agregados pétreos en mezclas calientes (INVIAS, 2013)

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRANSITO		
		NT1	NT2	NT3
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo(%) capa de :rodadura /intermedia / base , 500 revoluciones capa de :rodadura /intermedia / base , 100 revoluciones	E -218	25/35/- 5/7/-	25/35/35 05/7/27-	25/35/35 05/7/27-
degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval,maximo(%) Capa de: rodadura /intermedia/base	E-238		25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de :rodadura/intermedia/base valor en seco ,mínimo (kN) Relación húmedo /seco, mínima(%)	E-224			110/90/75 75/75/75
Coefficiente de pulimetro acelerado para rodadura, mínimo	E-232	0.45	0.45	0.45
Durabilidad(0)				
Perdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregado fino y grueso, máximo(%)	E-220	18	18	18
limpieza de agregado grueso (F)				
Impureza de agregado grueso máximo(%)	E-237	0.5	0.5	0.5
limpieza gradación combinada(F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125yE-126	NP	NP	NP
equivalente de arena ,mínimo(%) (nota 1)	E-133	50	50	50
valor de azul de metileno (nota 1)	E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado grueso(F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1 máximo (%)	E-240	10	10	10
Caras fracturadas mínimo (%) una cara: rodadura/intermedia/base dos caras :rodadura/intermedia/base	E-227	75/60/- /-/-	75/75/60 60/-/-	85/75/60 70/-/-
Geometría de las partículas ,agregado fino(F)				
angularidad de la fracción fina, método A, mínimo(%) capa de: rodadura/intermedia/base	E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35

Para el desarrollo del trabajo de grado se utilizó la granulometría de una mezclas asfáltica tipo MDC-19 del Instituto Nacional de Vías - INVIAS 2013, (ver tabla 4)

Tabla 5 Granulometría del agregado pétreo según la mezcla de diseño

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ(mm/U.S.Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1(1/2)"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
		%PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8 --17	4—8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8—17	4—8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9—19	5—10



Ilustración 8 Distribución de los agregados pétreos



Ilustración 7 Selección y clasificación de los agregados pétreos

4.2.2. Caracterización del cemento asfáltico

El cemento asfáltico tipo CA 60-70 será utilizado para el desarrollo del proyecto ya que es el que más se utiliza para la fabricación de mezclas asfálticas del tipo denso y en caliente en Colombia. El asfalto proviene de la refinería de ECOPETROL en Barrancabermeja. Sobre el CA se ejecutarán los ensayos de laboratorio que se presentan en la tabla 6

Tabla 6 Caracterización de Cemento Asfáltico CA 60-70

Ensayo	Metodo	Unidad	CA 60-70
Ensayos sobre el CA original			
Penetracion (25°C , 100g, 5 s)	ASTM D-5	0.1 mm	65
Indice de penetracion	NLT 181/88	-	-0,7
Punto de ablandamiento	ASTM D-36-95	°C	52,5
Viscosidad absoluta(60°C)	ASTM D - 4402	Poises	1750
Gravedad especifica	AASHTO T 228-04	-	1,016
Viscosidad a 135° C	AASHTO T - 316	Pa - s	0,36
Ductilidad (25°C , 5cm/min)	ASTM D-113	cm	>105
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D -2042	%	>99
Ensayos sobre el residuo del CA luego del RTFOT			
Pérdida de masa	ASTM D- 2872	%	0,47
Penetración (25°C, 100g,5s), en porcentaje de la penetración original	ASTM D -5	%	72

4.2.3. Caracterización del aditivo

El material a usar será el ya mencionado desecho de polietileno de baja densidad (PEBD), el cual se puede conseguir en restaurantes, cafeterías y establecimientos públicos donde las personas necesiten mezclar sus bebidas calientes (ver ilustración 10). Sobre el aditivo se ejecutará el ensayo de gravedad específica.



Ilustración 9 Desecho de polietileno de baja densidad (PEBD)

4.2.4. Caracterización del asfalto modificado

Con el fin de evaluar las propiedades del asfalto modificado, se adicionará el aditivo (desecho de PEBD) por vía húmeda en porcentajes de 5 y 10% con respecto a la masa del asfalto a una temperatura de 150° C y tiempo de mezcla de 20 minutos. Estos porcentajes, tiempo y temperatura de mezclado fueron suministrados por el grupo de investigación de Pavimentos. Sobre los asfaltos modificados se ejecutarán ensayos de gravedad específica, penetración y punto de ablandamiento.

4.3. DISEÑO DE MUESTRA DE CONTROL MDC-19

Para el diseño de la mezcla de referencia tipo MDC-19 (determinación del contenido óptimo de asfalto) se realizarán ensayos sobre cinco briquetas, compactadas a 75 golpes por cara, para cada porcentaje de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% (total de briquetas: 20), con el fin de realizar el diseño Marshall (INV. E-748-13) a una temperatura de compactación (TC) de 140 °C y a una temperatura de mezclado (TM) de 150°C.



10 Mezcla homogénea resultante



Ilustración 11 Elaboración de la briqueta con la mezcla resultante

4.4. ENSAYOS MARSHALL SOBRE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA (MDC-19) CON EL DESECHO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto, se procederá a adicionar el desecho de PEBD en porcentajes de PEBD/CA=5, 7.5 y 10% con respecto a la masa del asfalto por vía húmeda. Con el asfalto ya modificado, se procederá a fabricar un total de 15 briquetas (5 briquetas fabricadas con el contenido óptimo de asfalto x 3 contenidos de PEBD/CA). Sobre estas briquetas de mezcla asfáltica modificada se ejecutará el ensayo Marshall (INV. E-748-13). Las temperaturas de mezcla y compactación de las briquetas en esta fase serán las mismas de las briquetas sin modificar con el fin de compararlas con la mezcla de referencia.

Una vez ejecutada la fase anterior, se fabricarán otras briquetas Marshall empleando el aditivo que espuma el asfalto (denominado HUSIL por el grupo de investigación de Pavimentos) en una relación de CA/HUSIL=1% con respecto a la masa del asfalto. El aditivo se mezclará por vía seca sobre briquetas fabricadas con PEBD/CA= 0, 5, 7.5 y 10% y temperaturas de mezcla de 140, 130, 120° C. En total para esta fase del proyecto se fabricarán 60 briquetas y se ejecutarán 60 ensayos Marshall (5 briquetas x 4 contenidos de PEBD/CA x 3 temperaturas de mezcla).



Ilustración 13 Cemento Asfático a alta temperatura



Ilustración 12 mezcla de Cemento Asfático con el desecho de polietileno (PEBD)



Ilustración 15 Elaboración de Briquetas



Ilustración 14 Prensa Marshall



Ilustración 16 Ensayo de Gravedad Específica

La briqueta Marshall resultante, se dejó enfriar hasta que alcanzó la temperatura ambiente. A cada una de las briquetas se le realizaron los ensayos de gravedad específica y análisis de densidad de vacíos descritos anteriormente, con el fin de conocer su composición volumétrica.

Posteriormente, se utilizó la prensa Marshall. Aplicando a cada briqueta una carga monotónica en compresión, hasta que fallara. Se registraron los valores de estabilidad y flujo observados. Para efectos de cálculo de la estabilidad, el valor de la constante del anillo utilizada fue de 45,1

4.4.1. Contenido óptimo

El contenido óptimo de cemento asfáltico logrado es del 5.5% dado que, fue éste el que presentó un valor mayor de relación estabilidad-flujo (entiéndase esta relación como rigidez Marshall; que es un indicador indirecto que nos evidencia la máxima resistencia mecánica bajo carga monotónica que puede soportar una mezcla asfáltica), con respecto a los otros porcentajes utilizados (4.5, 5.0 y 6.0). En la tabla 6 se muestra la distribución granulométrica que se obtuvo para dicho porcentaje. Este contenido de asfalto se logró con base principalmente en los criterios establecidos en la especificación INVIAS 2013 (ver tabla 7). La gravedad específica de Bulk y el contenido de vacíos de las mezclas fueron medidos con base en la especificación de ensayo ASTM D2726

Tabla 7 Distribución de los agregados y CA

MEZCLA TIPO MDC-19 CENTRAL				
TAMIZ	TAMIZ (mm)	% PASA	% RETENIDO	5,5% DE CA
1"	25.00	100	0	0
3/4"	19.00	87.50	12.5	141.8
1/2"	12.50	76.00	11.5	130.4
3/8"	9.50	68.50	7.5	85.1
4	4.75	51.00	17.5	198.5
10	2.00	37.00	14.0	158.8
40	0.43	19.50	17.5	198.8
80	0.18	12.50	7.0	79.4
200	0.075	6.00	6.5	73.7
FONDO		0.00	6.0	68.0
			100.0	1134.0
			Asfalto	66.0

Tabla 8 Especificaciones Marshall de una mezcla en caliente

CARACTERÍSTICAS	ENSAYO NORMA INV	MEZCLAS DENSAS			MEZCLA DE ALTO MODULO	
		CATEGORIA TRANSITO				
		NT1	NT2	NT3		
IMPACTACIÓN (GOLPES POR CA)	E-748	50	75	75	75	
ESTABILIDAD MÍNIMA (KG)	E-749	500	750	900	1500	
FLUJO	E-750	2--4	2--4	2--35	3--14	
VACÍOS CON AIRE (%)	RODADURA	E-736, E-799	2--4	5--9	4--6	
	INTERMEDIA		4--8	4--8	4--7	4--6
	BASE			5--9	5--8	
VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	MEZCLA 0	E-799	≥13	≥13	≥13	
	MEZCLA 1		≥14	≥14	≥14	≥14
	MEZCLA 2		≥15	≥15	≥15	
	MEZCLA 3		≥16	≥16	≥16	
% VACIOS DE ASFALTO (VOLUMEN DE ASFALTO EFECTIVO /VACIOS EN LOS AGREGADOS MINERALES) 100 -CAPAS DE RODADURA E INTERMEDIA	E-799	65-80	65-78		63-75	
RELACION LLENANTE/ ASFALTO AFECTIVO, EN PESO	E-799	0,8-1,2			1,2-1,4	
TRACCIÓN DE LLENANTE VALOR	E-745	VALOR CRITICO				

4.4.2. Ensayos Marshall sobre mezcla asfáltica modificada con PEBD

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto, se procedió a adicionar el desecho de PEBD en porcentajes de PEBD/CA=5% y 7.5% con respecto a la masa del asfalto por vía húmeda. Con el asfalto ya modificado, se continuó a fabricar un total de 15 briquetas (5 briquetas fabricadas con el contenido óptimo de asfalto x 3 contenidos de PEBD/CA). Sobre estas briquetas de mezcla asfáltica modificada se ejecutó el ensayo Marshall (INV. E-748-13). Las temperaturas de mezcla y compactación de las briquetas en esta fase fueron las mismas de las briquetas sin modificar con el fin de compararlas con la mezcla de referencia.

Una vez se ejecutó la fase anterior, se fabricaron otras briquetas Marshall empleando el aditivo que espuma el asfalto (denominado HUSIL por el grupo de investigación de Pavimentos) en una relación de CA/HUSIL=1% con respecto a la masa del asfalto. El aditivo se mezcló por vía seca sobre briquetas fabricadas con PEBD/CA= 0.5% y 7.5% y temperaturas de mezcla de 150, 130, 120° C. En total para esta fase del proyecto se fabricaron 60 briquetas y se ejecutaron 60 ensayos Marshall (5 briquetas x 4 contenidos de PEBD/CA x 3 temperaturas de mezcla). A cada una de las briquetas se le realizaron los ensayos de gravedad específica, análisis de densidad de vacíos con el fin de conocer su composición volumétrica y posteriormente puestas a fallar en la prensa Marshall.

4.5. ANALISIS DE RESULTADOS

4.5.1. Resultados

En la siguiente sección, se entregara la recopilación de los ensayos a los cuales fueron los agregados pétreos, la mezcla asfáltica MDC-19 y sus respectivas briquetas.

4.5.2. Resultados de los agregados pétreos

Los agregados pétreos fueron caracterizados en el laboratorio mediante la ejecución de diferentes ensayos sujetos a la normativa INVIAS del 2013, con la finalidad de analizar si cumplía con los estándares requeridos (ver tabla) para que de esta manera puedan ser utilizados en el desarrollo del proyecto. Los resultados alcanzados se presentaran en la (tabla 9). En la tabla 9 se observa que el agregado pétreo cumple con los requisitos mínimos de calidad que exige la calificación INVIAS (2013) para la fabricación de mezclas asfálticas.

Tabla 9 Resultado de los ensayos a los agregados pétreos

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO
Peso específico (grueso y fino)	ASTM D 854-00	2,62
Equivalente de arena	ASTM D 2419-95	76 %
Caras facturadas	ASTM D 5821-01	87 %
Limite liquido	ASTM D 4318-00	0 %
Índice plasticidad	ASTM D 4318-00	0 %
Índice de alargamiento	NLT 354-91	9,50 %
Índice de aplanamiento	NLT 354-91	9,50 %
Ataque en sulfato de sodio	ASTM C 88-99 a	12,90 %
Microdeval	ASTM D 69 28-03	22,30 %
10 % de finos (relación húmedo seco)	DNER-ME 096-98	83 %
Resistencia al desgaste	ASTM C 131-01	24,60 %
Máquina de los ángeles		

4.5.3. Resultados cemento asfáltico

En la caracterización del cemento asfáltico (CA) utilizado en el desarrollo del presente trabajo se realizaron diferentes ensayos los cuales son requeridos en las especificaciones de la normativa INVIAS 2013, permitiendo verificar el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos en la norma, estos se pueden observar en la (tabla). En la tabla 5 se observa que el cemento asfáltico (CA) cumple con los requisitos mínimos de calidad que exige la especificación INVIAS 2013 para la fabricación de mezcla asfáltica.

ENSAYO	MÉTODO	UNIDAD	CA 60-70
Ensayos sobre el cemento asfáltico (CA) original.			
Penetración (25 C, 100 g, 5 s)	ASTM D-5	0.1 mm	65
Índice de penetración	NLT 181/81	-	-0,7
Punto de ablandamiento	ASTM D-36-95	° C	52,5
Viscosidad absoluta (60 C)	ASTM D-4402	Poises	1750
Gravedad específica	AASHTO T - 228-04	-	1,016
Viscosidad a 135 C	ASTM T-316	Pa-s	0,36
Ductilidad (25 C, 5cm/min)	ASTM D-113	Cm	>105
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D-2042	%	>99
Ensayo sobre el residuo del cemento asfáltico CA luego del RTFOT			
Pérdida de masa	ASTM D-2872	%	0,47
Penetración (25 C, 100 g, 5 s), en porcentaje de la penetración original.	ASTM D-5	%	72

Tabla 10 ESTANDARES DE CALIDAD

4.5.4. Porcentaje óptimo de asfalto seleccionado

El porcentaje óptimo de asfalto seleccionado, fue del 5.0 %.el anterior porcentaje mencionado, cumple con los requerimientos de la norma INVIAS 2013 para el diseño de las mezcla asfálticas en caliente (ver tabla 10). La recopilación de los datos referentes a la selección del porcentaje de asfalto antes mencionado se expone en la tabla 11. Los cálculos completos del porcentaje óptimo de asfalto se pueden consultar en el anexo.

% optimo	Estabilidad (Kg)	E/F(kg/mm)	Flujo (mm)	Densidad bluk (g/cm ³)	Vacios (%)	Vacios en AP (%)
5.0	1153,04	302,64	3,81	2,285	3,55	15,97

Tabla 11 Porcentaje óptimo de asfalto

4.5.5. Mezcla convencional MDC-19

La recopilación de los resultados alcanzados después de llevar a cabo los ensayos de estabilidad-flujo y vacíos se presentan en la tabla 12.

Ca (%)	Estabilidad (kg)	e/f(kg/mm)	Flujo (mm)	Densidad bulk (g/cm ³)	Vacíos (%)	Vacíos en AP (%)
4.5	1030,63	285,88	3,61	2,255	6,20	16,22
5.0	1204,38	320,43	3,76	2,290	4,04	15,36
5.5	1153,04	302,64	3,81	2,285	3,55	15,97
6.0	1124,59	273,29	4,11	2,285	2,88	16,42

Tabla 12 mezcla convencional MDC-19

4.5.6. Análisis de vacíos mezcla convencional MDC-19

En consecuencia los resultados alcanzados después de la ejecución de los ensayos de gravedad específica, estabilidad-flujo y densidad de vacíos, permiten realizar la representación gráfica de cada uno de los valores resultantes.

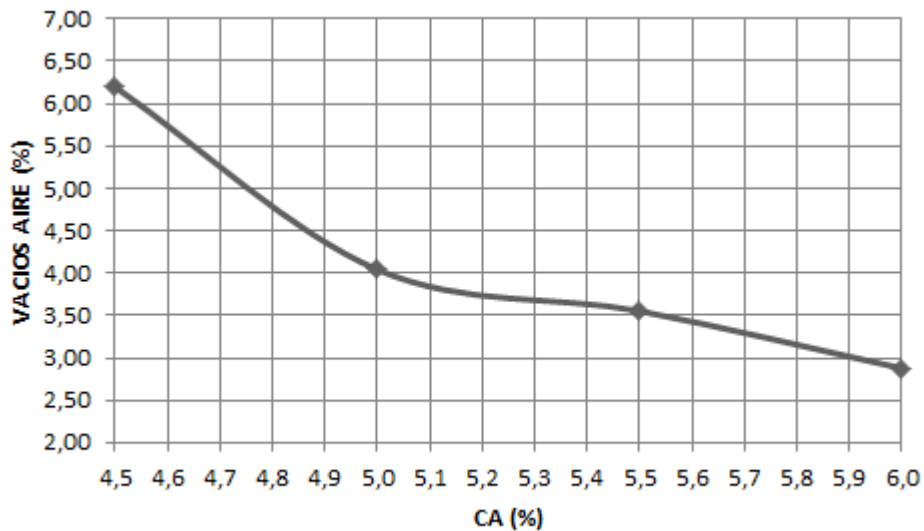


Ilustración 17 Relación de vacíos vs cemento asfáltico

La ilustración 17 presenta la conducta de los vacíos con aire con respecto a cada porcentaje de cemento asfáltico que se empleó. Se puede observar que al aumentar el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla esta presenta menores vacíos con aire.

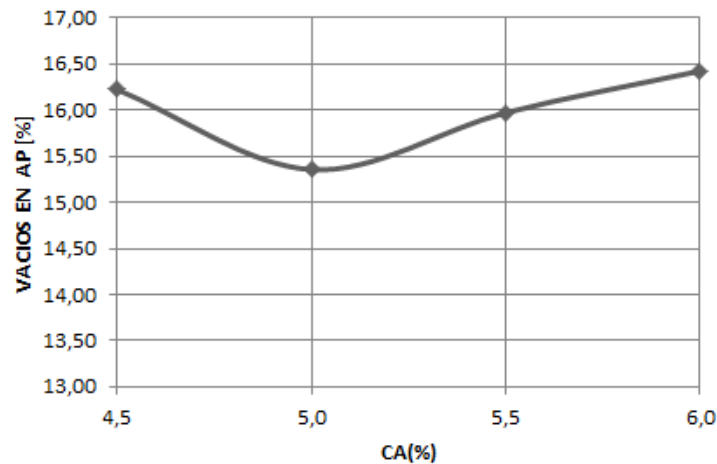


Ilustración 18 relación de vacíos en agregado pétreo vs cemento asfáltico

La ilustración 18 presenta la conducta en los vacíos del agregado pétreo respecto a cada porcentaje de cemento asfáltico (CA) que se empleó. Se puede observar que en el intervalo de 4,5% y 5,0% los valores de vacíos en el agregado pétreo decrecen en el momento en que sobrepasa el 5,0% de cemento asfáltico, los valores de los vacíos tienden a aumentar hasta 5,5% desde este punto los valores incrementan ligeramente hasta llegar al valor máximo de cemento asfáltico empleado.

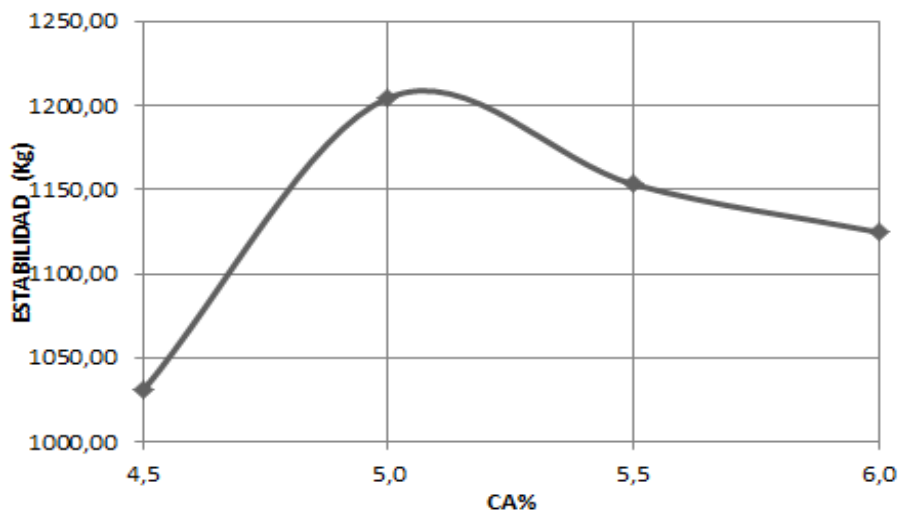


Ilustración 19 conducta de estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico

La ilustración 19 presenta la conducta de la estabilidad con respecto a cada porcentaje de cemento asfáltico (CA) que se empleó. Se puede observar que entre el intervalo 4.5% y 5.0% la estabilidad crece hasta llegar a su punto máximo, cuando pasa por el 5.0% de cemento asfáltico este tiende a decrecer en 5.5%.

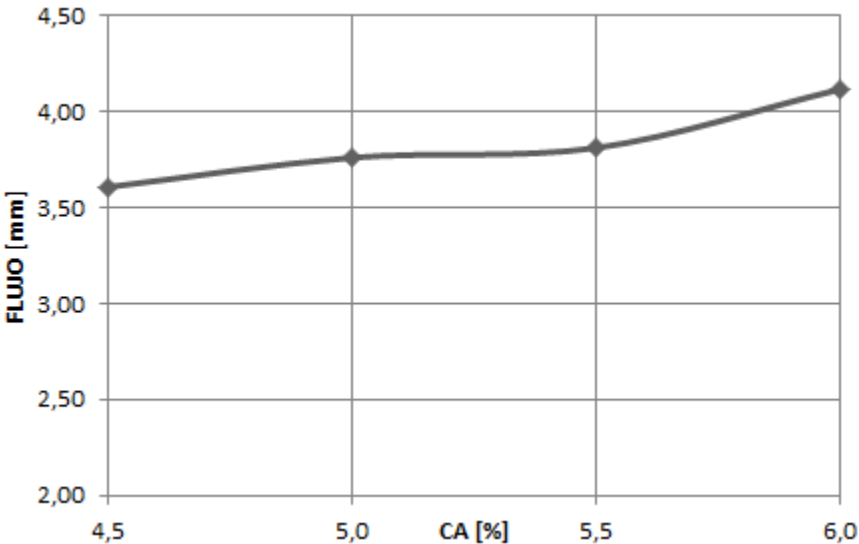


Ilustración 20 comportamiento de flujo vs cemento asfáltico

La ilustración 20 presenta el comportamiento del flujo con respecto a cada porcentaje de cemento asfáltico que se empleó. A medida que el porcentaje de cemento asfáltico aumenta en mezcla, los valores de flujo también incrementan.

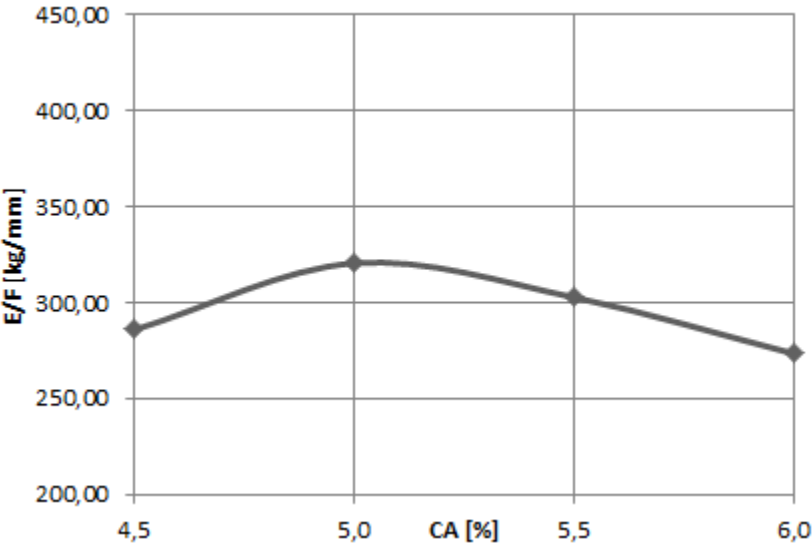


Ilustración 21 comportamiento de rigidez vs cemento asfáltico

La ilustración 21 presenta el comportamiento de la rigidez bajo carga monotónica (relación estabilidad/flujo) con respecto a cada porcentaje de cemento asfáltico que se empleó. A medida que aumenta el porcentaje de cemento asfáltico entre el intervalo 4.5% y 5.0% presenta un ligero incremento, al pasar por 5.0% tiende a decrecer siendo de esta manera menor su rigidez.

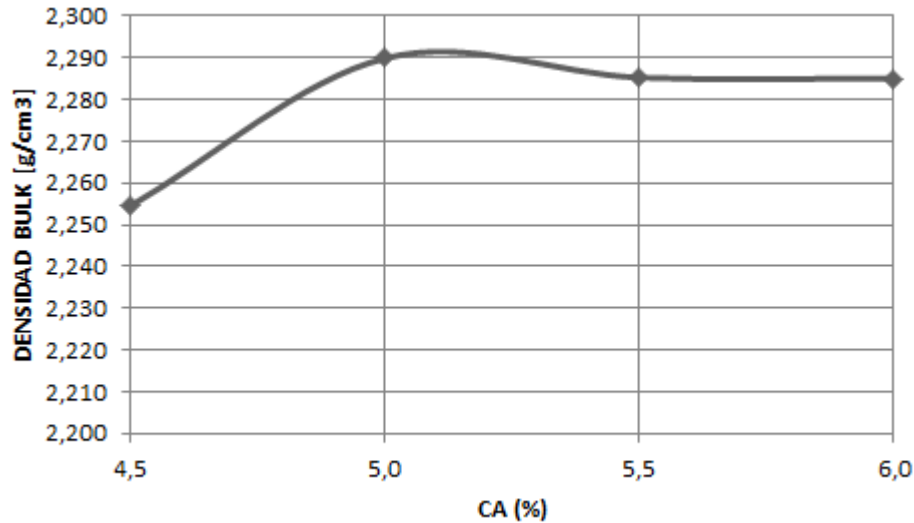


Ilustración 22 comportamiento de la densidad vs cemento asfáltico

La ilustración 22 presenta el comportamiento de la densidad bulk frente a cada porcentaje de cemento asfáltico que se empleó. A medida que aumenta el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla se obtiene mayor densidad. Entre mayor sea el valor de densidad, menos permeable será la mezcla resultante y mayor será la durabilidad.

4.5.7. Análisis de vacíos de la Mezcla convencional MDC-19, modificada con desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) y aditivo HUSIL.

La ilustración 23, presenta el comportamiento de los vacíos llenos de aire de la mezcla adicionándole un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) con un porcentaje de cemento asfáltico 5.0% y 7.5%, en el cual se compara los porcentajes antes mencionados que pueden tener presente el aditivo o no, el cual recibe el nombre de HUSIL (5% PEBD-sin aditivo HUSIL, 7.5% PEBD-sin aditivo HUSIL, 5% PEBD-con aditivo HUSIL y 7.5% PEBD-con aditivo HUSIL); al disminuir la temperatura de fabricación en 130 °C con una relación de cemento asfáltico del 7.5% con aditivo disminuye los vacíos en la mezcla en un 23.08% aproximadamente en comparación con los demás porcentajes. Lo cual nos indica que este porcentaje de mezcla cumple con el objetivo que al disminuir la

temperatura de fabricación se disminuya la cantidad de vacíos a una temperatura de 130 °C, si la temperatura es menor a 130 °C podemos evidenciar en la gráfica que aumenta la cantidad de vacíos generando que la mezcla sea frágil.

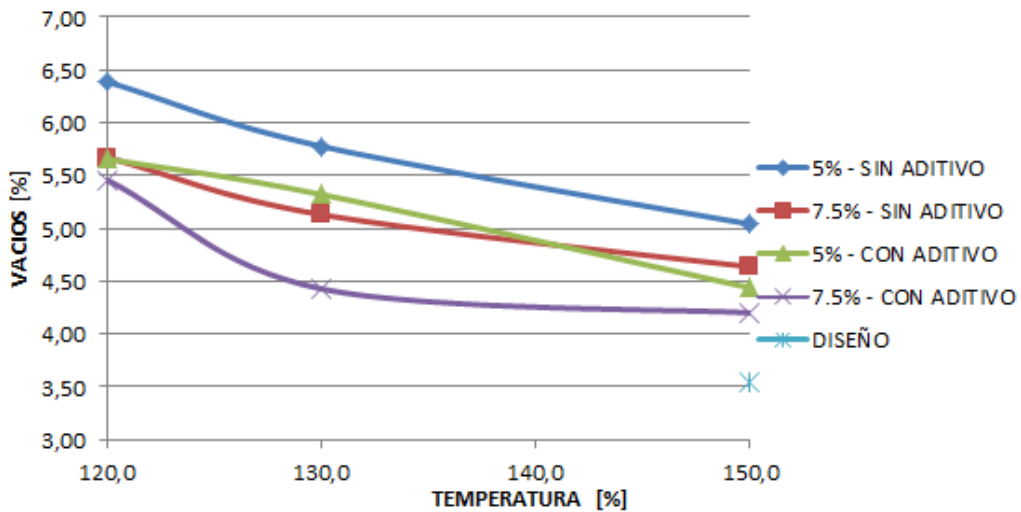


Ilustración 23 Comportamiento vacíos con aire vs temperatura de MDC- 19

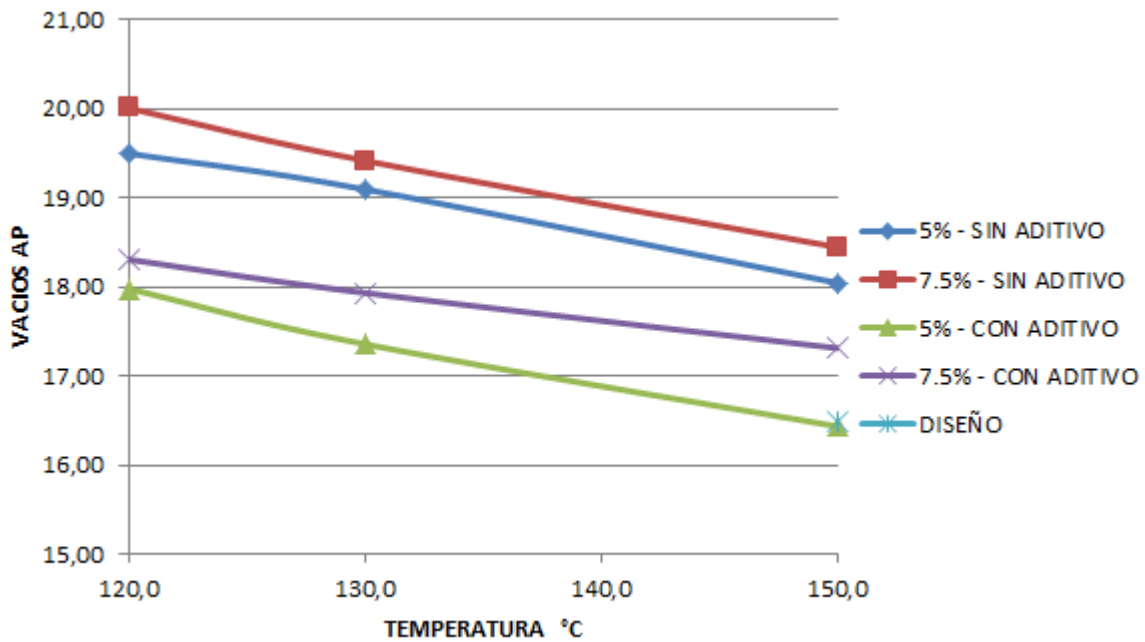


Ilustración 24 Comportamiento vacíos en agregados pétreos vs temperatura de la MDC-19

El resumen de los resultados del análisis de comportamiento de los vacíos de aire en el agregado pétreo o agregado mineral (VAM) en la mezcla con respecto al incremento de temperatura.

La ilustración 24 , presenta el resumen del comportamiento de los vacíos en el agregado pétreo de la mezcla modificada con PEBD y con HUSIL con respecto a la temperatura, , el análisis de los agregados pétreos en cada uno de los porcentajes con o sin el aditivo muestra que la mezcla con un porcentaje de 5% sin aditivo (HUSIL),7.5% sin aditivo(HUSIL) y 7.5% con aditivo(HUSIL) alcanza una mayor cantidad de vacíos a menores temperaturas y menor cantidad de vacíos a la temperatura máxima de diseño, también se puede observar que la mezcla con un porcentaje del 5% con aditivo (HUSIL) a temperaturas inferiores a 130°C presenta una mayor cantidad de vacíos en el agregado pétreo y disminuye cuando su temperatura es mayor o igual 130°C , lo cual hace que esta mezcla sea optima y cumpla con el objetivo de disminuir el impacto al ambiente.

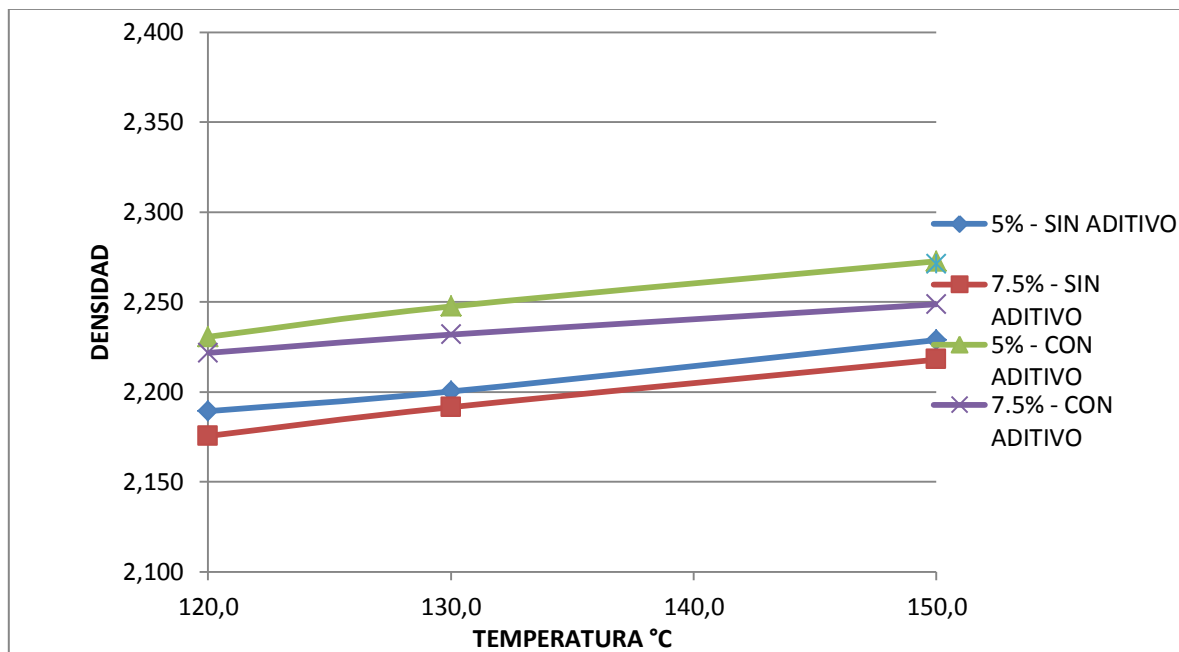


Ilustración 25 Comportamiento densidad de Bulk vs Temperatura de la MDC-19

La ilustración 25, muestra e comportamiento de la densidad de las mezclas cuando aumenta y disminuye la temperatura de fabricación. Los porcentajes de PEBD y agregando a la mezcla el aditivo (HUSIL) la densidad aumenta al aumentar la temperatura Encontrándose las cifras más altas de densidades; inclusive, muy cercanas a las arrojadas por la mezcla de diseño, al utilizar el 5%

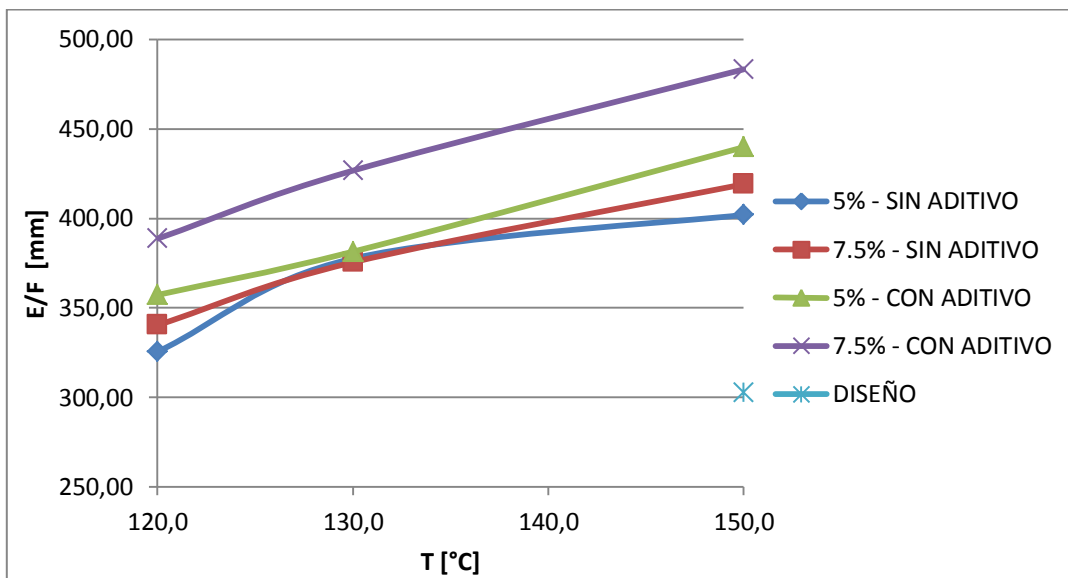
de desecho de polietileno de baja densidad y con la relación de CA/HUSIL de 1% de aditivo.

4.5.8. Análisis estabilidad-flujo (kg/mm) mezcla de diseño con PEBD y aditivo HUSIL

Tabla 13 Resumen de ensayos Estabilidad - Flujo con PEBD y aditivo HUSIL

ESTABILIDAD- FLUJO (E/F)	TEMPERATURA °C			Incremento en %
	120	130	150	
PEBD 5% SIN ADITIVO	325.49	375.49	401.4	19.20
PEBD 7.5% SIN ADITIVO	340.36	375.49	410.03	20.98
PEBD 5% CON ADITIVO	357.24	381.40	349.77	19.12
PEBD 7.5% CON ADITIVO	388.67	426.67	483.25	20.05

Ilustración 26 Comportamiento Estabilidad - Flujo vs Temperatura



En la gráfica (Ilustración 26) se evidencia que la mayor resistencia bajo carga monotónica y rigidez se presenta cuando a la mezcla se le agrega el 7.5% de desecho de polietileno (PEBD) y se le adiciona el HUSIL en relación CA/HUSIL

La conducta de una mezcla sin aditivo HUSIL del 7.5%, una mezcla sin aditivo del 5% y una mezcla con aditivo del 5% a un temperatura de compactación de 130.0 °C se intersectan en un mismo punto teniendo el mismo comportamiento, dejando resaltar la mezcla con aditivo de 7.5% que sobrepasa al resto de mezclas expresando que desde la temperatura mínima hay una estabilidad-flujo mayor. De esta manera se puede concluir que se puede utilizar la mezcla con el aditivo HUSIL del 7.5% a la mínima temperatura 120 ° C sin perder la rigidez de la mezcla asfáltica dándole mayor eficacia en comparación con la mezcla de diseño estandarizado, logrando así una mezcla más porosa, más resistente a deformaciones y ahuellamiento, cumpliendo con el objetivo de disminuir el impacto ambiental durante el proceso de fabricación.

5. CONCLUSIONES

Los resultados que se obtuvieron al realizar los ensayos de laboratorio aplicando los ensayos del diseño Marshall de la mezcla convencional MDC-19, se identificó que el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar es de 5,0%. Dicho porcentaje, satisface los requerimientos de estabilidad, flujo, % de vacíos llenos de aire, % de vacíos en el agregado y densidad contenidos en las especificaciones del INVIAS del año 2013.

Cuando disminuye la temperatura aumenta los vacíos de aire debido que la mezcla es más viscosa lo cual indica que no presenta una buena compactación.

Todas las mezclas son más porosas en comparación a la mezcla de diseño debido a que el desecho de polietileno de baja densidad vuelve más rígida la mezcla y más viscosa haciendo que se necesite mayor temperatura de mezclado.

La mezcla al tener el desecho de polietileno de baja densidad (PEBD), presenta mayor porosidad debido a que el pitillo produce que sea más viscosa.

Al modificar el asfalto con el desecho de polietileno se rigidiza la mezcla minimizando el fenómeno de ahuellamiento en altas temperaturas.

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 hacer rígida.

Con el aditivo y el desecho de polietileno de baja densidad se reduce las temperaturas de mezclado y mejora las propiedades de la mezcla MDC-19 contribuyendo a la reducción de emisiones de gases a la atmosfera.

El mejor comportamiento que presento la mezcla a diferentes temperaturas es de 130°C

Empleando el aditivo:

Se logró disminuir la temperatura de fabricación a 130°C, con una relación de PBED/ CA= 7.5%.

Al adicionar el aditivo HUSIL se reduce los vacíos de aire mejorando la trabajabilidad y la compactación, debido a que el aditivo como se demostró en otras investigaciones espuma el asfalto haciendo que a menor temperatura sea mas viscoso.

Se evidencia que la cantidad de vacíos de la mezcla disminuye significativamente provocando que la mezcla presente mayor porosidad, mayor rigidez y que se redujera su temperatura de fabricación..

Cuando la temperatura aumenta las emisiones de partículas empiezan a contaminar el medio ambiente.

También se puede concluir que al tener un porcentaje óptimo de asfalto del 5.0%, una relación de desecho de polietileno con respecto al cemento asfáltico PEBD/CA= 7.5% y una relación de aditivo HUSIL/CA= 1%; se puede deducir que la mezcla asfáltica tendría un mejor comportamiento en climas de altas temperaturas puesto que, al ser ésta la que presenta mayor rigidez, tiende a ser más resistente a fatiga y al fenómeno de ahuellamiento.

En Caso contrario si se utilizara para zonas donde el clima es de baja temperatura, debido que la mezcla asfáltica presenta mayor rigidez, se produciría como resultado que el asfalto se agriete mucho más rápido. Se recomienda realizar ensayos de módulo dinámico, deformación permanente y resistencia a fatiga para poder tener resultados que apoyen esta hipótesis.

En Colombia se están desarrollando nuevas técnicas de fabricación en las mezclas asfálticas y se espera que con este proyecto sea una iniciativa a futuro para la continuación y ejecución del mismo .la elaboración de estas mezclas MDC-19 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.

Bibliografía

- AM3. (s.f.). Recuperado el 18 de 04 de 2015, de http://www.am3.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=96:aparato-para-punto-de-ablandamiento&catid=80&Itemid=488
- asfaltoenobracivil. (05 de 2011). Recuperado el 17 de 04 de 2015, de <http://asfaltoenobracivil.blogspot.com/>
- Asociacion de productores Pavimentadores Asfálticos de Colombia. (2004). Bogota.
- e- asfalto. (24 de 05 de 2015). Recuperado el 17 de 04 de 2015, de http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm
- Figeroa, R. y. (2008). *Evaluacion de las Propiedades Mecanicas de una Mezcla Densa en Caliente Modificada*. Bogota.
- Hugo Rondon, W. f. (2007). *Evaluacion de las propiedades Mecanicas De Una Mezcla Densa en Caliente con Un Densa en Polietileno De Baja Densidad*, 5.
- INVIAS. (2013). *INSTITUTO NACIONAL DE VIAS*. Recuperado el 24 de 03 de 2014, de <http://www.invias.gov.co/>
- Jimeno, C. L. (1994). *Manual de Áridos. prospeccion, exploracion y aplicaciones*. (L. E. Madrid, Ed.) madrid.
- (2015). pavimentos. En H. A. Alberto, *pavimentos materiales, construccion y diseño* (pág. 2). Bogota: ECOEDICIONES.
- racperu. (24 de 05 de 2015). Recuperado el 17 de 04 de 2015, de http://www.racperu.com.pe/rpu/product.php?id_product=19
- SHT6. (s.f.). Recuperado el 19 de 04 de 2015, de http://www.testerinchina.es/big_img.html?etw_path=http://www.testerinchina.es/4-11-flash-point-tester.html&big_etw_img=4-asphalt-testing-equipment/11-1b.jpg
- www.blogger.com. (05 de 2011). Recuperado el 17 de 04 de 2015, de <http://asfaltoenobracivil.blogspot.com/>