



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DE ASFALTO DISCONTINUA CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND.**



AUTORES

WALTER ULISES AMAYA MARRUGO

JORGE ANDRÉS SOTO CALLE

LINEA DE INVESTIGACION:  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GRUPO DE INVESTIGACION:  
GEOMAVIT

DIRECTOR

MODESTO BARRIOS FONTALVO

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERIA- PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

CARTAGENA D. T. y C.

2015



**CONVENIENCIA DEL USO DE LA PIEDRA CALIZA Y LA ARGAMASA EN LOS  
PROCESOS DE RESTAURACION DE LA ESCARPA EN LAS MURALLAS DE  
CARTAGENA DE INDIAS.**

**Investigadores:**

**WALTER ULISES AMAYA MARRUGO**

**JORGE ANDRES SOTO CALLE**

**Trabajo de grado para optar al título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Grupo de investigación:**

**GEOMAVIT**

**Línea De Investigación:**

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Investigador Director:**

**MODESTO BARRIOS FONTALVO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**

**2015**



## DEDICATORIAS

Dedicamos este trabajo de grado a Dios y a nuestras familias por darnos las fuerzas y el apoyo para continuar hasta esta última etapa y apoyarnos a diario en la obra de este logro para nuestras vidas.

Igualmente dedicamos este proyecto a la Universidad de Cartagena por ser nuestra Alma Mater y guiarnos hacia la excelencia



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a dios por darnos la fortaleza y así poder superar todos los obstáculos que se nos han presentado en el camino universitario

A nuestros padres por estar siempre sin importar las circunstancias ni las adversidades

a nuestros profesores por darnos todos esos conocimientos que no serán de vital importancia en nuestra vida laboral.

ala empresa "PROMOTORA MONTECARLOS " por permitirnos realizar los ensayos en sus instalaciones .



## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	9
2. MARCO REFERENCIAL .....	11
2.1 ESTADO DEL ARTE .....	11
2.2 MARCO TEÓRICO .....	19
2.2.1 Definición y clases de pavimento .....	19
2.2.2 Funciones y características del pavimento flexible .....	19
2.2.3 Partes de un pavimento flexible .....	20
2.2.3.1 Carpeta de rodadura .....	21
2.2.3.2 Base .....	21
2.2.3.3 Sub base granular .....	21
2.2.3.4 Terreno natural o subrasante .....	21
2.2.4 Ventajas del pavimento flexible .....	21
2.2.5 Capas de rodadura .....	22
2.2.6 MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	23
2.2.6.1 Componentes mezclas asfálticas.....	24
2.2.6.1.1 Cemento asfáltico o asfalto.....	24
2.2.6.1.1.1 Caracterización del asfalto .....	25
2.2.6.1.1.1.1 Caracterización por grado de viscosidad .....	25
2.2.6.1.1.1.2 Caracterización por grado de penetración .....	27
2.2.6.1.1.1.2 Equivalencias entre grado de viscosidad y grado de penetración.....	28
2.2.6.2 Agregados pétreos .....	28
2.2.6.2.1 Clasificación de los agregados pétreos .....	29
2.2.6.2.2 Propiedades de los agregados pétreos.....	29
2.2.6.2.3 Ensayos a los agregados pétreos .....	30
2.2.6.2.3.1 Ensayos para determinar la limpieza del agregado .....	30
2.2.6.2.3.2 Ensayos para determinar la durabilidad del agregado .....	31
2.2.6.2.3.3 Ensayos para determinar la forma y angularidad del agregado .....	31
2.2.6.3. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	32
2.2.6.3.1. Clases de mezclas según fracciones de agregado pétreo empleado .....	32
2.2.6.3.2. Clasificación de las mezclas según la temperatura de puesta en obra .....	32
2.2.6.3.4. Clases de mezclas según tamaño máximo del agregado pétreo .....	33



EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICA DE UNA MEZCLA DE ASFALTO DISCONTINUA CON ADICION DE CEMENTO PORTLAND.

<b>2.2.6.3.5 Clasificación según la estructura del agregado pétreo. ....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.6.4 Mezclas bituminosas en caliente para capas de rodadura. ....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.6.4.2. Mezclas drenantes.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.6.4.3. Mezclas discontinuas para capas de rodadura .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.7 Mezclas asfálticas discontinuas.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.8 Cemento portland.....</b>	<b>41</b>
3. JUSTIFICACIÓN.....	43
4. OBJETIVOS. ....	45
5. ALCANCE.....	46
6. METODOLOGÍA.....	49
6.1 TECNICAS DE RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN. ....	49
10. BIBLIOGRAFÍA .....	77
ANEXOS .....	79



## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.....	20
Ilustración 2.....	37
Ilustración 3.....	38
Ilustración 4 Fuente: Presentación Mezclas Bituminosas en Caliente en Infraestructura Aeroportuaria Conelsan.....	40
Ilustración 5. Ubicación universidad de Cartagena.....	46
Ilustración 6.....	47
Ilustración 7.....	47
Ilustración 8.....	50
Ilustración 9.....	51



## RESUMEN

En la elaboración de este trabajo de grado que consistió en comparar algunas propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica discontinua con adición de cemento portland a diferentes porcentajes con una sin cemento, hubo varias etapas, en un comienzo la recolección de información acerca del tema, después la obtención de los materiales de la planta asfáltica TORCOROMA y como siguiente la caracterización de estos materiales que dio una idea muy general de la geología de los materiales y de algunas de sus características después la elaboración de las briquetas y sus respectivos ensayos los cuales dieron óptimos resultados de estabilidad, flujo y porcentajes tanto de cemento como de asfalto siendo el porcentaje óptimo de asfalto para nuestra mezcla de 5,5% y de cemento para este mismo del 4% .

## ABSTRACT

In preparing this paper grade of comparing some mechanical properties of a discontinuous asphalt mixture with the addition of portland cement to different percentages with a cementless, there were several stages, initially gathering information on the subject, then obtaining materials asphalt plant Torcoroma as following characterization of these materials which gave a general idea of the geology of the materials and some of its features after making briquettes and their respective trials which gave optimum results stability, flow rates and both cement and asphalt being the optimum percentage of asphalt to our mix of cement and 5.5% for the same 4%.





## INTRODUCCIÓN

Es muy común ver en las carreteras de Colombia la utilización de Mezclas asfálticas Densas en Caliente para la conservación de los pavimentos, las cuales en muchas ocasiones generan a corto plazo problemas de resistencia al deslizamiento, pavimentos ruidosos, deformaciones o ahuellamientos considerables y el fenómeno de hidropilano o aquaplaning que atenta contra la seguridad del usuario. La determinación de continuar o no con la utilización de estas tipo de mezclas en los proyectos viales, se debe posiblemente al escaso conocimiento de los gestores viales en cuanto a la experiencia que se ha tenido con la aplicación de mezclas asfálticas discontinuas en los diferentes proyectos involucrados en la infraestructura del transporte ya sea viales o aeroportuarios a nivel nacional y/o internacional.

En la actualidad las mezclas en caliente bituminosas discontinuas son las mezclas que responden mejor a la demanda de las dos características fundamentales en la superficie (macro y micro-textura gruesa-rugosa), a la vez que presentan una elevada cohesión. Estas mezclas están definidas como aquéllas cuyos materiales son la combinación de cemento asfáltico, áridos (con discontinuidad granulométrica en algunos tamices), polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación obliga a calentar el ligante y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Como solución a lo mencionado en el inicio se hizo necesario realizar investigaciones que busquen desaparecer el abismo de desinformación que existe en cuanto a mezclas asfálticas discontinuas se refiere y a su aplicabilidad en proyectos viales.

En esta investigación se logró caracterizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente discontinuas luego de que se le adicione cemento portland por tanto se



pudo determinar la variación de dichas propiedades, con respecto a una realizada de manera convencional.

Este compendio de información pertenece al grupo de investigación “GEOMAVIT” (geotecnia; materiales y vías terrestres) y se enmarca en la línea de investigación “materiales de construcción” puesto que a través de ensayos de laboratorio se determinó la variación que ejerce el cemento portland al ser agregado a la composición de una mezcla bituminosa que presenta discontinuidad, o microaglomerado, en las propiedades mecánicas de dicha mezcla, es decir, se observó y analizó como mejora o desmejora una mezcla asfáltica discontinua, con la incorporación de este nuevo material que es el cemento portland.



## 2. MARCO REFERENCIAL.

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

Una de las primeras cosas que se deben prever en una obra de ingeniería es que estas no son eternas, por lo cual se ha buscado la manera de que estas mejoren sus propiedades con una óptima relación costo-beneficio. Esto no es diferente en los pavimentos asfálticos ya que son de las obras de ingeniería a las que se les realizan más reparaciones debido a su rápido desgaste, lo que ha llevado al desarrollo de diferentes estudios, en la búsqueda de mejorar sus propiedades mecánicas. Algunos de estos estudios se presentaran a continuación para mostrar de manera clara el estado y adelanto en esta área específica de la ingeniería civil.

#### **2.1.1 Estudio de las mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con desechos de llantas, alcaldía mayor de Bogotá d.c, universidad de los andes ,2002**

Actualmente existen dos procesos usados en la elaboración de concreto asfáltico en los que se incorpora desechos de llantas usadas, denominados como proceso húmedo y proceso seco. En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo principal establecer de manera confiable la metodología a seguir para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas asfálticas con caucho producto del desecho de llantas usadas, contribuyendo además con la solución del problema ambiental que estas generan al finalizar su vida útil por ser un residuo difícil de eliminar.

Inicialmente se realizó una búsqueda exhaustiva de información relacionada con métodos modernos para el diseño y la construcción de vías haciendo uso de asfalto modificados, considerando principalmente la alternativa de la utilización de mezclas asfálticas mejoradas con caucho. Igualmente se recopiló información existente relacionada con nuevas tecnologías orientadas al proceso del caucho proveniente de llantas usadas y sus aplicaciones en las mezclas asfálticas ; seguido al proceso de recopilación de información se continuo con la etapa de laboratorio en el cual se evaluaron las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mejoradas con caucho , y el efecto en la vida útil que esta aporta al pavimento



Como resultado de todo el proceso se elaboraron las especificaciones técnicas generales para el empleo del GCR en la elaboración de mezclas asfálticas. (D.C, 2002)

Como limitación este artículo tiene para las vías húmedas, un mayor costo inicial por las modificaciones necesarias a los equipos o plantas asfálticas y un aumento en la temperatura de mezclado, y para las vías secas un mayor tiempo de compactación en obra. Además existen otras desventajas como la falta de especificaciones y los problemas potenciales para reciclar estos productos.

### **2.1.2 Estudio sobre mezclas asfálticas discontinuas y su aplicabilidad en superficie de rodadura. caso pista de aterrizaje aeropuerto internacional Rafael Núñez de la ciudad de Cartagena”. Orlando Castellón Marrugo, Rafael mercado sarmiento, universidad de Cartagena año 2014**

El objetivo principal de esta monografía fue realizar un estudio sobre las mezclas asfálticas discontinuas y su aplicabilidad principal como superficie de rodadura, en un caso específico como fue la repavimentación de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional Rafael Núñez de la Ciudad de Cartagena. La metodología empleada para el estudio consistió en la recolección de la literatura que se tiene de este tipo de mezcla, de la documentación y los conceptos técnicos suministrados por la empresa ejecutora del proyecto, para la elaboración de un documento que servirá de consulta a los estudiantes y profesionales de la ingeniería civil y de los responsables de la conservación vial. El principal resultado obtenido de la elaboración de este documento fue considerar que el diseño, la fabricación, y aplicación de las mezclas discontinuas no dista mucho de la operación con mezclas densas en calientes comúnmente utilizadas, siempre y cuando se controlen aspectos claves que el estudio presenta de forma específica, por lo tanto es aplicable a proyectos viales. Se concluye que la principal característica de este tipo de mezcla es la ausencia de agregados de cierto tamaño, conocido como discontinuidad granulométrica, creando un esqueleto mineral que permite aumentar la macro y la micro textura de la superficie de rodadura con mejores respuestas que las obtenidas con mezclas densas en caliente utilizadas con mayor frecuencia en los proyectos viales y de pistas de aterrizaje. (Castellón Marrugo & Mercado Sarmiento, 2014)



Como limitación esta monografía tiene que no fueron realizados ensayos para comprobar experimentalmente todo lo dicho en ella por lo cual es motivo de investigación y/o comprobación de toda esta información

### **2.1.3 Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas empleando propiedades termodinámicas. Alex Eduardo Álvarez Lugo, Silvia Caro Espinel, universidad de Antioquia.**

Este artículo presenta una evaluación comparativa de la susceptibilidad al daño por humedad de diferentes combinaciones de cementos asfálticos producidos en Colombia y agregados pétreos. La metodología empleada se centra en establecer el Índice de Daño por Humedad (IDH) de diferentes sistemas cemento asfáltico-agregado. Este índice se calcula con base en propiedades termodinámicas intrínsecas de los materiales involucrados. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que el tipo de agregado empleado en mezclas asfálticas tiene mayor influencia en la resistencia de la mezcla que el ataque del agua y que los procesos de modificación empleados para producir los diferentes tipos de cemento asfáltico modificado conllevan a sistemas cemento asfáltico-agregado con una variada resistencia al daño por humedad. Finalmente, los resultados de este estudio demuestran que la caracterización termodinámica de los materiales de pavimentación puede ser eficientemente empleada en la selección de materiales durante la etapa inicial del diseño de mezclas asfálticas.

Los resultados de este estudio muestran que no es posible identificar un único cemento asfáltico que produzca sistemáticamente las mejores condiciones de adhesión (o más altos valores de IDH). Una observación importante que se obtuvo durante este estudio es que el uso de los cementos asfálticos modificados evaluados está relacionado con un amplio rango de resistencias al daño por humedad. Esto significa que aunque algunos procesos de modificación mejoran la resistencia de las mezclas asfálticas al daño por humedad, éste no es siempre el caso. Adicionalmente, el estudio de las propiedades termodinámicas de los materiales permitió evidenciar que en términos de la resistencia al daño por humedad, el tipo de agregado empleado en la mezcla asfáltica posee un papel más relevante que el tipo de cemento asfáltico. (alvarez lugo & caro espinal )



Como limitación este artículo tiene que Es necesario evaluar la variabilidad (i.e., por fuente de producción) de la ESL de estos materiales con el objeto de integrar este parámetro en el análisis de susceptibilidad al daño por humedad

#### **2.1.4 Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros sbr y sbs, con agregados provenientes de la cantera de guayllabamba. S López, y veloz, escuela politécnica de ejército.**

Este estudio realiza un análisis de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS con agregados provenientes de la cantera de GUAYLLABAMBA; este servirá como una guía para la determinación de los porcentajes óptimos para mezclas asfálticas modificadas tanto con polímeros SBS para mezclas en caliente. El estudio comprende la caracterización del material pétreo, asfalto y emulsión asfáltica, realizados en la carrera de ingeniería civil, respetando los procedimientos establecidos en las normativas para dicho efecto.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos en un análisis comparativo entre mezclas asfálticas modifica y sin modificar tomando como referencia la estabilidad y flujo de las muestras (López & veloz)

Como resultado obtuvieron que el porcentaje óptimo de polímero SBS para la mezcla en caliente es de 2,5 % con este porcentaje optimo tenemos una estabilidad de 1550 lb teniendo una mejora del 88,10% en este parámetro y un flujo de 16,5 (0,01 pulg) teniendo un incremento del 13,33%.

Como limitación este estudio tuvo que solo se tomaron como referencia de comparación entre la mezcla asfáltica modifica y sin modificar dos aspectos como la estabilidad y el flujo de la muestra.



### **2.1.5 “Diseño de mezclas sma, como capa de rodadura e intermedia, para su empleo en España”.**

El propósito del proyecto era lograr el desarrollo de unos tipos de mezclas dentro de la familia de SMA (Stone Mastic Asphalt); dichas mezclas corresponden a una variedad de mezclas asfálticas que presentan granulometría discontinua. El objetivo del proyecto era diseñar mezclas con característica especiales, que contribuyan a la sostenibilidad y sean amigables con el medio ambiente. Los resultados de la investigación se produjeron en 2012, los cuales permitieron concluir que las mezclas discontinuas diseñadas presentan los siguientes beneficios generales: se obtuvo mayor durabilidad en las mezclas obtenidas de los diseños, buen comportamiento frente al ruido de rodadura, son mezclas que presentan importantes ventajas funcionales, económicas y técnicas comparándolas con las mezclas convencionales debido a que presentan alto contenido de ligante y buen esqueleto mineral con alta proporción de filler, lo que mejora la estabilidad de la mezcla. Por último se concluyó que son mezclas amigables con el ambiente ya que alargan la vida de los pavimentos y se pueden emplear con éxito en capas de rodadura. (ASEFMA, 2012).

Como limitación de este artículo se tiene que la mezcla sma fue realiza con especificaciones norma UNE EN 13108-5 de España y no se sabe cual serian sus alteraciones al realizarla la mezcla con otras especificaciones .

### **2.1.6 Análisis fisico-mecanico del cemento asfaltico modificado con caucho industrial, universidad católica de Colombia .**

Con el fin de mejorar las condiciones de la malla vial colombiana y dándole un interés a la utilización de pavimento flexible, otorgando una gran parte del estudio a la obtención de cementos asfaltico, se realizó una medición y comparación del el comportamiento físico-mecánico que va a tener el cemento asfaltico a ser sometido a agentes modificadores como polímeros (caucho industrial) a la interacción con el asfalto original. Para encontrar las propiedades físico-mecánicas de la emulsión asfáltica que se compararon con referencia al asfalto 60-70 del CIB, efectuando porcentajes de agente modificador del 4%,8% y 12%,se desarrollaron ensayos de caracterización física, teniendo en cuenta los distintas especificaciones de la norma INVIAS, ( Penetración, punto de ablandamiento, ductilidad y ensayo de película delgada), y se efectuando así, un análisis cualitativo y cuantitativo



que permitió identificar qué porcentaje de agente modificador es el que presenta mejores condiciones en la mejora de la reología del cemento asfáltico.

Teniendo en cuenta todos los ensayos realizados llegaron a la conclusión que realizando una mezcla del cemento asfáltico con algún polímero como el utilizado en esta investigación el cual fue Caucho Industrial, se puede ganar y perder propiedades, se saca esto a la relucir ya que este material gano en dureza pero perdió en elasticidad mostrado en la ductilidad, esto conlleva a que el material es susceptible a los cambios drásticos de temperatura y podría llegar a existir rompimiento del asfalto. (ROMERO & PINEDA)

El artículo consta de limitaciones las cuales pueden llevar a seguir con este tipo de investigaciones de modificar las propiedades físico-mecánicas no solo de cementos asfálticos normales sino también en mezclas asfálticas discontinuas y con diferentes tipos de polímeros.

### **2.1.7 Evaluación de las propiedades físicas de un cemento asfáltico 60/70 modificado con residuos de la fabricación de productos con polietileno de baja densidad, pontificia universidad Javeriana 2011.**

Tras la realización de un estudio previo referente a la modificación de asfaltos, sus ventajas, desventajas y procedimiento, se llevó a cabo una investigación donde se analizaron las propiedades físicas de un asfalto modificado con polietileno de baja densidad por la vía húmeda, respecto a uno convencional de penetración 60/70 proveniente de Barrancabermeja, se establecieron parámetros fijos y variables dentro de la modificación. Los parámetros fijos en el proceso de modificación fueron: la temperatura de reacción (150 °C) y las revoluciones a las que giraba el brazo que mezcla el asfalto con el polímero (6000 RPM); los parámetros que se variaron durante el proceso fueron: porcentaje de adición de polietileno de baja densidad (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% y 7%) y los tiempos de reacción para la mezcla (30 min, 60 min y 90 min). Estos parámetros llevaron a realizar 21 muestras, provenientes de las combinaciones de porcentajes añadidos y tiempos de mezclado, y una 22 que fue la muestra del asfalto sin modificar. Los ensayos que se le practicaron a cada una de estas muestras fueron:





penetración, ductilidad, viscosidad Brookfield y punto de ablandamiento, solo a las muestras de asfalto modificado se les realizó el ensayo de recuperación elástica por torsión.

El objetivo principal del trabajo de investigación fue determinar los valores de porcentaje añadido y tiempo de mezclado óptimos para mejorar las características físicas del cemento asfáltico, basándose en algunos de los parámetros especificados por el Instituto Nacional de Vías para este tipo de asfalto modificado. Evaluación de las propiedades físicas de un cemento asfáltico 60/70 modificado con residuos de la fabricación de productos con polietileno de baja densidad.

Lo anterior permitió determinar que las condiciones óptimas de modificación para un asfalto normalizado 60/70 eran, un porcentaje de polietileno de baja densidad de 6%, y un tiempo de mezclado de 30 minutos.

Con el fin de determinar los parámetros de desempeño y comportamientos del ligante óptimo modificado con polietileno de baja densidad, se realizaron ensayos complementarios como envejecimiento en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento (RTFOT), envejecimiento en cámara a presión (PAV), y caracterización reológica utilizando el reómetro de corte dinámico (DSR).

## **2.18 Mezclas asfálticas elaboradas en frío. Utilización de emulsiones modificadas e incorporación de fibras de celulosa, Instituto de mecánica aplicada e ingeniería Universidad nacional de Rosario**

Un problema característico de pavimentos urbanos en sectores de bajo volumen de tránsito pesado, es la formación de baches superficiales. Muchas veces esto ocurre sin provocar deformaciones ni hundimientos. Las reparaciones más usuales se realizan con concreto asfáltico elaborado en caliente. Es necesario en estos casos mantener la temperatura de las mezclas en valores superiores a los 130 °C al momento de ser colocadas, para lograr la



densidad adecuada y la adherencia con el agregado pétreo. Esto implica la utilización de mezcla en tiempos limitados, o bien disponer de equipos especiales que permitan la conservación de la temperatura. Equipos especiales más volúmenes pequeños implican bajos rendimientos y altos costos. Exigen además, la delimitación y apertura del bache por aserrado y la preparación del mismo. El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar una mezcla asfáltica apta para ser aplicada a temperatura ambiente en la reparación de pequeños baches. Está destinada principalmente a calzadas urbanas pavimentadas con carpetas asfálticas envejecidas, sin deformaciones ni hundimientos. Emplearon para su realización una metodología con fuerte componente experimental y se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio Vial del IMAE, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, de la UNR. La mezcla asfáltica, se dosificó de manera que su entorno granulométrico sea asimilable al S-12 de la normativa española. Utilizaron emulsión asfáltica modificada con polímeros y se le incorporó a la mezcla fibras de celulosa. Esta última destinada a permitir incorporar elevadas cantidades de ligante asfáltico. Se moldearon probetas cilíndricas tipo Marshall, con distintos porcentajes de emulsión asfáltica y de fibras de celulosa. Para cada mezcla se calcularon los vacíos, la densidad y la resistencia a tracción indirecta. Todos los resultados de ensayos se compararon con los de las mezcla sin fibras, con el objeto de verificar las mejoras al incorporar estas últimas a la mezcla

Un aspecto positivo como resultado es la posibilidad de incorporar mayor porcentaje de asfalto en la mezcla. El empleo de emulsión modificada con la adición de fibras de celulosa, provee de un mayor espesor de película de asfalto residual que recubre a las partículas. Con ello se mejoran la flexibilidad de la mezcla y la durabilidad de la misma. No obstante, del análisis de los resultados de los ensayos, puede observarse que los cambios producidos por la incorporación de fibras y mayores porcentajes de asfalto, no producen mejoras en la capacidad estructural de la mezcla utilizada. (JORGE PARAMO)



Como limitación tiene que las pruebas fueron hechas a mezclas asfálticas en frío y no se sabe cuál sería su comportamiento a mezclas en caliente y cuáles podrían ser sus ventajas o desventajas.

## **2.2 MARCO TEÓRICO.**

### **2.2.1 Definición y clases de pavimento.**

Los pavimentos son estructuras construidas por capas de diversos materiales seleccionados, superpuestas, colocadas y compactadas sobre la superficie del terreno. La estructura de un pavimento está concebida especialmente para la circulación del tráfico automotor, por lo que es una solución económica y eficaz. (Asociación de Productores y Pavimentadores de Colombia, 2004) El desarrollo del automóvil a principios de siglo produjo una rápida evolución de las carreteras a nivel mundial. En Colombia la construcción de carreteras se inició prácticamente hacia 1930 y la pavimentación de vías hacia 1945.

Los pavimentos pueden ser Flexibles (formado por capas de Mezclas asfálticas), Rígidos (componente principal losas de concreto hidráulico) y Articulados (construidos con adoquines). AEROPUERTOS.

### **2.2.2 Funciones y características del pavimento flexible**

El pavimento flexible o asfáltico cumple con dos funciones específicas:

- El pavimento flexible proporciona una superficie segura y de comodidad Para el usuario.
- Las capas de la estructura soportan la mayor parte de las cargas de los vehículos y el resto lo trasladan al terreno o subrasante. Además de estas dos funciones específicas, el pavimento flexible debe cumplir con otras características, que se pueden dividir en técnicas (propias del pavimento) y de seguridad y comodidad para el usuario de la vía.

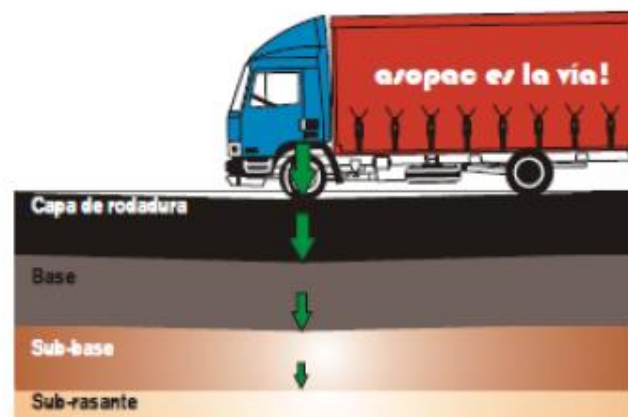


- **Características técnicas:** Son todas aquellas que hacen que los pavimentos sean durables, económicos y resistentes a los fenómenos climáticos y del tránsito.
- **Características de seguridad y comodidad:** Los pavimentos flexibles deben ser drenantes, es decir, evacuar rápidamente el agua lluvia. Deben presentar una homogeneidad en la superficie para que el tránsito sea cómodo. La superficie debe ser capaz de absorber el ruido y tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

### 2.2.3 Partes de un pavimento flexible.

Los pavimentos flexibles se componen de una capa llamada carpeta de Rodadura, apoyada sobre dos capas llamadas base y sub-base. Todo el conjunto se apoya sobre el terreno o sub-rasante, al cual llega una mínima parte de la carga vehicular.

**Ilustración 1. Distribución de cargas en el pavimento flexible.**



*Ilustración 1*

Fuente: Cartilla del Pavimento Asfáltico, 2004.



### **2.2.3.1 Carpeta de rodadura.**

Proporciona una superficie estable, uniforme y antideslizante, todo lo cual se traduce en comodidad para el usuario de la vía. Soporta la mayor parte de las cargas vehiculares y efectos ambientales como la lluvia y la radiación solar. Sirve como capa impermeabilizante, impidiendo el paso de agua al interior del pavimento, y al mismo tiempo la drena evitando el deslizamiento de los vehículos.

### **2.2.3.2 Base**

Su función principal es resistir los esfuerzos inducidos por los vehículos y dar un soporte homogéneo a la carpeta de rodadura, transmitiendo a las capas inferiores que las soportan (sub-base y sub-rasante) una mínima porción de la carga. Es una capa semirrígida, que puede ser granular, granular estabilizada o asfáltica.

### **2.2.3.3 Sub base granular.**

Se construye con materiales más económicos que las dos anteriores para que, a su turno, los espesores de las dos capas anteriores sean menores. También homogeniza la transferencia de carga a la subrasante.

### **2.2.3.4 Terreno natural o subrasante.**

La subrasante es aquella que soporta el pavimento. Las técnicas de mejoramiento o estabilización del suelo buscan mejorar las características del terreno, pues de estas, depender en gran medida, el espesor total del pavimento. Un suelo se puede mejorar o estabilizar por medios mecánicos (compactación) o con productos químicos especialmente diseñados para tal fin (cal, cemento, etc.).

## **2.2.4 Ventajas del pavimento flexible.**

- El costo de construcción es menor que en el pavimento rígido y con las nuevas tecnologías, los pavimentos flexibles requieren un mantenimiento mínimo.
- Por su color oscuro, evita reflejos y deslumbramientos causantes de accidentes.



- Es reciclable en un su totalidad, lo que trae importantes ventajas ambientales, ecológicas y económicas.
- El tiempo de restauración de una vía en concreto hidráulico puede tardar días, en mezcla asfáltica apenas unas pocas horas.
- La contaminación auditiva por el paso de los vehículos, es nueve decibeles menor si el vehículo rueda sobre una superficie de concreto asfáltico que de hidráulico.
- En volumen, esto equivale a 4 veces menos ruido.
- Ofrece gran suavidad en el rodamiento, lo que permite ahorrar hasta un 4.5% en el consumo de combustible.
- Las empresas productoras de pavimento asfáltico son ciento por ciento colombianas, tributan en Colombia y generan empleo a los colombianos.
- Más del 90% de las vías en el mundo y más del 65% de las vías en Bogotá están construidas en pavimento asfáltico.

### 2.2.5 Capas de rodadura.

Las capas de rodadura se encuentran en la parte superior del firme, en contacto directo con los vehículos y sometidas también directamente a la acción de los agentes atmosféricos. Las funciones principales que se les exige son:

- **Seguridad en la rodadura**, para que proporcionen una buena adherencia a los neumáticos en cualquier situación. Se consigue dotando a las mezclas de una macro textura (efecto de la dosificación y tamaño máximo del árido) y micro textura (efecto del coeficiente de pulimento acelerado del árido).
- **Impermeabilidad**, para impedir la penetración del agua superficial en las capas inferiores del firme y en la explanada. Se consigue dosificando los materiales de tal manera que los huecos en mezcla sean mínimos o disponiendo bajo la rodadura de un material impermeable.
- **Regularidad superficial**, mediante una puesta en obra adecuada, si bien es una cualidad que depende fundamentalmente de la conseguida en las capas inferiores.



- **Comodidad en la circulación en lo relativo al ruido de rodadura, visibilidad nocturna, visibilidad en momentos de lluvia, etc.** El ruido de rodadura depende fundamentalmente del contenido de huecos del material y del tamaño máximo de las partículas. La visibilidad en momentos de lluvia depende del contenido de huecos y de la textura superficial. La visibilidad nocturna depende del contraste entre la marca vial y el pavimento, que es tanto mayor cuanto más negra sea la superficie (mayor contenido de ligante).
- **Aspecto estético**, conseguido mediante superficies homogéneas y ricas en ligante, ya que las rodaduras constituyen una parte importante de la imagen que ofrece una determinada administración de carreteras. En algunas situaciones se precisa conseguir efectos estéticos con materiales coloreados, o integración en el paisaje, lo que se logra también con materiales coloreados o incoloros.
- A veces se puede buscar funciones específicas como resistencia a los disolventes, resistencia al punzonamiento por cargas estáticas, etc.

## 2.2.6 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de Agregados pétreos y un Cemento Asfáltico (ligante hidrocarbonato), de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de este. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de cemento asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.



La mezcla asfáltica es una combinación de Cemento Asfáltico y Agregados Pétreos en proporciones exactas y previamente especificadas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades y características de la mezcla. Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras. (Asociación de Productores y Pavimentadores de Colombia, 2004). Existen distintos procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente. Entre ellos tenemos el procedimiento Marshall y el procedimiento Hveem, que tienen una larga trayectoria de uso a nivel mundial. Adicionalmente, se ha desarrollado una nueva tecnología para el diseño de mezclas, denominado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement), que es todo un sistema de nuevos procedimientos en mezclas asfálticas, desarrollado en Estados Unidos por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP).

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, Pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

### **2.2.6.1 Componentes mezclas asfálticas**

#### **2.2.6.1.1 Cemento asfáltico o asfalto**

El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación. El asfalto ha sido utilizado para la construcción de carreteras desde la antigüedad ya que tiene ciertas características físicas que le permiten su uso como aglutinante en la mezcla asfáltica. El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos





esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la Humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir La acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

#### **2.2.6.1.1.1 Caracterización del asfalto**

El asfalto puede ser caracterizado de tres maneras, según el reglamento técnico Centroamericano RTCA 75.01.22:047. Estas formas de caracterizar el asfalto resultan útiles si la interpretación de los resultados es apropiada, el asfalto de puede caracterizar por grado de viscosidad, por grado de penetración y por grado de desempeño. Independientemente de cada caracterización intenta evaluar la consistencia del asfalto a una o varias temperaturas, así como evaluar propiedades relacionadas con pureza, susceptibilidad al envejecimiento y seguridad.

##### **2.2.6.1.1.1.1 Caracterización por grado de viscosidad**

El principio fundamental de la caracterización por grado de viscosidad es determinar la viscosidad absoluta a 60 °C y asignar como resultado o consistencia obtenida el grado AC correspondiente, para luego verificar los demás requisitos para este grado AC (por ejemplo AC30) en el resto de ensayos especificados. Los ensayos especificados son:

- Viscosidad a 60 °C (ASTM D2171): Esta es una propiedad fundamental del asfalto para cuantificar su consistencia a la temperatura de 60 °C, adicionalmente se utiliza para valorar el efecto de la temperatura en el comportamiento del material para proponer el rango de temperaturas en la producción de la mezcla asfáltica y su colocación. (Importante: 1 P = 10Pa\*s).



- Viscosidad Cinemática a 135 °C (ASTM D2170).
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5).
- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).
- Efecto del calor y el aire en materiales asfálticos mediante el horno de película delgada TFO. (ASTM D1754).
- Viscosidad a 60 °C (ASTM D2171). Al residuo del envejecido TFO.
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo del envejecido TFO.

Tabla 1

**TABLA 1. ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS. CLASIFICADOS POR SU VISCOCIDAD A 60°C**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE VISCOSIDAD					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad , 60°C	N s/m <sup>2</sup>	D-2170						
Viscosidad , 135°C, mínimo	mm <sup>2</sup> /s	D-2170	250±50	500 ±100	1000 ±200	2000 ±400	3000 ±600	4000 ±800
Penetración, 25°C, 100g ,5s mínimo	1/10mm	D-5	125	175	250	300	350	400
Punto de inflamación , Cleveland copa abierta, mínimo	°C	D-92	220	140	80	60	50	40
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	163	177	219	232	232	232
Pruebas sobre residuos del ensayo de horno sobre película delgada		D-1754	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Viscosidad, 60°C, Max	N s/m <sup>2</sup>	D-2171						
Ductilidad , 25°C, 5cm /min , mínimo	Cm	D-113	1250	2500	5000	10000	15000	20000
			100 <sup>A</sup>	100	75	50	40	25

Fuente: reglamento técnico centro americano ( RTCA 75.01.22:047)



### 2.2.6.1.1.2 Caracterización por grado de penetración.

El principio fundamental es clasificar el asfalto de acuerdo con los resultados del Ensayo de penetración a 25 °C. Se debe verificar el cumplimiento de los de más Parámetros especificados. Los ensayos especificados son:

- Penetración a 25 °C (ASTM D 5).
- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).
- Cambio de masa en horno de película delgada TFO (ASTM D1754).
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5). Al residuo del envejecido TFO.
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo del envejecido TFO.

La mayoría de los ensayos fueron descritos en la clasificación por grado de viscosidad.

**TABLA 2. ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS. CLASIFICADOS POR SU GRADO DE PENETRACIÓN A 25°C**

CARACTERISTICAS	UNIDADES	METODO ASTM
Penetración 25°C , 100g , 5s		D-5
Punto de inflamación , Cleveland copa abierta	°C	D-92
Ductilidad ,25°C , 5cm/min	cm	D-113
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 después de realizar D-1754
Ductilidad 25°C , 5cm /mínimo después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 después de realizar D-1754



GRADO DE PENETRACION									
40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
232		232		232		218		177	
100		100		100		100		100A	
99		99		99		99		99	
55+		52+		47+		42+		37+	
		50		75		100		100A	

Fuente: reglamento técnico centro americano ( RTCA 75.01.22:047)

#### 2.2.6.1.1.2 Equivalencias entre grado de viscosidad y grado de penetración.

Debido a la posibilidad de utilizar la clasificación de grado de viscosidad a 60 °C o la de penetración a 25 °C, es importante conocer la equivalencia para estas dos formas de clasificar el asfalto destinado para la construcción de pavimentos.

Tabla 2

**TABLA 3. ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS. EQUIVALENCIA ENTRE PENETRACION Y GRADO DE VISCOCIDAD**

GRADO DE PENETRACION	GRADO DE VISCOCIDAD AC (Asphalt cement )
40-50	AC- 40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

Fuente: reglamento técnico centro americano (RTCA 75.01.22:047)

#### 2.2.6.2 Agregados pétreos

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en



las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica. (Asociación de Productores y Pavimentadores de Colombia, 2004).

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

#### **2.2.6.2.1 Clasificación de los agregados pétreos.**

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se dividen en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler). Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río). En este último caso son agregados pétreos aluviales. Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. La roca se tritura para volver angular la forma de la partícula y para mejorar la distribución (gradación) de los tamaños de las partículas.

#### **2.2.6.2.2 Propiedades de los agregados pétreos**

Los agregados pétreos deben cumplir las siguientes propiedades para ser considerado apropiado para una mezcla asfáltica:

- **Gradación y tamaño máximo de partícula:** Se requiere que las partículas estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño esté presente en ciertas proporciones.
- **Limpieza:** En los agregados existen materiales indeseables que le restan propiedades y afectan desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Dentro de estos se tienen vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, materia orgánica, etc.
- **Dureza:** Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla y las exigencias durante la vida de servicio del pavimento.



- **Forma de la partícula:** La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla, la cantidad de fuerza necesaria para compactarla y la resistencia de la estructura del pavimento. Las partículas irregulares y angulares proporcionan las mejores características.
- **Textura de la superficie:** Es un factor que determina la trabajabilidad, la resistencia final de la mezcla y las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Según la textura, los agregados pueden ser rugosos o lisos.
- **Capacidad de absorción:** La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información, pues un agregado poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.
- **Afinidad con el cemento asfáltico:** Es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto.

### 2.2.6.2.3 Ensayos a los agregados pétreos

Al igual que el cemento asfáltico, los agregados pétreos deben pasar por una serie de ensayos que determinarán su calidad.

#### 2.2.6.2.3.1 Ensayos para determinar la limpieza del agregado.

- **Índice de consistencia:** Indica la capacidad de la fracción de arenas finas y llenante para retener agua.
- **Equivalente de arena:** Es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz No. 4.
- **Azul de metileno:** Pretende determinar la presencia de elementos arcillosos



- indeseables dentro del material. El método se basa en las propiedades de adsorción de las arcillas y su consiguiente efecto decolorante sobre las soluciones acuosas de azul de metileno.
- **Contenido de materia orgánica:** Proporciona una estimación de la cantidad de materia orgánica presente en el agregado

#### 2.2.6.2.3.2 Ensayos para determinar la durabilidad del agregado.

- **Coefficiente de pulimento acelerado:** Este pulimento o susceptibilidad al pulimento de los agregados, conseguido mediante la acción de la llanta de la máquina y los abrasivos empleados, pretende reproducir, de manera acelerada, aquel que experimenta el agregado bajo la acción del tránsito real cuando forma parte de la capa de rodadura de una vía.
- **Desgaste en la máquina de Los Ángeles:** El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando para ello la máquina de Los Ángeles con una carga abrasiva.
- **Solidez:** Se usa para medir la resistencia de los agregados pétreos frente a la acción de sulfato de sodio o de magnesio, y representa la resistencia de los agregados pétreos frente a la acción de las condiciones ambientales.

#### 2.2.6.2.3.3 Ensayos para determinar la forma y angularidad del agregado.

- **Índice de aplanamiento y de alargamiento:** Los índices son una indicación de la cantidad de material (porcentaje de agregado) cuyas medidas proporcionan una forma demasiado alargada o son demasiado planas para ser utilizadas en una mezcla asfáltica.
- **Porcentaje de caras fracturadas:** Se determina el porcentaje, en peso, del material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.



### 2.2.6.3. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

#### 2.2.6.3.1. Clases de mezclas según fracciones de agregado pétreo empleado.

Se clasifican en:

- **Masilla asfáltica:** Es la combinación homogénea de polvo mineral más ligante.
- **Mortero asfáltico:** Es la mezcla de agregado fino más masilla.
- **Concreto asfáltico:** Corresponde a la mezcla de agregado grueso más mortero.
- **Macadam asfáltico:** Es la combinación de agregado grueso más ligante asfáltico.

#### 2.2.6.3.2. Clasificación de las mezclas según la temperatura de puesta en obra.

De acuerdo con este parámetro se clasifican en:

- **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- **Mezclas asfálticas en Frío:** El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

#### 2.2.6.3.3. Clasificación según la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

De acuerdo con este criterio se clasifican en:

- **Mezclas Cerradas o Densas:** La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- **Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas:** vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- **Mezclas Abiertas:** La proporción de vacíos supera el 12 %.
- **Mezclas Porosas o Drenantes:** La proporción de vacíos es superior al 20 %. La proporción de vacíos en la mezcla suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.





#### 2.2.6.3.4. Clases de mezclas según tamaño máximo del agregado pétreo.

Están clasificadas como:

- **Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- **Mezclas Finas:** También llamadas micro-aglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

#### 2.2.6.3.5 Clasificación según la estructura del agregado pétreo.

En esta clasificación tenemos las siguientes denominaciones:

- **Mezclas con Esqueleto mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

#### 2.2.6.3.6 clases de mezclas según su granulometría.

- **Mezclas Continuas:** Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- **Mezclas Discontinuas:** Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.



Tabla 3

**TABLA 4 CLASIFICACION DE LOS AGLOMERADOS ASFALTICOS.**

PARÁMETRO	TIPO DE MEZCLA	CARACTERISTICAS
<b>ARIDO EMPLEADO (ACUMULATIVA )</b>	MASTIC	FILLER + BETUM
	MORTERO	ARIDO FINO + MASTIC
	MACADAM	ARIDO GRUESO + BETUM
	HORMIGON	ARIDO GRUESO + MORTERO
<b>TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA</b>	EN FRIO (MBF)	TEMPERATURA AMBIENTE
	EN CALIENTE (MBC)	ALTAS TEMPERATURAS
<b>% DE HUECOS EN MEZCLA (PG-4)</b>	DENSAS (D)	3 a 6 %
	SEMIDENSAS (S)	6 a 10 %
	GRUESAS (G)	10 a 15 %
	ABIERTAS (A)	15 a 22 %
	POROSAS (PA)	22 a 28 V
<b>TAMAÑO TEXTURA SUPERFICIAL</b>	GRUESAS ( GRAVAS )	Tmax > 8 mm
	FINAS ( ARENAS )	Tmax ≤ 8 mm
<b>GRANULOMETRIA DE LOS ARIDOS</b>	CONTINUAS	
	DISCONTINUAS	
<b>ESTRUCTURA ESQUELETO MINERAL</b>	SIN ESQUELETO MINERAL	
	CON ESQUELETO MINERAL	

Fuente Luis bañon Blázquez

#### **2.2.6.4 Mezclas bituminosas en caliente para capas de rodadura.**

Los materiales disponibles para esta capa son: mezclas en caliente tipo hormigón asfáltico de granulometría continua (tipos Semidenso y Denso), drenantes y discontinuos.

##### **2.2.6.4.1. Mezclas densas y semidensas para capa de rodadura**

Las mezclas densas y semidensas corresponden al tipo genérico hormigón asfáltico. Son mezclas de granulometría continua con un fuerte esqueleto mineral y que se puede utilizar en todas las capas del firme. Estas mezclas hace años fue la mezcla bituminosa de empleo más generalizado en Europa.



El tipo de mezcla asfáltica en caliente por emplear en función del tipo y espesor compacto de la capa asfáltica, se realiza siguiendo los criterios de la Tabla 450.3 del Manual de Especificaciones Para Construcción de carreteras INVIAS (INVIAS, 2007)

Tabla 4

**TABLA 5. TIPO DE MEZCLAS POR UTILIZAR EN FUNCION DEL TIPO Y ESPESOR COMPACTO DE LA CAPA.**

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
RODADURA	30-40	MDC-3
	40-60	MDC-2 MSC-2
	>60	MDC-1 MDC-2 MSC-2
INTERMEDIA	>50	MDC-1 MSC-1
BASE	>75	MSC-1 MGC-0 MGC-1
ALTO MODULO	60-130	MAM
BACHEOS	50-70	MSC-1 MGC-1
	>75	MSC-1 MGC-0 MGC-1

*Fuente: manual de especificaciones para construcción de carreteras INVIAS*

#### 2.2.6.4.2. Mezclas drenantes.

Las mezclas drenantes son mezclas bituminosas utilizadas en rodadura, que se dosifican con el objetivo principal de conseguir un gran número de huecos interconectados que permitan la percolación del agua de lluvia y su evacuación hacia las zonas laterales fuera de la calzada. Cambian el concepto tradicional de impermeabilizar la superficie de la carretera, trasladando esta función a la capa inferior o a la interface entre ambas. Posteriormente se vio la capacidad de estas mezclas para absorber parte del ruido generado por la rodadura de los vehículos, lo que aumentó aún más su empleo.

En Europa hay mezclas drenantes con granulometrías continuas o discontinuas. Inicialmente empezaron a diseñarse con porcentaje de vacíos entre el 5% y el 18% pero se dieron cuenta que estas mezclas se colmataban rápidamente, por lo que actualmente se exige un porcentaje



mínimo de vacíos del 20%, y es muy frecuente el del 22%. Se han desarrollado ya mezclas con porcentajes de huecos hasta del 28%. Para conseguir el objetivo de dotar a la mezcla con un gran porcentaje de huecos, debe reducirse drásticamente el contenido en mortero. Mientras que los porcentajes de áridos de tamaños inferiores a 2 mm se encuentran entre el 31 y el 46% en las mezclas para rodadura tipo denso, en las mezclas drenantes los se encuentran entre el 9 y el 20% y en la práctica se va a contenidos del orden del 10% - 15%, o incluso menores si se quieren conseguir huecos en mezcla superiores al 25%. En capas de rodadura de 4 cm es adecuado utilizar tamaños máximos de 10 mm; si se colocan capas de 5 cm conviene ir a tamaños máximos de 12 mm.

Las mezclas drenantes presentan una mejor resistencia al deslizamiento que las convencionales a alta velocidad, y especialmente en presencia de agua, consecuencia de su capacidad de eliminación de agua y gran macro textura. A baja velocidad la resistencia al deslizamiento es del mismo orden o menor que las mezclas convencionales por tener menor micro textura, ya que en las mezclas drenantes ésta se debe exclusivamente a los áridos gruesos al no haber prácticamente mortero en la superficie.

Las rodaduras drenantes se van colmatando con una relativa rapidez, particularmente en zonas con poco tráfico. El tiempo de colmatación varía según las condiciones entre 3 y 7 años. Cuando están colmatadas mantienen no obstante una cierta drenabilidad de la superficie que favorece la adherencia rueda-pavimento a velocidad elevada y la reducción de proyecciones de agua, a la vez que se mantiene una fuerte macro textura. En las zonas con heladas, la cuestión del mantenimiento invernal es una preocupación importante que limita el empleo.

No se han apreciado problemas de formación de roderas o de fatiga en estas mezclas. La forma más frecuente de fallo es la pérdida de gravillas. Son mezclas que resisten mal los efectos tangenciales, sobre todo en los primeros momentos después de su extensión, y que se deterioran fácilmente en caso de accidentes, reventones de neumáticos, etc. Son mezclas con una puesta en obra más delicada que los hormigones bituminosos convencionales, y son especialmente sensibles a la pérdida de temperatura durante la colocación de la mezcla.

Los fallos prematuros se deben fundamentalmente a malas prácticas de puesta en obra, a defectos en los materiales, En este último caso es conveniente recurrir a cerrar algo la mezcla,



aplicar neumáticos después de los rodillos (después de que han perdido algo de temperatura) o utilizar ligantes muy modificados.

Las capas de rodadura con mezclas drenantes pueden tener una durabilidad semejante a las mezclas densas convencionales pero suelen exigir más labores de mantenimiento.

#### 2.2.6.4.3. Mezclas discontinuas para capas de rodadura

Se define como mezcla asfáltica discontinua en caliente aquéllas cuyos materiales son la combinación de un ligante, agregados que presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamices inferiores del agregado grueso, (8% entre el tamiz de 4mm y el tamiz de 2mm), polvo mineral, y eventualmente aditivos, realizada de forma que todas las partículas minerales queden recubiertas con una película uniforme de dicho ligante. Su proceso de fabricación obliga a calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente. Se clasifican por el tamaño del agregado en el grupo de los Microaglomerados por presentar tamaños máximos entre 6- 12 mm. (Bustos, 2002)

#### Ilustración 2. Esquema clasificación por tamaño máximo.



Ilustración 2

Fuente: Presentación mezclas bituminosas conelsan



Las mezclas discontinuas han mostrado ser una buena solución para capa de Rodadura ya que pueden compactarse en pequeños espesores, presentan una gran macro textura, y por tanto una buena resistencia al deslizamiento a velocidades altas, y permiten introducir dotaciones elevadas de betún (y aumentar por tanto la durabilidad) sin problemas de formación de roderas. Por otro lado tienen, aunque en mucho menor grado, algunas de las características de las mezclas drenantes: capacidad de drenaje de agua gracias a su macro textura y menor sonoridad que las mezclas convencionales.

La ilustración 3 indica la aplicación idónea según el tipo de mezcla a utilizar de Acuerdo a la capa a ejecutar, donde se sugiere para una capa de rodadura utilizar ya sea una mezcla de granulometría discontinua (por ejemplo BBTM), una mezcla porosa (PA), una densa (D), una semidensas (S) o una mezcla abierta en Frio. Las mezclas de alto modulo (MAM) se recomiendan para capas intermedias y de base, y las mezclas asfálticas gruesas (G) solo para base.

**Ilustración 3. Aplicación idónea según la mezcla.**



Fuente: Presentación Mezclas Bituminosas Conelsan

Ilustración 3



### **2.2.7 Mezclas asfálticas discontinuas.**

Son mezclas asfálticas utilizadas en capas de pequeño o muy pequeño espesor, con textura macrorrugosa áspera, excelente comportamiento mecánico, gran durabilidad y sin problemas de incremento de sonoridad.

Los tipos de mezclas discontinuas más utilizados en Europa son los Denominados “Hot Rolled Asphalt” (HRA=asfalto en lamina caliente) de los ingleses, constituidos por un 30% de árido grueso y un 70% de árido fino. Además de los “Hot Rolled Asphalt” de empleo casi exclusivo en el Reino Unido, dos son los tipos de microaglomerados en caliente discontinuos más utilizados en Europa: los originarios de Alemania, denominados “Splittmastixasphalt” o mezclas SMA y los de Francia, denominados “Beton Bitumineux Tres Minces” (BBTM) aglomerados discontinuos muy delgados puestos en obra en espesores de 2 - 2,5 cm.

Las mezclas SMA fueron implantadas en Alemania a finales de los años 60 con el objetivo inicial de mejorar la resistencia de las mezclas a la acción de los neumáticos de clavos, desarrollándose posteriormente en los países nórdicos, Bélgica y Holanda. Los aglomerados franceses del tipo BBTM fueron empleados en trabajos de conservación en carreteras de tráfico importante, tanto en autopistas como en carreteras nacionales, buscando una mejora de las características superficiales especialmente la adherencia a elevadas velocidades. Las SMA se desarrollaron en Alemania buscando mezclas con contenidos elevados de betún que no tuviesen problemas de deformaciones plásticas y que se pudiesen compactar en capas relativamente finas. En Francia se modificó el diseño reduciendo algo el contenido de betún respecto al modelo alemán para conseguir mezclas con mayor textura. Estas últimas mezclas se utilizaron por primera vez en España en 1.985, normalizándose en 1.996 en uno de los proyectos tipo de la Subdirección General de Conservación del Ministerio de Fomento. En las mezclas discontinuas se eliminan tamaños intermedios (entre 2 mm y 4 mm) que son los que separan los áridos gruesos, manteniendo un fuerte esqueleto mineral de áridos gruesos en contacto entre sí y un contenido suficiente de mortero que rellena los huecos entre áridos gruesos. Esta dosificación consigue una buena resistencia frente a las deformaciones plásticas, una gran textura (por la reducción de parte de la arena), y mantiene la durabilidad



de la mezcla al tener un contenido elevado de betún y mortero. Además facilita la compactación en capas de pequeño espesor.

Generalmente los tamaños máximos de estas mezclas son 8 mm y 10 mm. En estas mezclas se ha fijado la discontinuidad entre los tamices 2 mm y 4 mm, limitando el retenido parcial máximo entre estos tamices al 8%. El árido fino <debe proceder de trituración. El contenido de polvo mineral es del orden del 5% al 9%, por lo que en general necesitan de filler de aportación. En este caso, el alto contenido en árido grueso y la discontinuidad granulométrica son los responsables de la elevada macrorugosidad de estas nuevas mezclas. La impermeabilidad se consigue, más que por la fracción fina 0/2 o 0/3 con elevada relación filler - betún, acudiendo a un incremento en la dotación del riego de adherencia. El contenido en ligante es elevado (5 -7%) con el objeto de formar juntamente con el filler un buen mastico que proporcione a la mezcla una adecuada cohesión y resistencia a la abrasión.

#### Ilustración 4. Curva Granulométrica típica de una mezcla Discontinua

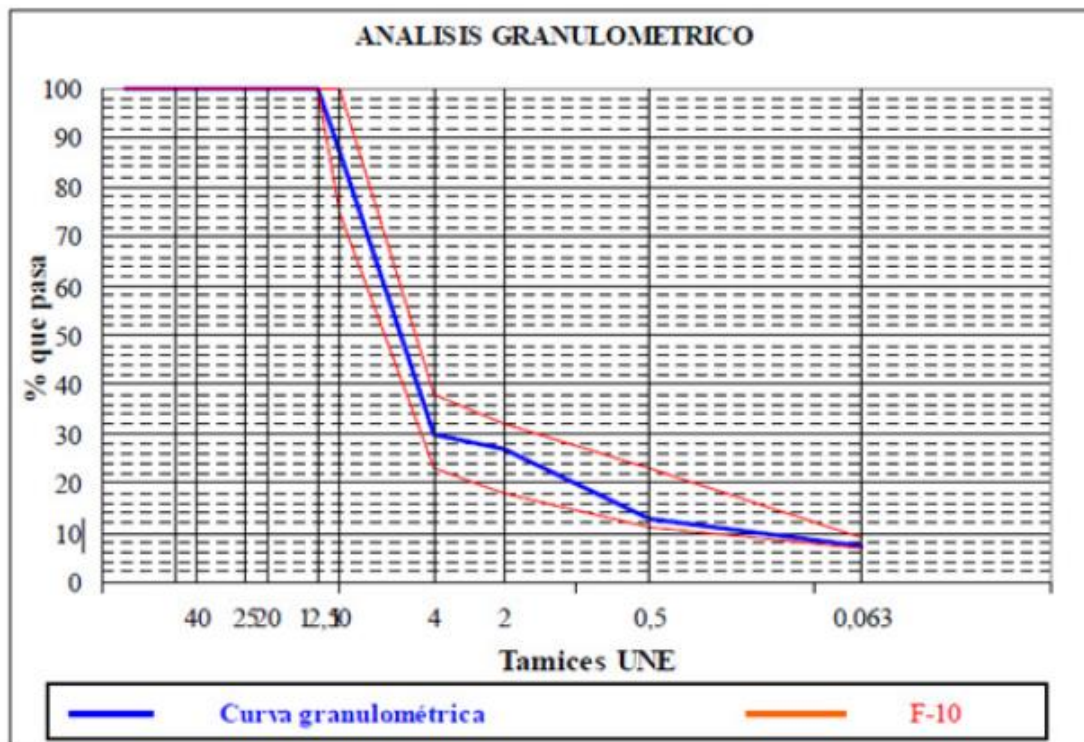


Ilustración 4 Fuente: *Presentación Mezclas Bituminosas en Caliente en Infraestructura Aeroportuaria Conelsan.*





### 2.2.8 Cemento portland

El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción y es utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón (llamado concreto en Hispanoamérica). Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

El cemento tipo portland se divide en cinco categorías normadas por las especificaciones del ASTM de normas APRA el Cemento Portland (C150), cada categoría posee características físicas y químicas específicas.

- **Cemento tipo I:** De uso general, se puede emplear para fines estructurales u otras chorreas, siempre que no se requieran las características de los otros cementos.
- **Cemento tipo II:** Se utiliza cuando se espera un ataque moderado de los sulfatos o cuando se requiere un calor de hidratación moderado, para lograr este tipo de características se regulan la cantidad máxima de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, este cemento alcanza una resistencia similar al cemento tipo uno pero requiere más tiempo de fraguado.
- **Cemento tipo III:** Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 7 días tiene la misma resistencia que un concreto tipo I o II en 28 días. Para lograr este rápido fraguado se aumentan las cantidades de silicato tricálcico y Aluminato tricálcico. Este cemento desprende grandes cantidades de calor por lo que no es recomendado para chorreas masivas.
- **Cemento tipo IV:** Este es un cemento de secado lento por lo que no genera gran cantidad de calor de hidratación siendo ideal para chorreas masivas que no requieran una alta resistencia inicial, para lograr esto se regulan las cantidades de aluminato tricálcico y silicato tricálcico, ya que estos son los elementos que se encargan de fraguado inicial por lo que liberan la mayor cantidad de calor de hidratación.



- **Cemento tipo V:** Este es un cemento con gran resistencia al ataque de sulfatos, por lo que es muy utilizado en estructuras hidráulicas expuestas a aguas con gran concentración de álcalis o estructuras expuestas a agua de mar. Para lograr esto se reduce la cantidad de aluminato tricálcico ya que este es el componente más vulnerable a los sulfatos.



### 3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realizó para determinar la incidencia en la propiedades mecánicas que genera la incorporación de cemento portland ordinario a una mezcla de material bituminoso con granulometría discontinua o microaglomerado. La caracterización anteriormente mencionada se llevó a cabo a través de la comparación entre los resultados de los ensayos de laboratorio reglamentarios establecidos por el INVIAS y la ASHTOO para mezclas asfálticas discontinuas preparadas en caliente en condiciones normales y otra a la cual se le haya adicionado cemento portland.

Esta investigación adquirió importancia y su realización se justificó en el hallazgo de nuevos materiales que optimizaron la vida útil o de operación de las obras de ingeniería civil en especial las de infraestructura vial construidas con este tipo de mezclas. Según la base de datos “EL SEVIER” en la sección de materiales para la construcción, un estudio realizado por la universidad de John moores en Liverpool son mencionados los beneficios que se tiene al adicionar cemento portland ordinario a mezclas de emulsiones bituminosas lo cual es un indicativo positivo que da pie a considerar el cemento como una fuerte alternativa para mejorar la calidad de las mezclas asfálticas y así estas tengan un periodo de operación más prolongado, disminuyendo los costos de mantenimiento entre otros (Abbas Al-Hdabi; Hassan Al Nageim; Linda Seton; 2014) .

El Departamento de Geotecnia y materiales de la Universidad de Cartagena así como el laboratorio de pruebas de la empresa BARRIOS PADILLA INGENIEROS SAS y la empresa PROMOTORA MONTECARLO VIAS, facilitaron la gestión y préstamo de los equipos necesarios para la práctica de las distintas pruebas experimentales que se le debieron realizar a las mezclas bituminosas esto representó un ahorro significativo al presupuesto del proyecto, este documento investigativo también buscará encaminar a la universidad de Cartagena hacia la rama de investigación del material bituminoso puesto que este es comúnmente utilizado en grandes proyectos viales.



Si la variación presentada es considerada una optimización en las propiedades ya mencionadas dará pie para que se realicen otras investigaciones para demostrar si aparte de la mejora en sus propiedades es viable la utilización de mezclas de este tipo mejoradas con cemento portland en proyectos viales de medio o alto volumen de tránsito.



## 4. OBJETIVOS.

### 4.1 GENERAL.

- Caracterizar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica discontinua con adición de cemento portland, a través de ensayos de laboratorio estandarizados por el método Marshall para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente (en base a los criterios de diseño para una mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall), con el fin de detectar posibles variaciones representativas en dichas propiedades.

### 4.2 ESPECIFICOS.

- Identificar aspectos básicos del diseño y elaboración de una mezcla asfáltica discontinua con adición de cemento portland.
- Determinar los valores de las propiedades físicas tales como: estabilidad, flujo, vacíos, densidad, etc, de una mezcla asfáltica discontinua con cemento y sin cemento.
- Comparar las propiedades de una mezcla asfáltica discontinua hecha de manera convencional con una a la cual se le haya incorporado cemento portland, a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas.



## 5. ALCANCE

### 5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL.

Los ensayos pertinentes realizados para la caracterización de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en discontinuas se hicieron en los laboratorios de geotecnia y materiales de la universidad de Cartagena, en la empresa BARRIOS PADILLA INGENIEROS SAS la cual pertenece al ingeniero Modesto Barrios Fontalvo y en los laboratorios de la planta de asfalto TORCOROMA. Los materiales necesarios para la producción de la mezcla serán obsequiados por la empresa PROMOTORA MOTECARLO VIAS S.a. ubicada en Mamonal Km 5 Entrada Arroz Barato.

### Universidad de Cartagena



Ilustración 5. Ubicación universidad de Cartagena

Avenida del Consulado # Calle 30 No. 48 – 152, Cartagena, Bolívar, Colombia

**Fuente: (Google maps, 2015)**



# EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICA DE UNA MEZCLA DE ASFALTO DISCONTINUA CON ADICION DE CEMENTO PORTLAND.

## Zona de laboratorios Universidad de Cartagena

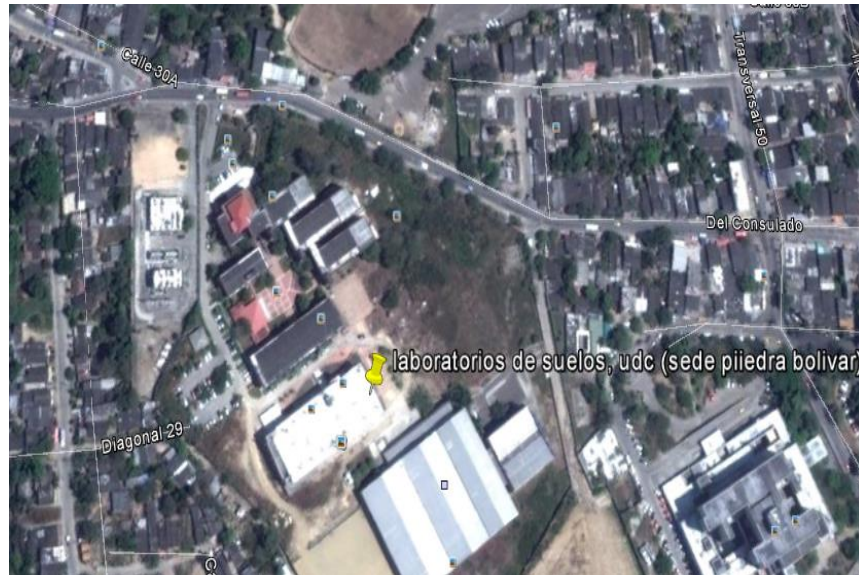


Ilustración 6

*Avenida del Consulado # Calle 30 No. 48 – 152, Cartagena, Bolívar, Colombia*

*Fuente: (Google earth, 2015)*

## Barrios padilla ingenieros SAS.



Ilustración 7

*Ubicación empresa BARRIOS PADILLA INGENIEROS*

*Transversal 35, Barrio el prado, edificio los tamarindos.*

*(FUENTE: GOOGLE MAPS)*



## 5.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto de investigación se desarrolló en el segundo periodo académico de 2015.

## 5.3 ALCANCE DEL PROYECTO

La investigación en cuestión se centró en el análisis de la variación y caracterización de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente discontinua a la cual se le adiciona cemento portland. Se determinaron las propiedades de los materiales que se usaran en la preparación de las mezclas obtenidos a través de la empresa PROMOTORA MONTECARLO VÍAS S.A. Para lograr cuantificar esa variación en las propiedades mecánicas y realizar la posterior caracterización de las propiedades modificadas se realizaron todos los ensayos estipulados por el INVIAS para una mezcla asfáltica discontinua, después de realizada la caracterización a través de métodos comparativos se determinó si estas propiedades modificadas son mejores o inferiores a las ya existentes. En dado caso que las propiedades resulten optimizadas por la adición de cemento portland esta investigación podría dar pie para que se le hagan otro tipo de evaluaciones a este tipo de mezcla ya sea de tipo económico o de otra índole dando la posibilidad de que se generalice su producción y uso dentro de la infraestructura vial colombiana.

**5.4 ASPECTOS QUE NO ENTRARON DENTRO DEL ALCANCE DEL PROYECTO** El proyecto “**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DE ASFALTO DISCONTINUA CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND**” solo se ocupó de la caracterización de dichas propiedades y comparar su variación con respecto a una mezcla hecha sin adición de cemento, con los mismos materiales y características de diseño ; no se realizara ninguna comparación económica, ni análisis químico entre los tipos de mezclas.





## 6. METODOLOGÍA

La investigación mixta representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación que implican la recolección y el análisis de datos cualitativos y cuantitativos, para realizar inferencias producto de toda la información recolectada y poder así lograr una mayor comprensión del fenómeno bajo el cual se está realizando el estudio. (Crúz Guzman, 2011)

El motivo por el cual este proyecto manejó un enfoque mixto es debido a que se llevó a cabo una previa documentación bibliográfica del tema, unos estudios experimentales y se efectuaron ensayos de tipo físico-mecánico a los agregados pétreos proporcionados por la planta de asfalto TORCOROMA para caracterizar sus propiedades mecánicas y físicas, luego de tener todos estos resultados finalmente se construyeron y ensayaron las briquetas de mezclas asfáltica discontinua tipo MF10.

### 6.1 TECNICAS DE RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN.

#### 6.1.1 Información secundaria.

**6.1.1.1 Recolección de información bibliográfica:** Se llevó a cabo la búsqueda de la información necesaria sobre el tema de estudio, como: la historia, teoría, antecedentes, proyectos investigativos, aplicación y utilización, estando apoyado en los antecedentes, y estudios en los que ha tenido que ver la universidad de Cartagena y otras instituciones tanto nacionales como internacionales en cuanto al tema a tratar.

#### 6.1.2 Información primaria.

##### 6.1.2.1 Recolección de materiales

- para la recolección de los materiales necesarios para este proyecto de investigación se contó con el apoyo de la empresa PORMOTORA MONTECARLO VIAS la cual suministró los agregados pétreos necesarios para la elaboración de la mezcla asfáltica discontinua tipo MF10, el agregado suministrado fue chispa clasificada de tamaños desde 12 mm hasta 0 mm.



- el ligante utilizado para la elaboración de la mezcla se obtuvo a través de la empresa MPI L.T.D.A, la clase de asfalto suministrado fue AC-20 con 1% de mejorador de adherencia.
- El llenante o filler de aportación de la mezcla usado fue cemento portland y fue adquirido de manera particular por los jóvenes investigadores o autores de este proyecto.

A continuación se muestran ilustraciones de los materiales utilizados para la elaboración de la mezcla asfáltica que se estudió en este proyecto.

*: chispa*



Ilustración 8

*Fuente: autores, 2015.*



*asfalto AC-20 al 1% de mejoramiento de adherencia*

*Fuente: autores, 2015.*



*Ilustración 9*

**6.1.2.2 Ensayos de laboratorio.**

Los ensayos de laboratorio a realizados siguieron la metodología de instituto nacional de vías a través de sus normas de ensayo de construcción de carreteras la cual incluye la elaboración de especímenes (tipo Marshall) a los cuales se le realizará ensayos mecánicos tales como: flujo-estabilidad; vacíos, entre otros.



Se debió realizar ensayos a los materiales para caracterizar sus propiedades mecánicas para así establecer efectivamente una muestra patrón como punto comparación contra las otras muestras con adición de cemento portland.

- Pesos específicos y absorción (INVE – 222 -223)
- Equivalente arena (INVE – 133 )
- Índices de aplanamiento y alargamiento (INVE -230)
- Caras fracturadas ( INVE – 227 )
- Desgaste en la máquina de los ángeles (INVE -220)
- Estabilidad, flujo ( INVE – 748)

### 6.1.2.3 Procedimiento

- Para el estudio de la muestra patrón se acogió la granulometría normalizada para la mezcla asfáltica discontinua tipo MF10, en dicha mezcla cierta cantidad del contenido de finos que pasa por el tamiz N°230 se reemplazó determinados porcentajes de cemento portland, teniendo en cuenta que la normativa colombiana nos dice que, el mínimo de llenante de aporte necesario es el 50% del total de llenante que pasa por el tamiz N° 230 sin tener en cuenta el que queda adherido a la superficie de los áridos, y que este último no supere el 2 % de la masa total de la mezcla.
- Posteriormente se realizaron los ensayos mencionados en el inciso **6.1.2.2** para caracterizar los agregados pétreos utilizados.
- Se elaboraron 12 briquetas con distintos porcentajes de ligante para desarrollar el método MARSHALL, obtener la fórmula de trabajo y determinar el porcentaje óptimo de asfalto.
- Se elaboraron de 12 briquetas de mezcla MF10 con el porcentaje de asfalto óptimo determinado para porcentajes ascendentes de comento que varían como sigue 2%, 4% y 6%.



- Elaboración de briquetas de mezcla MF10 para determinar variación en porcentaje óptimo de asfalto a causa de la incorporación de cemento portland, porcentaje determinado para estudio de variación,  $\pm 0.5\%$  respecto al porcentaje de asfalto óptimo determinado, se realizaron 12 briquetas para cada porcentaje de asfalto.
- Elaboración de briquetas para establecer puntos de control con variación de  $\pm 1\%$  a partir del porcentaje óptimo de cemento determinado para cada una de las mezclas MF10 realizadas a diferentes porcentajes de asfalto, se realizaron 3 briquetas por cada punto de control.
- Comparación de los resultados obtenidos en el ensayo de la máquina Marshall realizado a las briquetas con adición de cemento contra aquellas que no tienen cemento como filler de aportación y analizar la variación de las muestras con cemento respecto a la muestra carente de este, en cuanto a propiedades mecánicas para así lograr la caracterización de dichas propiedades.

## **6.2 TECNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACION**

### **6.2.1 PROCESAMIENTO DE DATOS**

Los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio serán procesados por medio informático (computador) que con la ayuda de softwares se elaboraran las tablas y graficas pertinentes que muestren los resultados necesarios para un posterior análisis de las mezclas.

### **6.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Luego de que los datos estén procesados y organizados se procederá a realizar la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos flujo, estabilidad y demás; comparando estos valores con los normalizaos (INVIAS), para así determinar las variaciones en las propiedades mecánicas que se presentan entre las distintas muestras ensayadas.



#### **6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se realizara comparaciones entre mezclas asfálticas en caliente discontinuas sin modificar con cemento portland y mezclas modificadas. Para lograr esto analizara la variación de los resultados obtenidos en las pruebas hechas a la mezcla sin modificar contra los obtenidos de la mezcla modificada con cemento portland para a partir de esta comparación entre dichos resultados se podrá realizar la caracterización de las nuevas propiedades mecánicas de la muestra de mezcla asfáltica con adición de cemento. Dada esta caracterización será posible realizar una conclusión acerca de si dicha mezcla varía sus propiedades mecánicas de manera positiva o negativa con respecto a la mezcla patrón que es aquella sin modificar con cemento.

#### **7. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS DE LABORATORIO.**

A continuación explicaremos los ensayos de laboratorio requeridos y su procedimiento, para cumplir con el objeto de la investigación.

##### **7.1 Clasificación del agregado pétreo**

Este material fue obtenido de la planta de asfalto TORCOROMA, se clasificó de acuerdo a los tamaños de agregados estipulados por Instituto Nacional de Vías para una mezcla en caliente discontinua tipo MF10 ; se utilizaron los tamices de 1/2", 3/8", 5/16", #5, #10, #35, #230, posteriormente se depositó clasificado según su tamaño en taras de aluminio. La dosificación empleada para este tipo de mezcla es la siguiente: 65 % Gravilla tamaño 6-12 mm, 35 % Arena tamaño 0-3 mm, Filler de aportación cemento.

##### **7.2 Gradación del agregado pétreo**

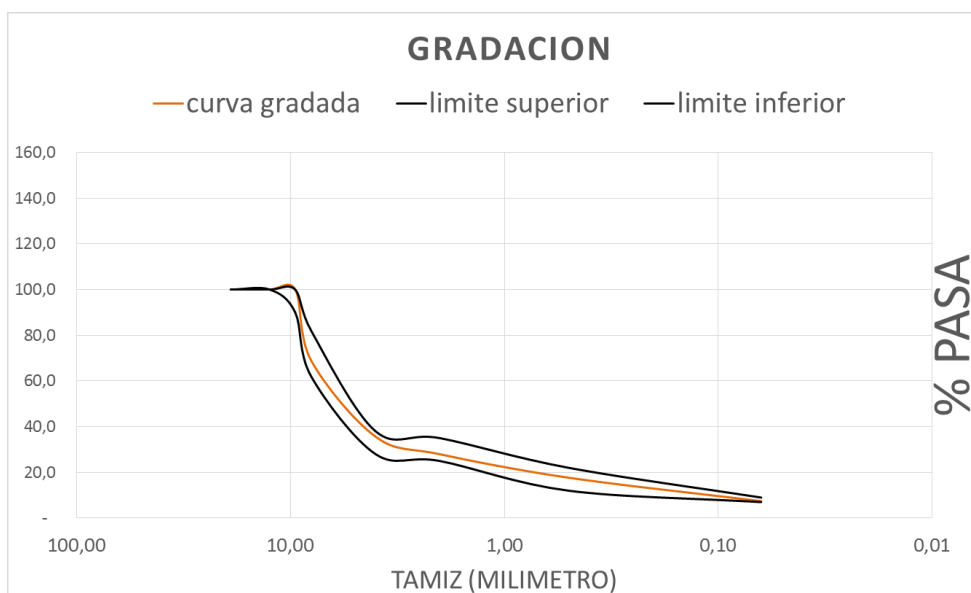
- Los resultados de la granulometría combinada de los áridos aparecen en la tabla siguiente en % que pasa por los tamices regulados en la norma INV E - 213-07.



**Tabla. Gradación de la mezcla resultante % que pasa por cada tamiz.**

Tamiz		Porcentaje (%) Pasa	Porcentaje (%) pasa limites MF 10	
Alterno	Normal			
3/4"	19,00	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,50	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,50	100,0	100,0	90,0
5/16"	8,00	69,0	82,0	62,0
# 5	4,00	35,6	38,0	28,0
# 10	2,000	27,9	35,0	25,0
# 35	0,500	17,7	22,0	12,0
# 230	0,063	7,4	9,0	7,0

**Ilustración. Curva de gradación agregados pétreos de la mezcla MF10.**



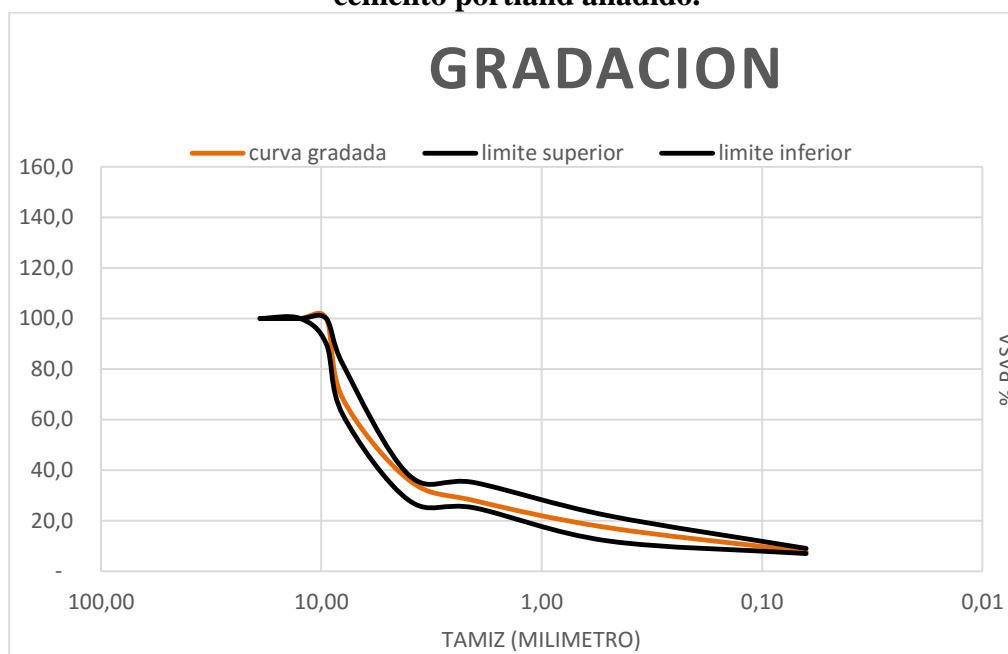
Se comprobó si la curva de gradación de la muestra se alteraba luego de la incorporación del cemento portland como filler de aportación; en la siguiente tabla y grafica se muestran los resultados obtenidos.



**Tabla. Gradación mezcla MF10 con adición de cemento portland**

GRADACION						
Peso No.1:		1200	Peso No. 2:		1.143,00	
Tamiz		Peso retenido	Porcentaje (%) Retenido	Porcentaje (%) Pasa	Porcentaje (%) pasa limites MF10	
Alternativo	Normal					
3/4"	19,00		-	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,50		-	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,50		-	100,0	100,0	90,0
5/16"	8,00	367,00	31,64	68,4	82,0	62,0
# 5	4,00	378,00	32,31	36,1	38,0	28,0
# 10	2,000	96,00	8,21	27,8	35,0	25,0
# 35	0,500	124,00	10,60	17,3	22,0	12,0
# 230	0,063	111,00	9,49	7,8	9,0	7,0
Fondo		67,00				

**Ilustración. Curva de gradación agregados pétreos de la mezcla MF10 con cemento portland añadido.**







### 7.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO

Se realizaron estos ensayos en el laboratorio de la Universidad de cartagena y se obtuvieron los siguientes resultados.

En la tabla N° 7 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes ensayos para caracterizar los agregados pétreos utilizados en esta investigación. Se asocia también la respectiva nomenclatura de la norma Invías usada.

**Tabla. Resultados de ensayos a los agregados pétreos.**

ENSAYO	NORMA	LIMITE	RESULTADOS
Peso específico y absorción de los agregados gruesos	I.N.V.E.-223		Peso específico=2.70g/cm <sup>3</sup> absorción=1.31%
Resistencia al desgaste de los agregados en la Máquina de los Ángeles	I.N.V.E. -218-07	25% Máximo para capa de rodadura.	Resistencia al desgaste = 23%
Sanidad de los agregados frente a la acción de las Soluciones de sulfato de Sodio o de magnesio	I.N.V.E.-220-07	12% Máximo	Sanidad de los agregados = 11,4%
Porcentaje de caras fracturadas de los agregados	I.N.V.E.-227-07	75% Mínimo.	% caras fracturadas = 99%
Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras.	I.N.V.E.-230-07	Aplanamiento 35% Máximo Alargamiento 35% Máximo.	Índice de aplanamiento= 29% Índice de alargamiento= 17%
Equivalente de arena.	I.N.V.E.-133	50% Mínimo.	Equivalente de arena=89%



#### 7.4 CARACTERÍSTICAS DE LIGANTE

El ligante utilizado es el betún AC-20 aditivado al 1%, suministrado por Manufacturas y Procesos Industriales Ltda. (MPI). Las características más significativas son los que aparecen a continuación resumidas en la siguiente tabla suministrada por el fabricante:

**Tabla. Características del asfalto o ligante AC-20 aditivado al 1%**

PROPIEDADES	NORMA DE REFERENCIA	ESPECIFICACIONES		REPORTE DE CONTROL DE CALIDAD
		MIN	MAX	
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg (mm/10)	ASTM D-5	60		60
Índice de penetración (ip)	INV E-724	-1,2	0,6	-0,70
Viscosidad Brookfield a 60 °C (P) aguja 27 torque >90%	ASTM D-4402	1600	2400	2166
Viscosidad 135°C (275°F), cSt	ASTM D-2170	300		320
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	ASTM D-113	REPORTAR		134,6
Perdida por calentamiento en película delgada a 163 °C 5 horas (%)	ASTM D-1754		1	0,34
Punto de chispa (°C)	ASTM D-92	232		302
Solubilidad en tricloroetileno (%)	ASTM D-2042	99		99,49
Peso específico	E-707			1,011
Contenido de agua (%)	ASTM D-95		0,2	0,0
Viscosidad Brookfield a 60 °C (P) de asfalto después de pérdida por calentamiento de película delgada	ASTM D-4402		10000	6955
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, (cm) después de pérdida por calentamiento de película delgada	ASTM D-113	50		110
Penetración del residuo después de la pérdida por calentamiento, % de penetración original	ASTM D-5	REPORTAR	REPORTAR	60,0



## 7.5 DISEÑO MARSHALL.

Para la elaboración del diseño Marshall, se pesaron 12 muestras de agregado pétreo, cada una con un peso total de 1200 gramos. Se tomaron cuatro porcentajes de cemento asfáltico desde 4,5% hasta el 6% (con respecto al peso total de la muestra) con incrementos del 0.5%, esto con el fin de encontrar el porcentaje óptimo de asfalto; para dicho fin fueron realizados cuatro series de muestras cada uno con tres briquetas para cada uno de los porcentajes de asfalto mencionados; el procedimiento de ensayo fue el siguiente:

Los agregados pétreos fueron llevados al horno a una temperatura de 150°C 24 horas antes de la mezcla con el fin de eliminar la humedad del material; en el momento de la mezcla los agregados debía mantener la temperatura y si no debía ser calentado en el fogón hasta volver a la temperatura establecida.

La temperatura de mezcla y compactación se determinó teniendo en cuenta la viscosidad del ligante asfáltico y fueron 140°C y 134°C respectivamente. La compactación se realiza con 50 golpes por cada cara de la biqueta. Tuvimos muy en cuenta el factor temperatura para no generar errores o desviaciones en la obtención de resultados en la densidad y estabilidad.

Luego de haber sido realizadas las briquetas se tomaron seis alturas a cada una, con el fin de hacer un promedio con los valores medidos; luego de esto se prosigue a tomar para cada biqueta el peso seco al aire, el peso de la muestra parafinada y el peso de la muestra parafinada sumergida, para obtener el análisis volumétrico del ensayo; luego de tomar estos pesos se prosigue a quitarle la parafina a las briquetas para sumergirlas en el baño maría a una temperatura de 60°C por 30 a 40 minutos.

Por último son falladas las muestras en el aparato Marshall teniendo muy en cuenta, que cada ensayo no debe demorar más de 30 segundos.

El ensayo Marshall arrojó las siguientes características principales las cuales se encuentran resumidas en la tabla mostrada a continuación (para ver los cálculos realizados para determinar las características Marshall. **ver anexo**



Dato	Unidades	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
L/Árido	%	4,5	5	5,5	6
L/mezcla	%	4,21	4,66	5,10	5,64
Densidad	gr/ cm <sup>3</sup>	2,294	2,340	2,352	2,339
Dens. Áridos	gr/ cm <sup>3</sup>	2,7			
Dens. Ligante	gr/ cm <sup>3</sup>	1,011			
H. mezcla	%	7,9	5,4	4,3	4,2
H. árido	%	19,5	18,2	18,2	19,0
Estabilidad	KN	8	9	9,5	8,8

Tabla # 8

Resumen de resultados obtenidos en el ensayo Marshall.

## 7.6 PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE.

A la vista de los resultados obtenidos (representados en los gráficos siguientes), se consideró como óptimo de ligante el 5,5 % sobre el peso de los áridos que corresponde con un 5.1 % sobre el peso de la mezcla.

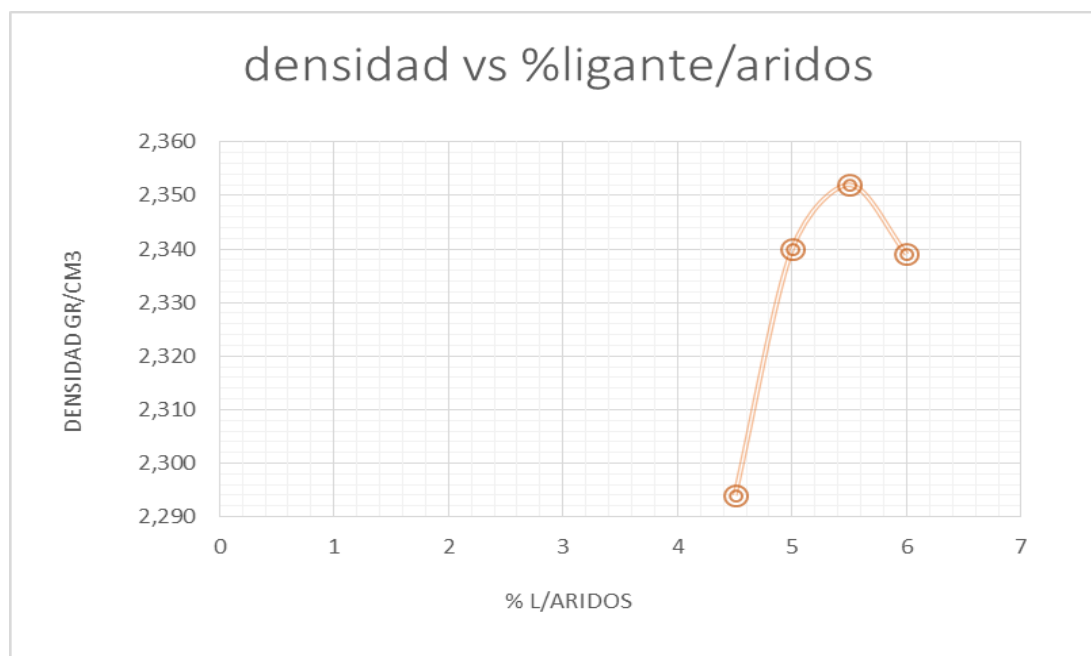


Ilustración : curva de densidad de mezcla vs % de ligante sobre el peso de los áridos o agregados pétreos

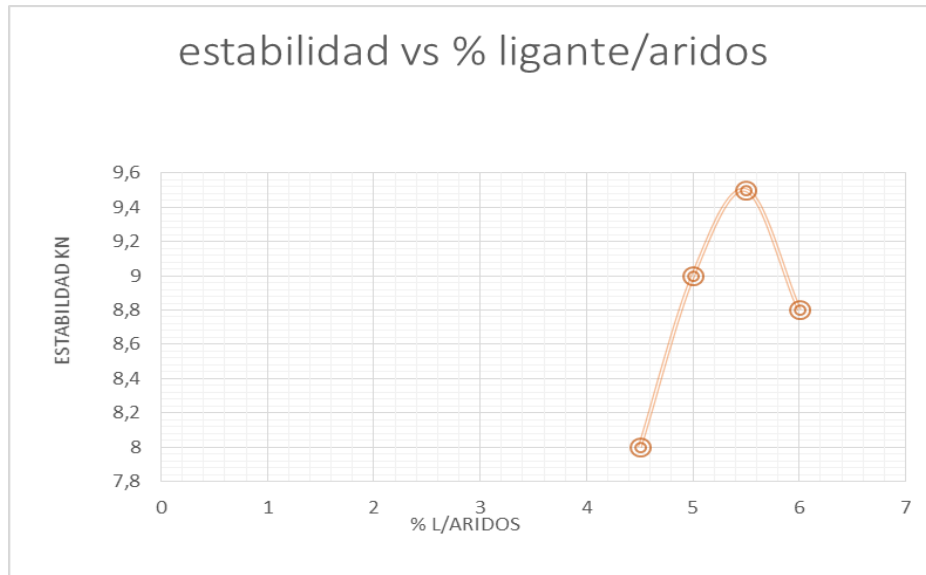


Ilustración: curva de estabilidad de la mezcla vs % de ligante sobre el peso de los áridos o agregados pétreos

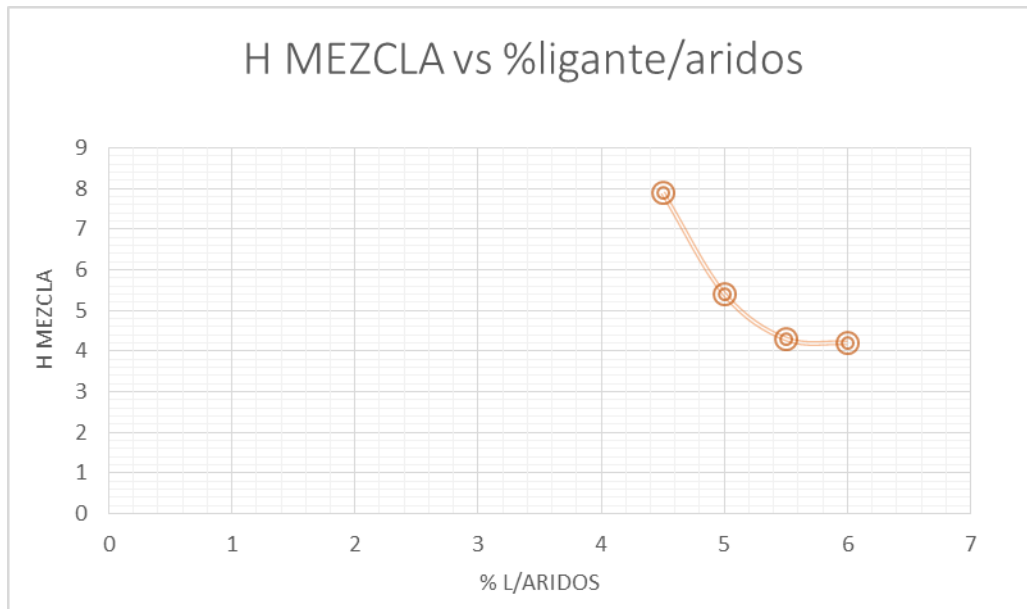


Ilustración : curva de huecos de la mezcla vs % de ligante sobre el peso de los áridos o agregados pétreos

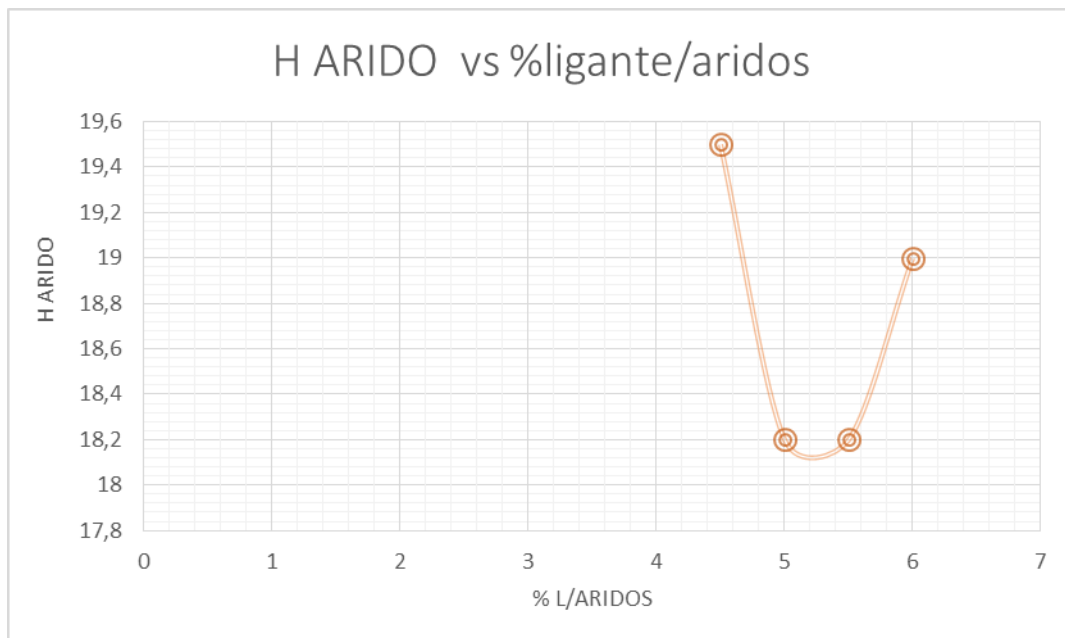


Ilustración : curva de huecos en el árido vs % de ligante sobre el peso de los áridos o agregados pétreos

### 7.7 REALIZACIÓN DE LA MEZCLA MF10 CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND AL 0, 2, 4, 6 %.

Luego de haber obtenido el porcentaje óptimo de asfalto, se pesaron 12 muestras de agregado pétreo, cada una con un peso total de 1200 gramos. Se tomaron cuatro porcentajes de cemento portland mencionados al inicio del inciso (con respecto al peso total de la muestra de agregados pétreos), esto con el fin de encontrar una variación significativa en el comportamiento de la propiedades mecánicas de la mezcla; para dicho fin fueron realizados cuatro series de muestras cada uno con tres briquetas para cada uno de los porcentajes de cemento propiamente mencionados; el procedimiento de ensayo fue el siguiente:

Los agregados pétreos fueron llevados al horno a una temperatura de 150°C 24 horas antes de la mezcla con el fin de eliminar la humedad del material, luego pasadas las 24 horas y sin presencia de humedad para que no reaccione con el cemento se tamizan cada una de las muestras por el tamiz N°230 y se intercambia el material que pasa por el tamiz con el cemento portland de acuerdo a los porcentajes requeridos para cada serie de muestras; en el momento de la mezcla los agregados debían mantener la



temperatura y si no debía ser calentado en el fogón hasta volver a la temperatura establecida.

La temperatura de mezcla y compactación se determinó teniendo en cuenta la viscosidad del ligante asfáltico y fueron 140°C y 134°C respectivamente. La compactación se realiza con 50 golpes por cada cara de la briqueta. Tuvimos muy en cuenta el factor temperatura para no generar errores o desviaciones en la obtención de resultados en la densidad y estabilidad.

Luego de haber sido realizadas las briquetas se tomaron seis alturas a cada una, con el fin de hacer un promedio con los valores medidos; luego de esto se dejaron reposar la briquetas por 24h para su posterior extracción de los cilindros de compactación; al pasar las 24 h se realizó la extracción de cada briqueta y se tomó para cada briqueta el peso seco al aire, el peso de la briqueta sumergida en agua y el peso de la briqueta superficialmente seca, para obtener el análisis volumétrico del ensayo; luego de tomar estos pesos se prosigue a sumergirlas en el baño maría a una temperatura de 60°C por 20 minutos. Por último son falladas las muestras en el aparato Marshall teniendo muy en cuenta, que cada ensayo no debe demorar más de 30 segundos.

### **7.8 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYOS EN LA MAQUINA MARSHALL (ESTABILIDAD Y FLUJO) PARA MUESTRAS A 0, 2, 4 Y 6 PORCIENTO DE CEMENTO.**

Para el análisis de estabilidad y flujo se dibujan los siguientes gráficos según el contenido de cemento:

Estabilidad vs. % de cemento portland

Flujo vs. % de cemento portland

El procedimiento detallado de cada uno de los cálculos realizados se encuentra en el anexo 2.

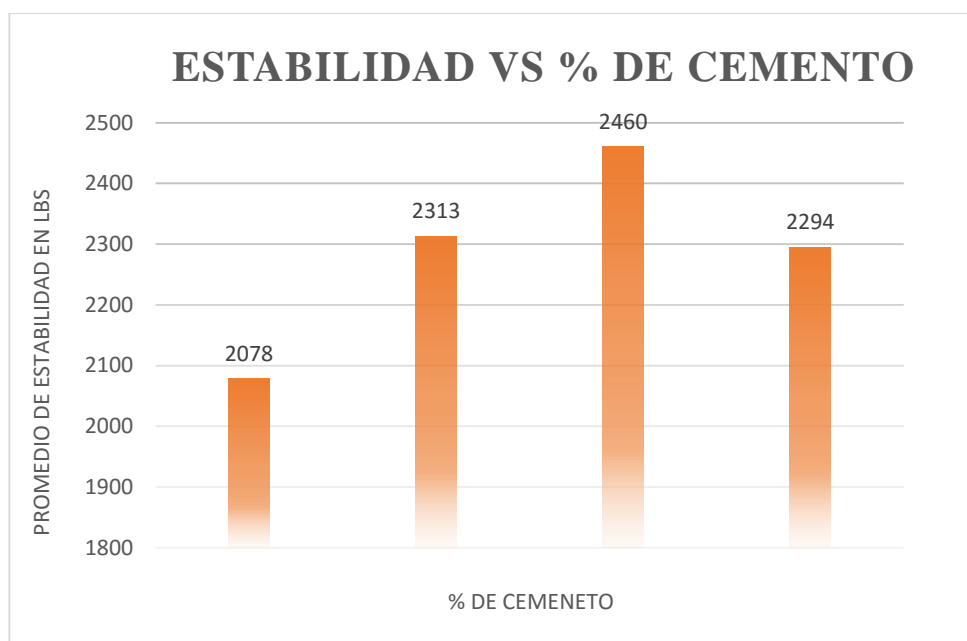
Este es el resumen de los resultados obtenidos de la caracterización de mezclas asfálticas según el porcentaje añadido de cemento.



**Tabla. Estabilidades corregidas de briquetas a diferentes porcentajes de cemento.**

% DE CEMENTO	ESTABILIDAD CORREGIDA EN LBRAS			
	BRIQUETA 1	BRIQUETA 2	BRIQUETA 3	PROMEDIO
SERIE 0%	1943	2070	2220	2078
SERIE 2%	2486	2112	2340	2313
SERIE 4%	2299	2442	2519	2460
SERIE 6%	2134	2323	2425	2294

**Ilustración. Diagrama de Promedio estabilidades contra % de cemento.**

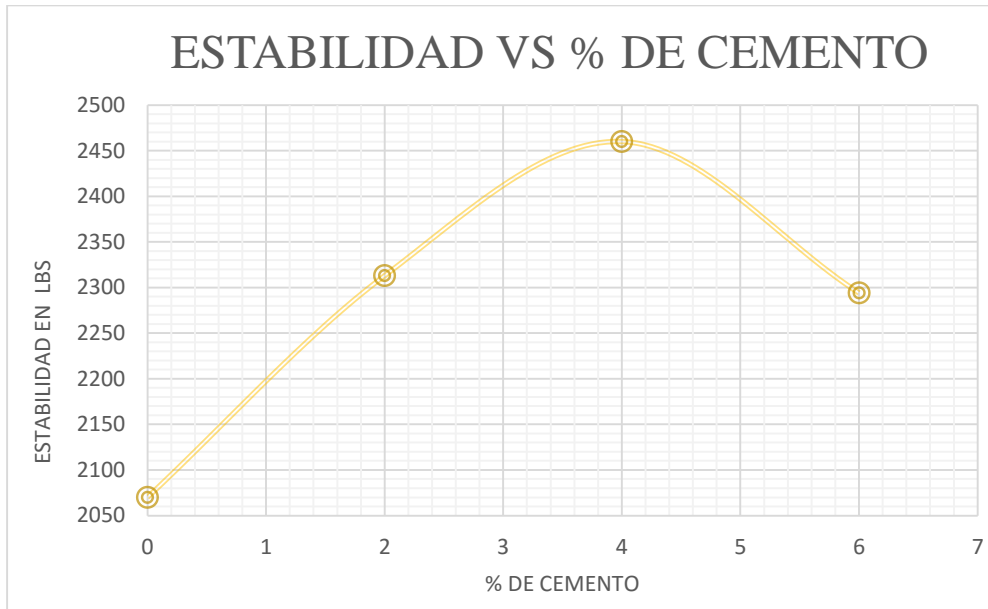


Como se observa en los resultados obtenidos se muestra un comportamiento ascendente de la estabilidad a medida que se aumenta el porcentaje de cemento, (es decir que a mayor porcentaje de cemento mayor estabilidad), en la mezcla hasta el 4%, a partir de este porcentaje la estabilidad comienza a mostrar un comportamiento descendente contrario al mostrado con porcentajes menores de llenante de aporte, dicho comportamiento puede ser observado de mejor manera en la siguiente ilustración:





**Ilustración. Grafica estabilidades vs % de cemento**



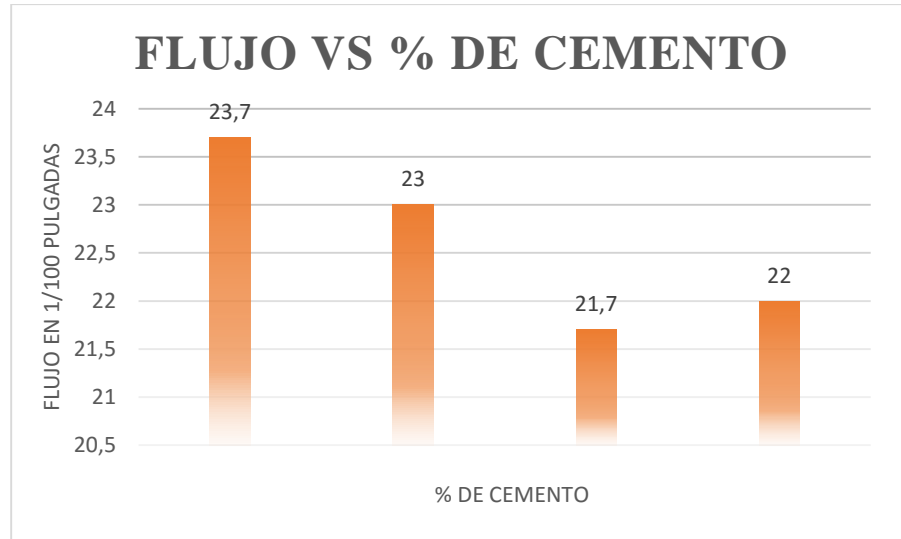
Se observó que hay un comportamiento parabólico entre la estabilidad y el porcentaje de cemento en donde el porcentaje de cemento agregado a la mezcla que representa un mejor valor de estabilidad es el 4% pues es de fácil apreciación observar que a partir de este porcentaje disminuyen los valores de estabilidad y esto es debido a que a mayor concentración de cemento el mástic producido por la mezcla entre el llenante de aporte y el ligante se rigidiza en exceso ocasionando que ocurra una falla de la briqueta de ensayo a valores menores de estabilidad.

**Tabla. Flujo de briquetas a diferentes porcentajes de cemento.**

% DE CEMENTO	FLUJO EN 1/100 PULGADAS			
	BRIQUETA 1	BRIQUETA 2	BRIQUETA 3	PROMEDIO
0	24	25	22	23,7
2	22	26	21	23
4	21	22	22	21,7
6	23	22	21	22



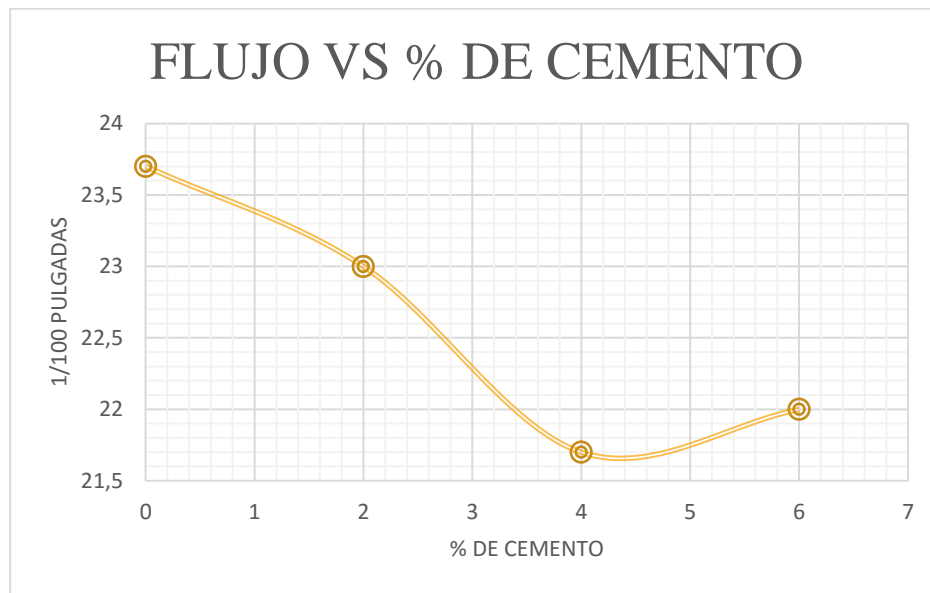
**Ilustración. Diagrama de comparación entre flujo y porcentajes de cemento.**



Como era de esperarse un comportamiento conlleva a otro, si bien es claro se sabe que el flujo es la medida de deformación que se obtiene cuando en la maquina Marshall se aplica la fuerza máxima admisible por la muestra ensayada, los datos anteriores muestran un comportamiento descendente en estas deformaciones a medida que aumenta el porcentaje de cemento se normaliza en el 4% y comienza a ascender de nuevo lo cual indica que tiene un comportamiento parabólico que se puede observar mejor en la ilustración siguiente.



**Ilustración. Grafica de comportamiento del flujo contra porcentaje de cemento.**



**7.9 INTERVALO DE CONTROL PARA VERIFICAR PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO.**

Con los resultados anteriormente obtenidos queda claro que el porcentaje optimo de cemento portland que se debe adicionar, a la mezcla asfáltica realizada con 5.5% de asfalto el cual se determino es el porcentaje de asfalto optimo, es de 4% de cemento sobre el peso de los aridos, ahora bien puesto que los intervalos en el estudio primario son amplios se realizo un intervalo de control en los porcentajes de 3 y 5 porciento los cuales correspondes a  $\pm 1\%$  respecto al porcentaje de cemento optimo que arrojan los resultados para corroborar si efectivamente el 4% de cemento corresponde al porcentaje optimo de cemento requerido para proporcionar mejoras mecánicas a la mezcla, los resultados del intervalo de control fueron los siguientes:

**Ilustración. Tabla de estabilidades corregidas para intervalo de control, mezcla con 5,5% de asfalto**

% DE CEMENTO	ESTABILIDAD CORREGIDA EN LBRAS			
	BRIQUETA 1	BRIQUETA 2	BRIQUETA 3	PROMEDIO
3	2400	2153	2530	2361
5	2225	2432	2501	2386



**Ilustración. Tabla de flujos arrojados por muestras ensayadas para intervalo de control de mezcla MF 10 al 5.5% de asfalto**

% DE CEMENTO	FLUJO EN 1/100 PULGADAS			
	BRIQUETA 1	BRIQUETA 2	BRIQUETA 3	PROMEDIO
3	23	21	22,9	22,3
5	21	22	22,7	21,9

Los resultados mostraron claramente que el porcentaje óptimo efectivamente es 4 por ciento, siendo la estabilidad obtenida en ese porcentaje adicionado de cemento mayor a la obtenida en los porcentajes de 3 y 5 por ciento.

**7.10 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYOS EN LA MAQUINA MARSHALL (ESTABILIDAD Y FLUJO) PARA MUESTRAS A 0, 2, 3, 4, 5 Y 6 PORCIENTO DE CEMENTO, 5% Y 6% DE ASFALTO.**

Puesto que la incorporación de cemento portland a la mezcla pudo ocasionar una leve variación en la granulometría de esta, es posible que el porcentaje óptimo de asfalto hallado anteriormente fluctuara hacia un mayor o menor porcentaje debido a esto se determinó realizar un intervalo de variación en un porcentaje de 0,5 por encima y por debajo del porcentaje óptimo de asfalto existente, es decir se escogieron unos nuevos porcentajes de asfalto de 5% y 6%, con los cuales se realizaron los mismos ensayos de estabilidad y flujo anteriormente descritos para el porcentaje óptimo hallado inicialmente, con lo cual se pudo determinar si existía o no una variación en la cantidad ideal de asfalto que se debía agregar a la mezcla modificada con cemento para lograr un comportamiento ideal, los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo realizados a las briquetas con 5% de asfalto sobre el peso de los áridos y variaciones de porcentajes de cemento en 2,3,4,5 y 6 así como las del 6 % de asfalto sobre el peso de los áridos con las mismas variaciones de cemento gris en las briquetas ensayadas se muestran a continuación. Cabe resaltar que el procedimiento para la elaboración de la mezcla y briquetas del intervalo de variación es idéntico al que se utilizó para realizar la mezcla modificada con cemento y las briquetas con el porcentaje óptimo de asfalto hallado inicialmente.



Para el análisis de estabilidad y flujo se dibujan los siguientes gráficos según el contenido de cemento:

Estabilidad vs. % de cemento portland

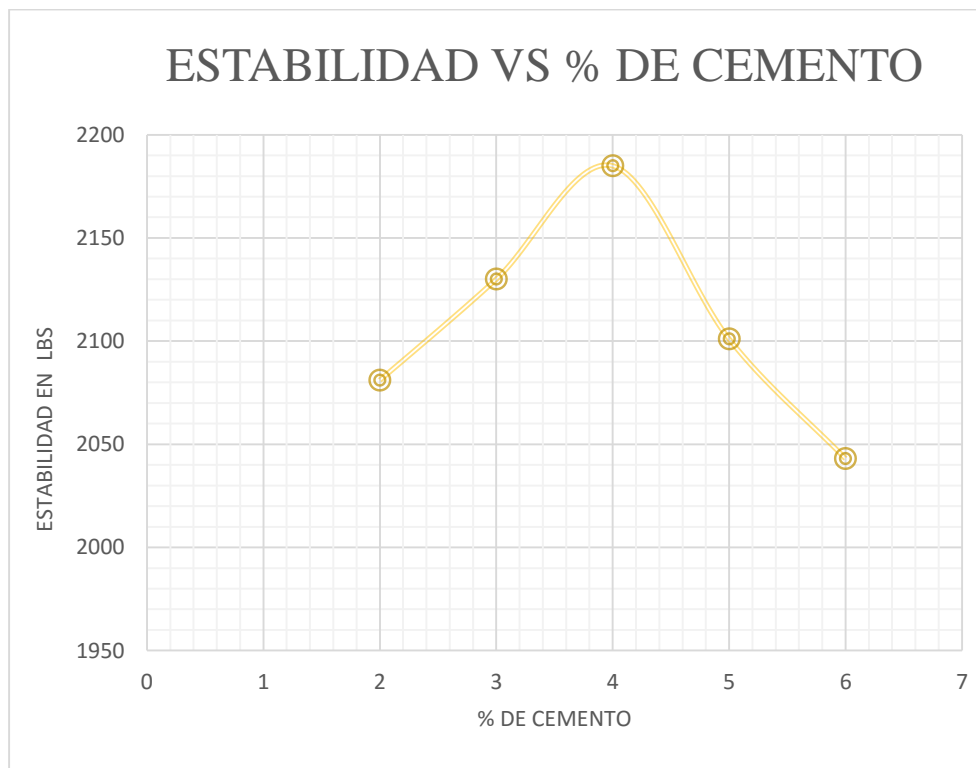
Flujo vs. % de cemento portland

El procedimiento detallado de cada uno de los cálculos realizados se encuentra en el anexo 2.

Este es el resumen de los resultados obtenidos de la caracterización de mezclas asfálticas según el porcentaje añadido de cemento.

### 7.10.1 Resultados para mezcla con 5% de asfalto.

**Ilustración. Grafica estabilidades vs % de cemento para 5%asfalto**

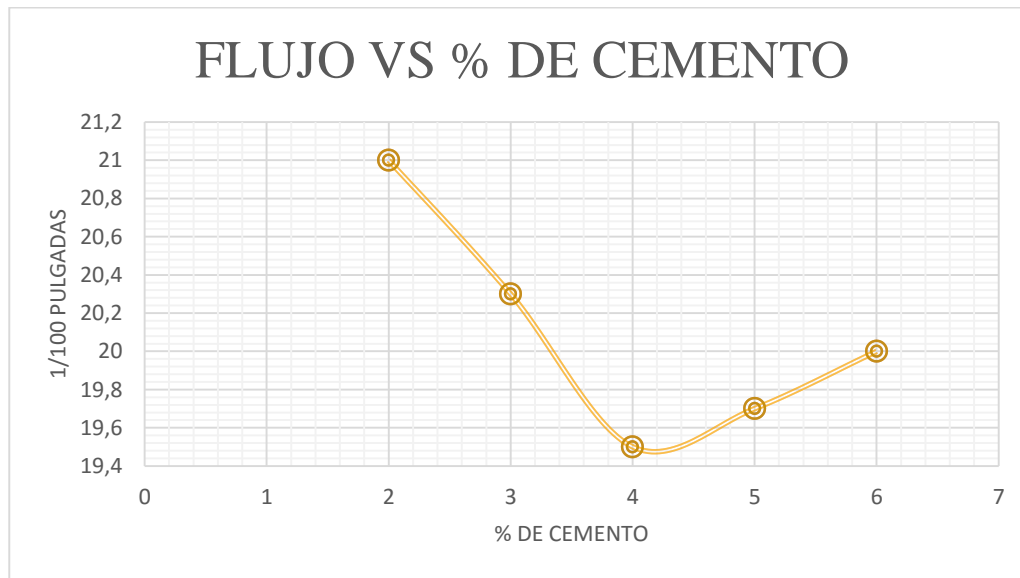


A partir de los anteriores resultados quedó claro que el comportamiento de la mezcla con 5% de asfalto fue similar al del 5.5% el cual se consideró como porcentaje óptimo, sin embargo a pesar de su similitud en comportamiento y que la mayor resistencia



arrojada por la maquina Marshall al ensayar la mezcla corresponda a una adición del 4% de cemento igual que para la mezcla que se realizó con porcentaje óptimo de asfalto, se encontró con que las estabilidades arrojadas en los resultados de las muestras ensayadas son menores para la mezcla de 5% que para la mezcla con porcentaje óptimo de asfalto usado, como valor de referencia se toma que la estabilidad más alta para ambas mezclas la cual es la hallada en las muestras con 4 % de cemento adicionado siendo la estabilidad de la mezcla de 5.5 % de asfalto, (2460 Lb) mayor en un 11% que la estabilidad de la mezcla con 5 %, (2185 Lb).

**Ilustración. Grafica de comportamiento del flujo contra porcentajes de cemento, para mezcla con asfalto al 5%.**



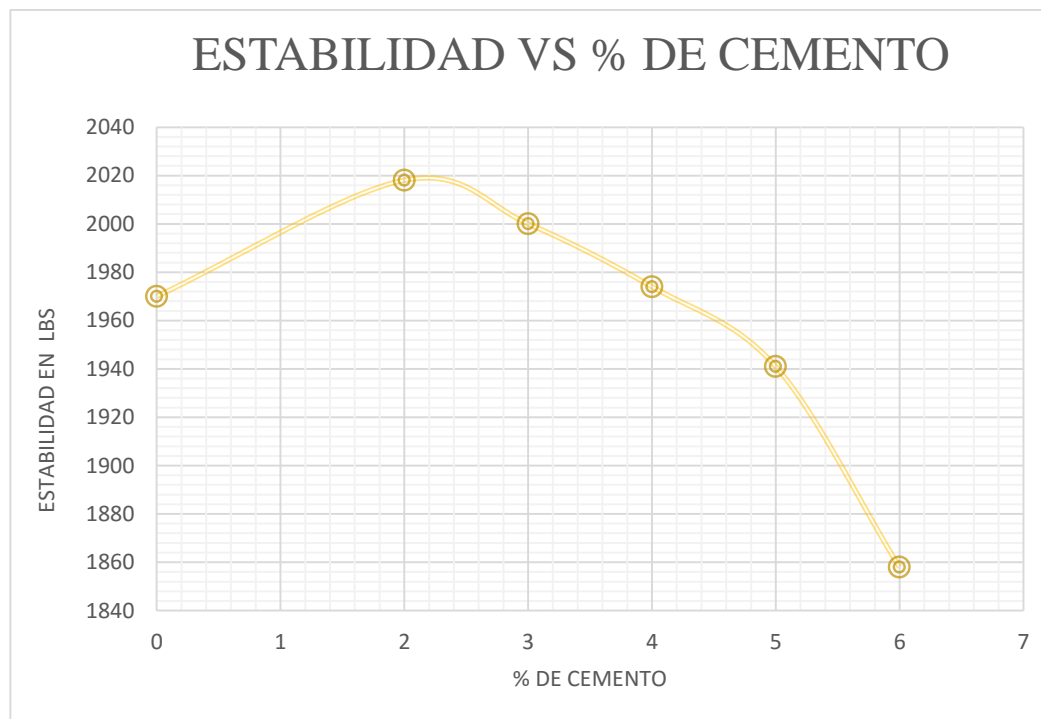
El flujo de igual manera se comporta similar a la mezcla con porcentaje optimo, pero estos resultados arrojaron valores menores de flujo para las muestras de mezcla con 5% de asfalto lo cual quiere decir que su deformación fue menor antes de fallar, por tanto se deduce que el cemento agregado a las muestras modifica la mezcla con un comportamiento similar sin embargo lo que ocasiona una menor resistencia en la estabilidad y poca deformación a la hora de fallar es decir carencia de flexibilidad es que el porcentaje de asfalto de 5% no es suficiente para envolver la superficie



especifica de los agregados pétreos dejando vacíos de ligante en la mezcla ocasionando que esta falle a una menor resistencia y reduzca su flexibilidad de manera significativa.

### 7.10.2 Resultados para mezcla con 6% de asfalto.

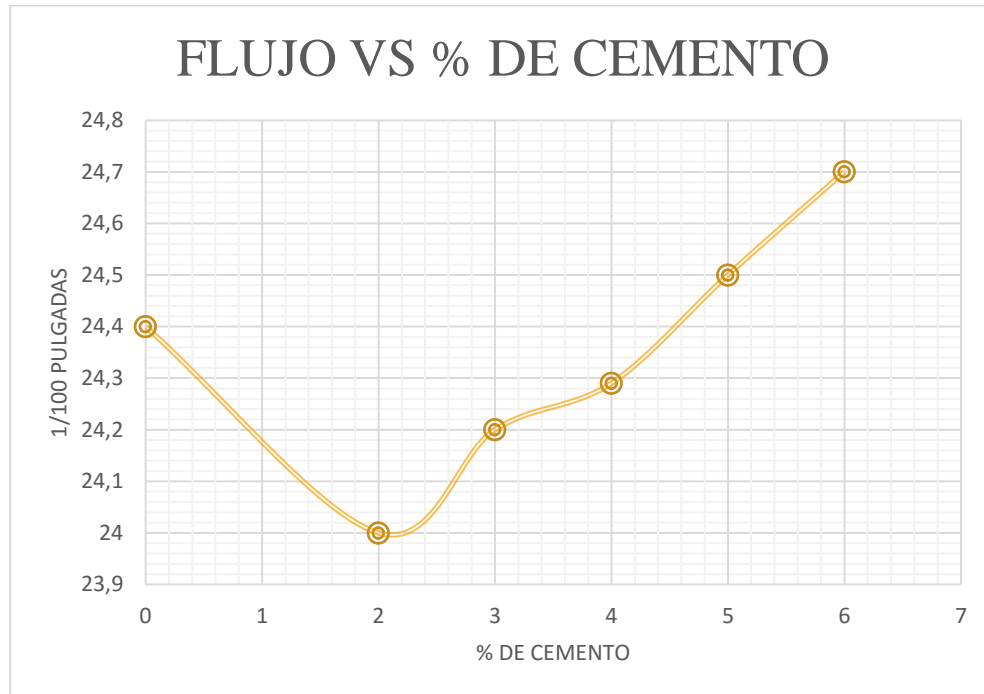
**Ilustración. Grafica estabilidades vs % de cemento para 6%asfalto**



Para el 6 % de asfalto la parábola descrita por la estabilidad alcanzada contra los porcentajes de cemento muestra que la máxima estabilidad es alcanzada por la muestra de porcentaje de cemento al 2 % lo cual mostró que para porcentajes de asfalto mayores al optimo el cemento portland trabaja de manera más eficaz en porcentajes pequeños.



**Ilustración. Grafica de comportamiento del flujo contra porcentaje de cemento, para mezcla con asfalto al 6 %.**



En cuanto a los valores de flujo arrojados por el ensayo Marshall para las briquetas con cemento adicionado hechas de mezcla MF10 al 6% de cemento asfaltico se observan grandes deformaciones contra poca resistencia en la estabilidad, estos resultados mostraron que un exceso en la cantidad de ligante ocasiona un baja resistencia a la mezcla y una muy poca resistencia a la deformación permanente o ahuellamientos también se observó a simple vista que sobre las muestras al momento de ensayarlas sobresalía una capa fina y brillante de asfalto, indicativo que se había presentado el fenómeno conocido como exudación de ligante, el cual se presenta cuando hay un exceso de cemento asfaltico en la mezcla.





### 7.11 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA MUESTRAS DE MEZCLA MF10 CON VARIACIÓN EN LOS PORCENTAJES DE CEMENTO Y PORCENTAJES DE ASFALTO.

**Tabla. Cuadro comparativo de estabilidades de muestras a distintos porcentajes de cemento y asfalto.**

% DE CEMENTO	RESUMEN DE ESTABILIDADES CORREGIDA EN LBRAS		
	% ASFALTO		
	5	5,5	6
2	2081	2313	2018
3	2130	2361	2000
4	2185	2460	1974
5	2101	2386	1941
6	2043	2294	1858

**Tabla. Cuadro comparativo del flujo de muestras a distintos porcentajes de cemento y asfalto.**

% DE CEMENTO	RESUMEN DE FLUJO EN 1/100 PULGADAS		
	% ASFALTO		
	5	5,5	6
2	21	23	24
3	20,3	21,7	24,2
4	19,5	21,7	24,3
5	19,7	21,9	24,5
6	20	22	24,7

Con base en los cuadros comparativos anteriormente mostrados quedo claro que, la mezcla con el mejor comportamiento fue la realizada con el porcentaje optimo determinado inicialmente el cual corresponde a 5.5% de asfalto sobre el peso de los áridos de la mezcla, y efectivamente se esclarece que el porcentaje óptimo de cemento portland es 4%.



## 8. ANALISIS DE RESULTADOS.

- 1) Con base a los ensayos de laboratorio realizados a los agregados pétreos extraídos de la planta de asfalto TORCOROMA, se deduce que estos son aptos para la elaboración de mezclas asfálticas discontinuas en caliente, debido a que cumplen con todos los requerimientos de calidad exigidos en las Normas de Construcción de carreteras del INVÍAS : Peso específico y absorción de los agregados finos, Peso específico y absorción de los agregados gruesos, resistencia al desgaste de los agregados en la Maquina de los Ángeles, Sanidad de los agregados frente a la acción de las Soluciones de sulfato de Sodio o de magnesio, Porcentaje de caras fracturadas de los agregados, Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras, Equivalente de arena.
- 2) Luego de realizado el procedimiento de Diseño Marshall y teniendo en cuenta el valor mínimo de Estabilidad que regula la norma (7.5 KN), se obtuvieron resultados muy satisfactorios por encima de este valor (9.5 KN) para el porcentaje óptimo de asfalto (5.5%), lo cual indica que la mezclas después de realizada adquiere un comportamiento excelente esto debido a la excelente calidad que presenta el agregado pétreo de la planta de asfalto TORCOROMA.
- 3) Respecto al flujo, para el porcentaje óptimo de asfalto que fue 5.5% obtuvimos un valor de 21.7, lo que quiere decir que la mezcla al momento de ser cargada por las solicitudes del tráfico, presentará un muy bajo nivel de ahuellamiento.
- 4) En los cálculos que corresponden al diseño Marhall para encontrar el contenido óptimo de asfalto, se pudo observar que el porcentaje de absorción de la mezcla disminuye a medida que aumenta el porcentaje de asfalto añadido, se puede decir que existe una mayor película de asfalto en aquellas briquetas con mayor porcentaje



- de este lo que trae como consecuencia un mayor valor de flujo y por ende una mayor deformación.
- 5) Se pudo observar que la estabilidad de las briquetas con adición de cemento portland aumentó hasta el 4 % de adición de cemento y luego disminuyó, se debe a que el proceso de rigidizado del mastic provocado por el filler de aportación causó un endurecimiento de tal forma que la mezcla pierde propiedades que la hacen comportarse como un material flexible causando una reducción en la estabilidad de las muestras pasado el 4% de cemento.
  - 6) Para verificar que efectivamente el porcentaje óptimo de cemento es 4% se realizaron ensayos  $\pm 1\%$  tomando como punto medio el porcentaje optimo a verificar esto mostró que efectivamente puesto que los valores de estabilidad y flujo, 2460 y 21,7 respectivamente obtenidos para el 4% son mayores que los obtenidos para os puntos de control los cuales son 3 y 5 porciento.
  - 7) En orden de comprobar si el porcentaje óptimo de asfalto fue constante al adicionar el cemento portland, se realizó un intervalo de control  $\pm 0.5\%$  sobre el porcentaje óptimo de asfalto establecido de 5.5% y se encontró que las estabilidades de las briquetas hechas con mezcla al 5 y 6 porciento de asfalto adicionadas con cemento portland en los porcentajes determinados son menores a las estabilidades obtenidas en el ensayo a las mezclas con el porcentaje óptimo de asfalto y adición de cemento.



## 9. CONCLUSIONES.

1) Como lo muestran las gráficas en términos generales, el comportamiento de la mezcla con adición de cemento portland mostró un mejor comportamiento en el ensayo de la estabilidad y flujo que la muestra patrón sin adición de cemento lo que se puede concluir que el cemento portland mejoró las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica discontinua tipo MF10 brindándole mayor estabilidad a medida que aumenta el porcentaje llegando a un porcentaje óptimo de 4% de cemento adicionado puesto a partir de este porcentaje las propiedades mejoradas decaen nuevamente.

2) Los resultados obtenidos de flujo muestran una clara tendencia para poder determinar una mejora o desmejora comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas a medida que aumenta el porcentaje de llenante de aporte, y como los muestran las gráficas se observa que el flujo a medida que se acerca al porcentaje óptimo de cemento el cual es 4 % disminuye indicando una mejor respuesta de la mezcla contra deformaciones permanentes o ahuellamientos.

3) Como se muestra en las gráficas, el agregar cemento portland como llenante de aporte, supone una rigidización del Mastic de la mezcla haciendo que esta mejore su comportamiento mecánico mientras se aproxima al porcentaje de cemento optimo ( 4%); después de rebasado este porcentaje se observa un cambio en el comportamiento de las propiedades mecánicas disminuyendo la estabilidad y aumentando el flujo queriendo decir esto que después del porcentaje óptimo de filler de aportación la mezcla se rigidiza en exceso volviéndola frágil y que falle a menores esfuerzos.

4) Es necesario continuar con investigaciones respecto a las mezclas asfálticas discontinuas en caliente y realizar ensayos dinámicos con el fin de evaluar los efectos de agregar cemento con el fin de representar la situación real a la que está sometido una estructura de pavimento.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- aenor. ( 2013). mezclas sma de la familia de la norma une en 13108-5 que sean sostenibles y medioambientalmente amigables.
- aerocali s.a. (s.f.). [www.infraestructura.org.co, html](http://www.infraestructura.org.co/html). recuperado el 10 de mayo de. (s.f.).
- ARIZA, H. L., & RINCÓN SOLANO, A. J. (2011). evaluación de las propiedades físicas de un cemento asfáltico 60/70 modificado con residuos de la fabricación de productos con polietileno de baja densidad .
- ASEFMA. (2012). diseño de mezclas smas, como capa de rodadura e intermedia, para su empleo en españa.
- borre, e. c. ( 2005). mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso de la cal como llenante . *universidad de cartagen*.
- BUSTOS, G. ( JULIO DE 2002). pliego de prescripciones tecnicas generales para obras de carreteras y puentes.
- CARABALLO, M. P., & CERVANTES MARTINEZ , D. (2008). mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso de microaglomerados. *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA* .
- CARRASCO, P. (2010). mezclas bituminosas aeroportuarias conformes a la normativa europea. revista técnica de la asociación española de la carretera.issn 0212- 6389 n° 171, 18-28. .
- CARRETEROS. (2004). [http://www.carreteros.org/normativa/pg3/articulos/5/iv/a\\_543c.htm](http://www.carreteros.org/normativa/pg3/articulos/5/iv/a_543c.htm).
- CARTAGENA, U. D. (2013). INFLUENCIA DE CENIZAS DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y RESTOS DE LLANTAS COMO AGREGADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.
- CERTIFICACION, A. E. (2007). mezclas bituminosas. especificaciones de materiales: parte 2: hormigón asfáltico.
- COLOMBIA, A. D. (2004). Cartilla del pavimento asfáltico. cartilla del pavimento asfáltico.
- CONELSAN. (2008). curso de diseño, fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas.
- COSTA, A. (2011). mezclas en caliente: capas finas y ultrafinas. madrid: asfaltos y construcciones .
- escobar, c. e., & contreras contre, v. (2008). mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso del cemento como llenante. *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA 2013*.
- estudio de las mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con desechos de llantas. ( 2002). *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, BOGOTA D.C* .
- FERNÁNDEZ, C. (2007). formulación de un proyecto de seguimiento para carpetas de rodadura de microaglomerado discontinuos en caliente. *SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILLE*.



- GÓMEZ. (2010). repavimentación pista (rw 01/19) del aeropuerto internacional alfonso bonilla aragon.
- GONZALEZ, M. C., & VELES , A. ( 2008,). incidencia del mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso de residuo de trituracion calizo como llenante . *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA* .
- HERNANDEZ, D. A., & ARROYO ORTIZ. , A. (008). mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso de residuo de trituracion calizo como llenante. *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA*.
- JIL, L. F., & REYES, S. (2009). estudio del comportamiento de los microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente aplicados en chile y revisión de su normativa actUal.
- MARRUGO, O. C., & MERCADO SARMIENTO, R. (s.f.). estudio sobre mezclas asfálticas discontinuas y su aplicabilidad en superficie de rodadura. caso pista de aterrizaje aeropuerto internacional rafael nuñez de la ciudad de cartagena. *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA*.
- OLIVARES, C. F. (2007). formulacion de un proyecto de seguimiento para carpetas de rodaduras de microaglomerados discontinuos en caliente. *SANTIAGO DE CHILE*.
- PÁRAMO, J., DANIEL , M., & ANDREONI, R. (s.f.). mezclas asfálticas elaboradas en frío. utilización de emulsiones modificadas e incorporación de fibras de celulosa.
- ROMERO, C. D., & JARA PINEDA, F. (s.f.). analisis fisico-mecanicodel cemento asfaltico modificado con caucho industrial . *universidad católica de colombia*.
- ROMERO, C. D., & PINEDA, F. E. (s.f.).
- VÁZQUEZ, J. C. (2008). análisis del sistema casaa (carpeta asfáltica superficial altamente adherida) para el mejoramiento de la calidad de los pavimentos asfálticos . *CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F.*



## ANEXOS

### Anexo 1

#### *Ensayo Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto (4,5%)*

E N S A Y O      M A R S H A L L																						
Peso especifico agregados para Diseno Gg= <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,546</span>										Peso especifico del asfalto Ga= <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,0188</span>												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo		
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregados	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	100(b/Ga-10	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gq	100-i-j	100-i	100-(q/h)*1	i/100	(q*62.4)		(tabla)	(q*c)		(dial)	
1	4,5	0,96	1227,0	1232,3	709,0	523,3	2,345										822	1808	1736		16	
2	4,5	0,86	1220,0	2225,0	704,0	1521,0	0,802										832	1830	1574		15	
3	4,5	1,09	1119,0	1223,5	7001,2	-5777,7	-0,194										840	1848	2014		16	
							<b>0,984</b>	<b>2,385</b>	<b>2,444</b>	<b>4,3</b>	<b>36,9</b>	<b>58,7</b>	<b>63,1</b>	<b>59,7</b>	<b>6,9</b>	<b>61,4</b>					<b>1775</b>	<b>15,7</b>

#### *Ensayo Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto (5%)*

E N S A Y O      M A R S H A L L																						
Peso especifico agregados para Diseno Gg= <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,546</span>										Peso especifico del asfalto Ga= <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,0188</span>												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo		
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregados	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	100(b/Ga-10	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gq	100-i-j	100-i	100-(q/h)*1	i/100	(q*62.4)		(tabla)	(q*c)		(dial)	
1	5,0	0,93	1250,0	1257,0	715,0	542,0	2,306										971	2136	1987		16	
2	5,0	0,93	1243,0	1248,5	709,0	539,5	2,304										978	2152	2001		15	
3	5,0	0,93	1253,0	1260,0	717,8	542,2	2,311										969	2132	1983		16	
							<b>2,307</b>	<b>2,368</b>	<b>2,420</b>	<b>11,3</b>	<b>86,1</b>	<b>2,6</b>	<b>13,9</b>	<b>4,7</b>	<b>81,4</b>	<b>144,0</b>					<b>1990</b>	<b>15,7</b>



*Ensayo Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto (5,5%)*

E N S A Y O M A R S H A L L																						
Peso específico agregados para Diseño Gg=							2,546							Peso específico del asfalto Ga=								1,011
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad				Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	$\frac{100/b}{Ga \cdot 100}$	(Rice)	$b \cdot q/Ga$	$\frac{100-b}{b} \cdot q/Gq$	100-i-j	100-j	$\frac{100-(q/h) \cdot 1}{i/h \cdot 100}$		$q \cdot 62.4$		(tabla)	(q'c)		(dial)	
1	5,5	0,96	1194,0	1201,7	670,0	531,7	2,246										920	2024	1943		24	
2	5,5	0,96	1167,2	1178,9	653,7	525,2	2,222										980	2156	2070		25	
3	5,5	0,93	1207,0	1216,5	675,9	540,6	2,233										1085	2387	2220		22	
							2,234	2,350	2,393	12,2	82,9	4,9	17,1	6,7	71,1	139,4				2078		23,7

*Ensayo Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto (6%)*

E N S A Y O M A R S H A L L																						
Peso específico agregados para Diseño Gg=							2,546							Peso específico del asfalto Ga=								1,0188
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad				Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	$\frac{100/b}{Ga \cdot 100}$	(Rice)	$b \cdot q/Ga$	$\frac{100-b}{b} \cdot q/Gq$	100-i-j	100-j	$\frac{100-(q/h) \cdot 1}{i/h \cdot 100}$		$q \cdot 62.4$		(tabla)	(q'c)		(dial)	
1	6,0	0,93	1249,0	1255,0	710,3	544,7	2,293										937	2061	1917		16	
2	6,0	0,96	1220,0	1226,7	700,0	526,7	2,316										947	2083	2000		15	
3	6,0	0,96	1225,0	1229,2	705,4	523,8	2,339										943	2075	1992		16	
							2,316	2,336	2,378	13,6	85,5	0,9	14,5	2,6	94,1	144,5				1970		15,7





*Ensayo Marshall con 5 % de asfalto y 2% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso especifico agregados para Diseno Gg=						2,546						Peso especifico del asfalto Ga=						1,0188			
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	100/(b/Ga*100)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-j	(q/h)*1	i/l*100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)	
1	5,0	0,93	1207,0	1216,5	675,9	540,6	2,233										2024	1882		20	
2	5,0	0,96	1167,0	1178,0	653,0	525,0	2,223										2156	2070		21	
3	5,0	0,96	1167,2	1178,9	653,7	525,2	2,222										2387	2292		19	
							2,226	2,368	2,420	10,9	83,1	6,0	16,9	8,0	64,5	138,9			2081		20,0

*Ensayo Marshall con 5% de asfalto y 3% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso especifico agregados para Diseno Gg=						2,546						Peso especifico del asfalto Ga=						1,0188			
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	100/(b/Ga*100)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-j	(q/h)*1	i/l*100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)	
1	5,0	0,96	1201,0	1216,5	685,0	531,5	2,260										2024	1943		21	
2	5,0	1,00	1190,0	1200,0	680,0	520,0	2,288										2156	2156		20	
3	5,0	0,96	1196,0	1205,0	677,5	527,5	2,267										2387	2292		20	
							2,272	2,368	2,420	11,1	84,8	4,1	15,2	6,1	73,2	141,8			2130		20,3



**Ensayo Marshall con 5% de asfalto y 4% de adición de cemento**

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>										Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>											
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pe3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	df	$\frac{100(b)}{Ga \cdot 100}$	(Rice)	$b' \cdot q/Ga$	$\frac{100-i}{100}$	$\frac{100-j}{100}$	$\frac{100-l}{100}$	$\frac{100-m}{100}$	$\frac{100-n}{100}$	$\frac{100-o}{100}$	(tabla)	(q'c)		(dial)	
1	5,0	0,96	1196,0	1205,0	680,0	525,0	2,278										2024	1943		20	
2	5,0	0,96	1200,0	1208,5	685,0	523,5	2,292										2156	2070		20	
3	5,0	0,96	1190,0	1200,0	677,5	522,5	2,278										2387	2292		19	
							2,283	2,368	2,420	11,2	85,2	3,6	14,8	5,7	75,6	142,4			2185		19,7

**Ensayo Marshall con 5% de asfalto y 5% de adición de cemento**

E N S A Y O M A R S H A L L																						
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>										Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pe3	Estabilidad			Flujo		
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	df	$\frac{100(b)}{Ga \cdot 100}$	(Rice)	$b' \cdot q/Ga$	$\frac{100-i}{100}$	$\frac{100-j}{100}$	$\frac{100-l}{100}$	$\frac{100-m}{100}$	$\frac{100-n}{100}$	$\frac{100-o}{100}$	(q'c)	(tabla)	(q'e)		(dial)	
1	5,0	0,96	1197,0	1207,0	680,0	527,0	2,271										920	2024	1943		21	
2	5,0	0,96	1190,0	1200,0	677,7	522,3	2,278										980	2156	2070		19	
3	5,0	0,96	1182,0	1196,3	668,3	528,0	2,239										1085	2387	2292		20	
							2,263	2,368	2,420	11,1	84,4	4,5	15,6	6,5	71,3	141,2				2101		20,0



*Ensayo Marshall con 5% de asfalto y 6% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																						
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>							Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>															
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo		
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio	
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u	
						d'-e	df	100/(b/Ga)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-j	(q/h)*1	i/100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)		
1	5,0	0,96	1190,0	1196,0	670,0	526,0	2,262										2024	1943		20		
2	5,0	0,96	1187,0	1193,0	668,0	525,0	2,261										2156	2070		20		
3	5,0	0,96	1186,0	1190,0	663,0	527,0	2,250										2387	2292		19		
							<b>2,258</b>	<b>2,368</b>	<b>2,420</b>	<b>11,1</b>	<b>84,3</b>	<b>4,7</b>	<b>15,7</b>	<b>6,7</b>	<b>70,4</b>	<b>140,9</b>			<b>2043</b>		<b>19,7</b>	



*Ensayo Marshall con 5,5 % de asfalto y 0% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																							
Peso específico agregados para Diseño Gg= 2,546											Peso específico del asfalto Ga= 1,011												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm <sup>3</sup>	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie <sup>3</sup>	Estabilidad				Flujo		
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregados	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio	
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
						d'-e	d/f	100/(b/Ga*100)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-j	100-(q/h)*1	i/l*100	(q*62.4)		(tabla)	(q*c)		(dial)		
1	5,5	0,36	1194,0	1201,7	670,0	531,7	2,246										320	2024	1943		24		
2	5,5	0,36	1167,2	1178,9	653,7	525,2	2,222										380	2156	2070		25		
3	5,5	0,33	1207,0	1216,5	675,9	540,6	2,233										1085	2387	2220		22		
							2,234	2,350	2,393	12,2	82,9	4,9	17,1	6,7	71,1	139,4					2078		23,7

*Ensayo Marshall con 5,5 % de asfalto y 2% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																							
Peso específico agregados para Diseño Gg= 2,546											Peso específico del asfalto Ga= 1,011												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm <sup>3</sup>	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie <sup>3</sup>	Estabilidad				Flujo		
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregados	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio	
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
						d'-e	d/f	100/(b/Ga*100)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-j	100-(q/h)*1	i/l*100	(q*62.4)		(tabla)	(q*c)		(dial)		
1	5,50	0,33	1194,0	1201,7	666,2	535,5	2,230										1215	2673	2486		22		
2	5,5	0,36	1167,2	1178,9	653,7	525,2	2,222										1000	2200	2112		26		
3	5,5	0,89	1207,0	1216,5	670,1	546,4	2,209										1195	2629	2340		21		
							2,220	2,694	2,393	0,0	82,4	17,6	17,6	7,2	0,1	138,6					2313		23,0



**Ensayo Marshall con 5,5 % de asfalto y 4% de adición de cemento**

E N S A Y O M A R S H A L L																						
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>										Peso específico del asfalto Ga= <b>1,011</b>												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/ft <sup>3</sup>	Estabilidad				Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	df	100/(b/Ga*10)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-i	100-j	100-(q/h)*1	i/l*100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)	
	5,50	1,00	1191,2	1197,0	677,2	519,8	2,292										1045	2299	2299		21	
2	5,5	1,09	1163,0	660,0	665,0	-5,0	-232,600										1110	2442	2662		22	
3	5,5	0,96	1206,5	1212,6	685,0	527,6	2,287										1145	2519	2418		22	
							-76,007	2,350	2,393	-413,5	-2821,2	3334,7	2921,2	3276,1	-14,2	-4742,8				2460		21,7

**Ensayo Marshall con 5,5 % de asfalto y 6% de adición de cemento**

E N S A Y O M A R S H A L L																						
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>										Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>												
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/ft <sup>3</sup>	Estabilidad				Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida en Kgs	Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
						d'-e	df	100/(b/Ga*10)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)*q/Gg	100-i-j	100-i	100-(q/h)*1	i/l*100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)		
1	5,50	0,93	1220,5	1229,0	686,9	542,1	2,251										1043	2295	2134		23	
2	5,5	0,96	1211,4	1224,0	691,5	532,5	2,275										1100	2420	2323		22	
3	5,5	0,96	1213,0	1222,4	693,0	529,4	2,291										1148	2526	2425		21	
							2,273	2,352	2,393	12,3	84,4	3,4	15,6	5,0	78,4	141,8				2294		22,0



*Ensayo Marshall con 6% de asfalto y 2% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso específico agregados para Diseño Gg=						2,546						Peso específico del asfalto Ga=						1,0188			
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	dhf	100/(b/Ga-100)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)/Gg	100-i-j	100-j	100-(qh)*1	i/l*100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)	
1	6,0	1,00	1225,0	1229,0	707,4	521,6	2,349										2061	2061		24	
2	6,0	0,96	1220,0	1226,7	700,0	526,7	2,316										2083	2000		23	
3	6,0	0,96	1225,0	1229,2	707,0	522,2	2,346										2075	1992		24	
							2,337	2,336	2,378	13,8	86,3	0,0	13,7	1,7	100,3	145,8			2018		23,7

*Ensayo Marshall con 6% de asfalto y 3% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso específico agregados para Diseño Gg=						2,546						Peso específico del asfalto Ga=						1,0188			
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	dhf	100/(b/Ga-100)	(Rice)	b*q/Ga	(100-b)/Gg	100-i-j	100-j	100-(qh)*1	i/l*100	(q*62.4)	(tabla)	(q*c)		(dial)	
1	6,0	0,96	1220,0	1227,0	705,0	522,0	2,337										2024	1943		25	
2	6,0	1,00	1217,0	1220,0	699,0	521,0	2,336										2022	2022		25	
3	6,0	1,00	1224,0	1230,0	709,0	521,0	2,349										2035	2035		23	
							2,341	2,336	2,378	13,8	86,4	-0,2	13,6	1,6	101,5	146,1			2000		24,3



**Ensayo Marshall con 6% de asfalto y 4% de adición de cemento**

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>							Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>														
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	dhf	$\frac{100(b)}{Ga \cdot (100 - (Rice))}$	$\frac{b \cdot q}{tGa}$	$\frac{(100 - b) \cdot q}{tGg}$	$100 - i - j$	$100 - j$	$\frac{100 - (q/h) \cdot l}{i/l \cdot 100}$	$(q \cdot 62.4)$	(tabla)	(q'c)		(dial)			
1	6,0	0,96	1225,0	1230,0	706,0	524,0	2,338										2033	1951		24	
2	6,0	0,96	1220,0	1227,4	699,0	528,4	2,309										2022	1941		25	
3	6,0	1,00	1219,3	1230,0	709,0	521,0	2,340										2031	2031		25	
							<b>2,329</b>	<b>2,336</b>	<b>2,378</b>	<b>13,7</b>	<b>86,0</b>	<b>0,3</b>	<b>14,0</b>	<b>2,1</b>	<b>97,9</b>	<b>145,3</b>			<b>1974</b>		<b>24,7</b>

**Ensayo Marshall con 6% de asfalto y 5% de adición de cemento**

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>							Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>														
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Corrección	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pie3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	dhf	$\frac{100(b)}{Ga \cdot (100 - (Rice))}$	$\frac{b \cdot q}{tGa}$	$\frac{(100 - b) \cdot q}{tGg}$	$100 - i - j$	$100 - j$	$\frac{100 - (q/h) \cdot l}{i/l \cdot 100}$	$(q \cdot 62.4)$	(tabla)	(q'c)		(dial)			
1	6,0	0,96	1227,0	1235,7	710,3	525,4	2,335										2017	1937		25	
2	6,0	0,96	1221,4	1229,1	704,0	525,1	2,326										2026	1945		25	
3	6,0	0,96	1225,8	1231,1	709,0	522,1	2,348										2022	1941		23	
							<b>2,336</b>	<b>2,336</b>	<b>2,378</b>	<b>13,8</b>	<b>86,3</b>	<b>0,0</b>	<b>13,7</b>	<b>1,8</b>	<b>100,2</b>	<b>145,8</b>			<b>1941</b>		<b>24,3</b>



*Ensayo Marshall con 6% de asfalto y 6% de adición de cemento*

E N S A Y O M A R S H A L L																					
Peso específico agregados para Diseño Gg= <b>2,546</b>						Peso específico del asfalto Ga= <b>1,0188</b>															
Briqueta	% de Asfalto	Factor de Correccion	Peso en gramos			Volumen cm3	Peso Especifico			Volumen % Total			% de Vacios			Peso Unitario Lb/pe3	Estabilidad			Flujo	
			Seca en Aire	S.S.S en Aire	S.S.S. en Agua		Actual	Teorico	RICE	Asfalto	Agregador	Vacios	Agregador	Mezcla total	Llenos		Medida Lbs	Corregida Lbs	Promedio Lbs	1/100 Pulg	Promedio
a	b	c	d	d'	e	f	g	h	h'	i	j	k	l	m	n	o	q	r	s	t	u
						d'-e	d/f	$\frac{100(b)}{Ga \cdot (100 - (Rice))}$		$b \cdot q / Ga$	$\frac{(100 - (100 - i - j))}{100}$	$100 - i - j$	$100 - i$	$\frac{100 - (q \cdot h \cdot 1)}{i \cdot 100}$	$i \cdot 100$	$(q \cdot 62.4)$	(tabla)	(q'c)		(dial)	
1	<b>6,0</b>	1,00	1230,0	1237,3	716,4	520,9	2,361										2002	2002		25	
2	<b>6,0</b>	0,96	1227,0	1235,0	710,0	525,0	2,337										2013	1932		25	
3	<b>6,0</b>	0,96	1225,8	1231,1	709,0	522,1	2,348										2020	1939		25	
							<b>2,349</b>	<b>2,336</b>	<b>2,378</b>	<b>13,8</b>	<b>86,7</b>	<b>-0,6</b>	<b>13,3</b>	<b>1,2</b>	<b>104,1</b>	<b>146,6</b>			<b>1958</b>		<b>25,0</b>





### *Preparación de la mezcla asfáltica*



### *Briquetas recién terminas*





*Briquetas lista para ensayo de estabilidad*

