

**ANALISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO Y DINAMICO
DE MEZCLA ASFALTICA MDC – 19 CON AGREGADO PROCEDENTE DEL RIO
FONCE Y SU MODIFICACION CON CEMENTO PORTLAND.**

PRESENTADO POR

EMMA LISETH RODRIGUEZ MEDINA

ID: 000243488

MARIA ALEJANDRA GONZALEZ SANTANDER

ID: 000243621

Maria Alejandra Gonzalez Santander

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

Nota de aceptación:

Firma Presidente del Jurado

Firma Jurado N°1

Firma Jurado N°2

Bucaramanga, Noviembre de 2018

DEDICATORIA

Primero que todo le dedico a Dios este proyecto porque sin Él no hubiera podido llegar a esta etapa de mi vida, por darme las fuerzas necesarias para no desfallecer o rendirme ante tantos inconvenientes y pruebas durante estos años entregados a mi carrera, todos los días le pedía porque me corrigiera en cada falla y me brindara la fuerza para seguir adelante.

A mis padres por la educación y la crianza que me dieron con la mayor gratitud y humildad, por el apoyo incondicional, por darme las bases necesarias para convertirme en la persona que soy hoy por hoy, por siempre estar para cualquier necesidad o problema que se me ha presentado.

María Alejandra González S.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de grado y doy gracias a Dios por permitirme culminar mi carrera, a pesar de los obstáculos que se presentaron, el me dio fuerza para luchar y esto se ve reflejado el día de hoy, por permitirme crecer en una familia tan maravillosa y convertirme en la mujer que soy actualmente.

A mis padre Eusebio y Emma que siempre me apoyaron y creyeron en mi a pesar de mis errores, mi madre que paso largas noches de desvelo por apoyarme en mi estudio desde que estaba pequeña, ella siempre me brindo una palabra de aliento y vio todas mis facultades, incluso cuando yo no las veía, a mi hermana Laura que estuvo a mi lado para levantarme en momentos de derrota, por tanto, amor y por estar siempre pendiente de mí, por darme la oportunidad de estudiar y realizarme como profesional, gracias hermanita sin tu apoyo no hubiera podido labrar para mi vida un futuro prometedor.

A mi amado Daniel por darme fuerza para seguir y apoyarme incondicionalmente cuando te necesité, por tu amor, y hacerme la mujer más feliz de este mundo, por permitirme sentir dentro de mi vientre el crecimiento del fruto de nuestro amor, a ti amado hijo dedico todo el esfuerzo y mi motivación por lograr culminar con éxito la última etapa de este camino universitario, esperando conocerte pronto y que te sientas orgulloso de la madre que Dios te ha concedido.

Emma Liseth Rodríguez Medina

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle de todo corazón a nuestra directora Ingeniera Luz Marina Torrado que cada día se tomaba el trabajo de corregirnos el proyecto, por la paciencia, por su disponibilidad ante cualquier inquietud y brindarnos todos los conocimientos necesarios para sacar adelante esta tesis.

Reconociendo la disposición y colaboración del personal de laboratorio de geotecnia y pavimentos junto con el de resistencia de materiales.

Emma Liseth Rodríguez M.

María Alejandra González S.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE FIGURAS	viii
LISTA DE GRAFICAS.....	x
LISTA DE TABLAS	xi
1. INTRODUCCION	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Investigaciones de temas relacionados.....	7
4. METODOLOGÍA	9
4.1 Ubicación	9
4.2 Caracterización del agregado	10
4.2.1. Análisis Granulométrico de los agregados grueso y fino INV – E - 213-2013.....	10
4.2.2 Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras. I.N.V. E-230 – 13.....	12
4.2.3 Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso I.N.V E-227 - 13.....	13
4.2.4 Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2”) por medio de la máquina de los angeles. I.N.V E- 218 - 13	13
4.2.5 Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro – Deval. INV – E – 238 – 13.....	15
4.2.6 Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. INV – E- 220 – 2013.	16
4.2.7 Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V. E – 133 – 13	19
4.2.8 Determinación del límite líquido de los suelos INV – E – 125 – 13.....	20
4.2.9 Determinación del valor del 10% de finos I.N.V E – 224 – 13	21
4.3 Caracterización del asfalto	23
4.3.1 Punto de ablandamiento de materiales bituminosos I.N.V E-712-13	23
4.3.2 Ductilidad de los materiales asfálticos I.N.V E-702-13	24

4.3.3	Penetración de los materiales bituminosos I.N.V E-706-13	25
4.3.4	Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta Cleveland I.N.V E-709-13	25
4.4	Diseño de mezcla asfáltica	27
4.4.1	Elaboración de briquetas	30
4.4.2	Gravedad específica máxima de mezclas asfálticas para pavimentos ..	39
4.5	Calculo del porcentaje óptimo de asfalto	40
5.	ELABORACIÓN DE BRIQUETAS MODIFICADAS	42
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
6.1	Porcentaje de asfalto	48
6.2	Densidad Bulk	48
6.3	Método Marshall	49
6.4	Módulos Dinámicos	52
7.	CONCLUSIONES	61
8.	RECOMENDACIONES	62
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	63

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Capas del pavimento	5
Figura 2: Localización agregados procedentes del Río Fonce	9
Figura 3: Granulometría, material separado por tamices	10
Figura 4: Aplanamiento.....	12
Figura 5: Máquina de los ángeles extracción del material después del ensayo	14
Figura 6: Material extraído.	14
Figura 7: Esferas micro – deval	16
Figura 8: Muestra sumergida	16
Figura 9: Densidad de la solución.....	17
Figura 10: Agregados con solución en el primer ciclo	18
Figura 11 : Equipo equivalente de arena	19
Figura 12: Muestra mezclada equivalente de arena.....	20
Figura 13: Muestra en la cazuela con su respectiva ranura, después de los 25 golpes	20
Figura 14: Muestra saturada al ras del cilindro	21
Figura 15 : Máquina a compresión con cilindro para ser fallado	21
Figura 16: Montaje ensayo de ablandamiento	23
Figura 17: Fin del montaje de ablandamiento	24
Figura 18: Rotura del ensayo de ductilidad.....	24
Figura 19: Ensayo de penetración de la mezcla asfáltica.	25
Figura 20: Ensayo logra el punto de combustión.	26
Figura 21: Vertimiento del asfalto en el agregado	30
Figura 22: Mezcla del asfalto con el agregado.....	31
Figura 23: Toma de la temperatura	31
Figura 24: Montaje mezcla asfáltica en compactador.	32
Figura 25: Extracción de las briquetas con el gato manual	32
Figura 26: Briquetas elaboradas de la mezcla convencional.....	33
Figura 27: Biqueta debidamente marcada	33
Figura 28: Toma de pesos para cálculo de densidad Bulk	34
Figura 29: Briquetas sumergidas en baño maría	34
Figura 30: Ensayo método Marshall	38
Figura 31: Material en partículas diminutas.....	39
Figura 32: Muestra en su punto de ebullición.....	39

Figura 33: Muestra en el picnómetro40
Figura 34: Briquetas para módulos dinámicos47

LISTA DE GRAFICAS

Grafica N°1: Representación Gráfica de la granulometría	11
Grafica N°2: Densidad Bulk	40
Grafica N°3: Estabilidad.....	41
Grafica N°4: Vacíos	41
Grafica N°5: Densidad Bulk vs Cemento Portland (%).....	48
Grafica N°6: Estabilidad vs Cemento Portland.....	49
Grafica N°7: Comparación de estabilidad de las briquetas convencionales y modificadas	50
Grafica N°8: Flujo vs Cemento Portland	50
Grafica N°9: Flujo vs Porcentaje de asfalto.....	51
Grafica N°10: Vacíos vs Cemento Portland	51
Grafica N°11: Briqueta del 0% de cemento Portland a tres temperaturas	53
Grafica N°12: Briqueta del 25% de cemento Portland a tres temperaturas	54
Grafica N°13: Briqueta del 50% de cemento Portland a tres temperaturas	55
Grafica N°14: Briqueta del 75% de cemento Portland a tres temperaturas	56
Grafica N°15: Briqueta del 100% de cemento Portland a tres temperaturas	57
Grafica N°16: Briquetas modificadas con sus módulos dinámicos a 15°C	58
Grafica N°17: Briquetas modificadas con sus módulos dinámicos a 25°C	59
Grafica N°18: Briquetas modificadas con sus módulos dinámicos a 35°C	60

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1: Resultados Granulometría	11
Tabla N°2: Datos obtenidos durante los ensayos	12
Tabla N°3: Datos calculados despues del ensayo I.N.V E – 227 – 13	13
Tabla N°4: Especificaciones INVIAS para este ensayo.....	13
Tabla N°5: Masa a utilizar para ensayo micro - Deval.....	15
Tabla N°6: Datos de los agregados despues del horno	18
Tabla N°7: Datos de los agregados despues de tamizado.....	19
Tabla N°8: Muestra en condicion seca	22
Tabla N°9: Condicion saturada	22
Tabla N°10: Límite Mínimo y Máximo de la granulometría	27
Tabla N°11: Para un asfalto del 4%: se tomaron 1152 g de agregado para 48 g de asfalto y la siguiente cantidad de agregado.	28
Tabla N°12: Para un asfalto del 4,5%, se tomaron 1146g de agregado para 54g de asfalto y la cantidad de agregado.	28
Tabla N°13: Para un asfalto del 5%: se tomaron 1140 g de agregado para 60 g de asfalto y la cantidad de agregado.	29
Tabla N°14: Para un asfalto del 5,5%: se tomaron 1134 g de agregado para 66 g de asfalto y la cantidad de agregado.	29
Tabla N°15: Para un asfalto del 6%: se tomaron 1128 g de agregado para 72 g de asfalto y la cantidad de agregado.	30
Tabla N°16: pesos respectivos para cálculo de la gravedad Bulk	35
Tabla N°17: Datos arrojados de la maquina Marshall	38
Tabla N°18: Diseño para una mezcla de porcentaje óptimo de asfalto	42
Tabla N°19: Tabla de estabilidad, flujo y corrección de la mezcla modificada.....	43
Tabla N°20: Datos arrojados de la maquina Marshall, briqueta modificada	46
Tabla N°21: Peso de las briquetas elaboradas en el compactador giratorio	46
Tabla N°22: Frecuencias y ciclos a utilizar ensayo de módulos dinámicos	47
Tabla N°23: Módulos dinámicos para la mezcla modificada	52

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC - 19 CON AGREGADO PROCEDENTE DEL RÍO FONCE, Y SU MODIFICACIÓN CON CEMENTO PORTLAND.

AUTOR(ES): Emma Liseth Rodríguez Medina
María Alejandra González Santander

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ing. Msc. Luz Marina Torrado Gómez

RESUMEN

El presente proyecto consistió en la evaluación del comportamiento mecánico y dinámico de mezcla asfáltica MDC-19, con agregados del Río Fonce. La metodología utilizada estuvo enfocada hacia la caracterización de los agregados y del asfalto mediante los ensayos de laboratorio, según las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS 2013) y posteriormente la evaluación de las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas. En la mezcla convencional su contenido de asfalto varió cada 0.5% en el intervalo de 4% a 6%, para el cual se analizaron los resultados de estabilidad, porcentaje de vacíos y densidad Bulk con el fin de establecer el porcentaje óptimo de asfalto para ser utilizado en el diseño de la mezcla modificada. Una vez determinado el porcentaje óptimo de asfalto, se procedió a realizar la mezcla modificada con cemento portland en porcentajes de 0% al 100%, de los agregados finos del diseño, variando cada 25% con el fin de determinar su respectiva estabilidad, flujo y densidad. Para finalizar se elaboraron 5 briquetas de igual proporción de cemento portland y asfalto descritas anteriormente, haciendo uso del compactador giratorio, llegando a determinar los módulos dinámicos de las mismas por medio de la DTS – 30 siguiendo los parámetros de la norma AASHTO TP – 62-03 variando tres veces la temperatura a 15°C, 25°C, y 35°C.

PALABRAS CLAVE:

Asfalto, Cemento Portland, Módulos dinámicos, Mezcla asfáltica, Densidad Bulk.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL AND DYNAMIC BEHAVIOR OF ASPHALTIC MIXES MDC - 19 WITH ADDITION FROM THE FONCE RIVER, AND ITS MODIFICATION WITH PORTLAND CEMENT.

AUTHOR(S): Emma Liseth Rodríguez Medina
María Alejandra González Santander

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. Msc. Luz Marina Torrado Gómez

ABSTRACT

The present project consisted in the evaluation of the mechanical and dynamic behavior of asphalt mix MDC-19, with aggregates from the Fonce River. The methodology used was focused on the characterization of aggregates and asphalt through laboratory tests, according to the specifications of the National Institute of Roads (INVIAS 2013) and later the evaluation of the mechanical and dynamic properties of asphalt mixtures. In the conventional mixture, its asphalt content varied every 0.5% in the range from 4% to 6%, for which the stability, vacuum percentage and Bulk density results were analyzed in order to establish the optimum percentage of asphalt to be used in the design of the modified mixture. Once the optimum percentage of asphalt was determined, the modified mixture was made with Portland cement in percentages from 0% to 100%, of the fine aggregates of the design, varying every 25% in order to determine their respective stability, flow and density. Finally, 5 briquettes of the same proportion of Portland cement and asphalt described above were made, making use of the rotary compactor, getting to determine the dynamic modules of them by means of the DTS - 30 following the parameters of the AASHTO TP - 62 - standard. 03 by varying the temperature three times to 15 ° C, 25 ° C, and 35 ° C.

KEYWORDS:

Asphalt, Portland Cement, Dynamic Modules, Asphalt Mix, Bulk Density

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

La implementación de mezclas asfálticas modificadas constituye hoy en día una prioridad para garantizar calidad y mejoramiento del comportamiento mecánico de los pavimentos, en cuanto a su resistencia y deformabilidad.

El presente proyecto consistió en analizar las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica MDC-19 con el uso de cemento Portland hidráulico y agregados procedentes del río Fonce, Departamento de Santander.

Con el fin de verificar el cumplimiento de las especificaciones que exige el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en el artículo 450 - 2013, referente a mezclas densas en caliente para el diseño de una capa de rodadura en vías con tráfico alto, se procedió a la realización de los ensayos de caracterización de los agregados, del asfalto tipo 60 – 70 y del cemento hidráulico, para establecer sus propiedades físico-mecánicas y dinámicas.

Se elaboraron las briquetas con un porcentaje de asfalto del 4% al 6% variando cada 0,5%, con el fin de obtener su porcentaje óptimo. Una vez hallado este, se procede a elaborar las briquetas modificadas sustituyendo por cemento Portland, los agregados finos de la mezcla, para cada uno en su variación del 0% al 100% cada 25%, se desarrollaron los ensayos respectivos para analizar el comportamiento mecánico.

Posteriormente se elaboraron 5 briquetas de igual proporción de cemento portland y asfalto descritas anteriormente, haciendo uso del compactador giratorio, llegando a determinar los módulos dinámicos de las mismas por medio de la DTS – 30 siguiendo los parámetros de la norma AASHTO TP – 62-03 variando tres veces la temperatura a 15°C, 25°C, 35°C.

Finalmente, se analizaron y compararon los resultados de la mezcla convencional y la modificada a fin de establecer su factibilidad técnica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar el comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas densas en caliente MDC – 19 con agregado procedente del Rio Fonce y su modificación con cemento tipo portland.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el porcentaje de cemento asfáltico óptimo según los parámetros de estabilidad, porcentaje de vacíos, y densidad Bulk para ser utilizado en la elaboración de la mezcla modificada.
- Evaluar la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, según la variación de porcentaje de cemento portland en las briquetas modificadas
- Determinar el comportamiento mecánico del uso de cemento portland en una mezcla asfáltica tipo MDC – 19 y la influencia de la temperatura en la variación de los módulos dinámicos efectuados con la ayuda del instrumento DTS – 30.

3. MARCO TEÓRICO

La estructura de un pavimento asfáltico consiste de todas las capas o carpetas que se colocan arriba de la sub-base preparada o fundación.

Una de las principales ventajas de los pavimentos asfálticos es la economía asegurada por la utilización de materiales disponibles localmente. Generalmente, es preferible tratar los materiales granulares utilizados en las bases.

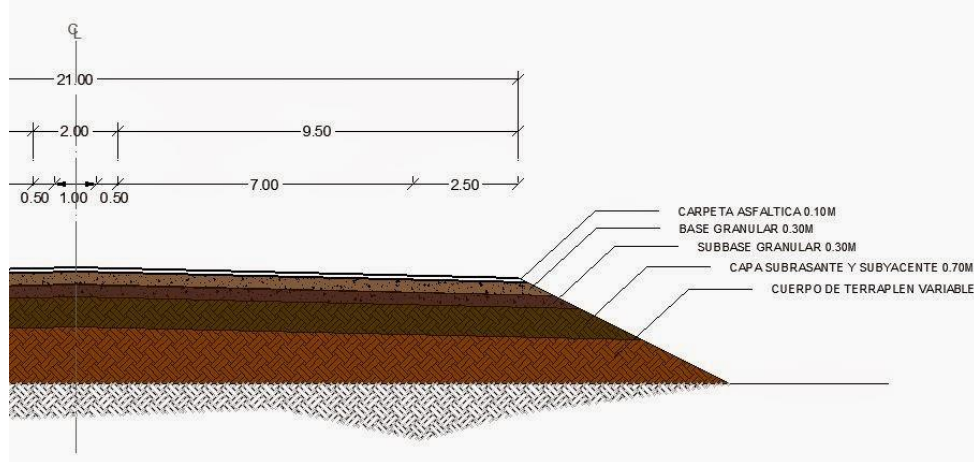
El tratamiento más comúnmente utilizado es mezclar el asfalto con el material granular, produciendo lo que se denomina un asfalto base. Cuando la totalidad de la estructura del pavimento que está por encima de la sub-rasante consiste de mezclas asfálticas, este se denomina "Pavimento Asfáltico", éste es generalmente considerado el de mejor costo efectivo dependiendo los tipos de pavimentos del tipo de tráfico. otros materiales a menudo utilizados para tratar o estabilizar bases y sub-bases granulares, materiales o suelos seleccionados son: Cemento Portland, Alquitrán de Hulla, Cloruro de Calcio, o Sal (Cloruro de Sodio).

Anteriormente mencionado estos pavimentos están conformados por varias capas como se menciona a continuación:

- Rasante
- Subrasante
- Súbase granular
- Base granular

También existen tipos de pavimentos como: pavimentos asfálticos o flexibles, pavimentos de concreto o rígidos, entre otros como lo son: adoquines, empedrados y suelo cemento (Santagelo, 1993). En la figura 1 se puede detallar las capas presentes del pavimento.

Figura 1: Capas del pavimento



Fuente: (Santagelo, 1993)

Los pavimentos flexibles en Colombia presentan numerosas fallas tales como: grietas de contracción, piel de cocodrilo, corrugaciones, grietas de borde, ahuellamiento, baches, etc... por lo cual se hace necesario la implementación de pavimentos modificados a fin que su vida útil sea mayor. En este documento se empleó la modificación de:

Cemento Portland o Cemento tipo 1: es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales, este tipo de cemento es muy reconocido con la marca Portland, que se caracteriza como cemento hidráulico, que se produce por la pulverización del Clinker, su composición son principalmente silicatos de calcio hidráulicos y contienen en su mayoría una o más formas de sulfato de calcio y agregado en el proceso de molienda. (Construcción, 2017)

El cemento Portland es empleado como “filler” de aporte en las mezclas asfálticas en caliente. En general, las condiciones de calidad de tales mezclas pueden resumirse en tres: estabilidad, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el cemento gravita significativamente, cumpliendo tres funciones principales: actuando como material de relleno de vacíos, como espesante de asfalto o mejorando la adherencia del par agregado –asfalto.

¿Para qué se requiere una modificación de mezclas asfálticas?

En Colombia, más del 70% de las vías nacionales, y un 35% de las vías capitalinas están constituidas por pavimentos asfálticos. (INVIAS, 2012)

Se destacó la falta de calidad de los pavimentos en el Área Metropolitana de Bucaramanga, debido a la disminución de reservas petrolíferas del mundo y la corrupción que se presenta entre sí, para esto se ve la necesidad de implementar nuevas modificaciones de mezclas asfálticas con adición de polímeros a las mezclas convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y de tránsito, con el fin de buscar reducir deformaciones permanentes (ahuellamiento) de las mezclas que lo componen las capas de rodadura, aumentando la rigidez y así disminuir el fisuramiento por efecto térmico y por fatiga, aumentando su elasticidad. (Rodríguez - Gallego, 2005)

Para todo tipo de pavimento siempre se comienza por la mezcla asfáltica, se define como una combinación de asfalto, su composición principal es de agregado mineral unido con asfalto, siendo colocado en capas y así a la vez compactarlo. Existen varios tipos de mezclas asfálticas

- Mezcla caliente: Es reconocido como el asfalto, se clasifica como mezclas de granos densos, mezclas de matriz de piedra y asfalto de mezcla caliente de grado abierto.
- Mezcla grano denso: se caracteriza por proporcionar las grandes características impermeables alejando el agua de la superficie.

Ya que la modificación nos presenta un mejoramiento o una optimización de las propiedades mecánicas y dinámicas de la mezcla asfáltica convencional, se realizó los dos tipos de diseño de mezclas:

- Diseño de mezcla virgen

Se reconoce como mezcla convencional, es decir, que no cuenta con ninguna alteración o modificación de material. Por medio de briquetas para una mezcla tipo MCD – 19; haciendo uso el método Marshall entre otros ensayos que sea conveniente para llevar a cabo su ejecución.

- Diseño de mezcla modificada

Se repite el mismo procedimiento descrito anteriormente, agregando diferentes porcentajes de cemento portland para obtener sus respectivos cambios de la mezcla modificada. Teniendo en cuenta que se reconoce como un cemento hidráulico, se procede a ser empleado de acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma INV – E – 307 – 13.

Método Marshall: Basado en estabilidad y contenido de vacíos. El método Marshall, solo se aplica a mezclas densas calientes de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25 mm o menos, el método puede ser usado para el diseño en laboratorio. (Giordani & Leone, 2008)

Densidad Bulk: Es la masa de un volumen de agregado incluye el volumen de las partículas individuales de agregado y el volumen de los vacíos entre las partículas. Se debe tener en cuenta los vacíos en los agregados el cual es el volumen unitario de agregado, es decir, es el espacio entre partículas en una masa de agregado no ocupado por mineral sólido. (Javier, s.f.)

3.1 Investigaciones de temas relacionados

- Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cemento portland.

Se caracterizó una mezcla asfáltica discontinua, siendo modificada con cemento portland, cuyo fin es analizar sus propiedades mecánicas, por medio de ensayos de laboratorio, siendo elaborado por el método Marshall. (Amaya Marrugo & Soto Calle, 2015)

- Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con asfaltita

Se evaluó la resistencia mecánica, y la resistencia a la deformación que experimenta la mezcla asfáltica siendo modificada con asfaltita.

A la mezcla modificada se tuvo presente las condiciones climáticas de Bogotá, para determinar su cambio respectivo. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2013)

- Caracterización de diseño, mezcla asfáltica mdc -19, mezcla asfáltica asfalto modificado con grano caucho de llantas GRC y mezcla asfáltica GRC con polímeros

Realizar el diseño de mezcla asfáltica, determinando su comportamiento dinámico por el método Marshall, con asfalto original y asfalto modificado con llantas GRC. (Janeth, 2016)

- Modificación de mezclas densas en caliente con residuos de caucho vulcanizado de botas militares, cuero proveniente de una remontadora de calzado, cemento asfáltico 80 – 100 y agregado de peña.

Se desea mejorar el comportamiento mecánico, con características de rigidez más altas, disminución de fisuras debidas al cambio brusco de temperaturas y fatiga, aumento de elasticidad. (Horta Calderon & Niño Niño , 2015)

4. METODOLOGÍA

Se dio inicio con la revisión del estado del arte sobre el tema, por medio de libros, revistas, informes, proyecto de grado y demás literatura existente sobre el tema.

Seguidamente se procedió a la búsqueda de los materiales pétreos de estudio, caracterización del agregado, caracterización del asfalto, diseño de mezcla convencional y modificada, método Marshall y finalmente módulos dinámicos para las briquetas modificadas.

4.1 Ubicación

Los materiales pétreos de estudio provienen del Río Fonce, nace de los ríos de Taquiza y Pienta y está localizado en el municipio de San Gil. En la Figura 2 se puede apreciar la localización del río de donde se extrajeron los agregados para el proyecto.

Figura 2: Localización agregados procedentes del Río Fonce



Fuente: Google maps

4.2 Caracterización del agregado

4.2.1. Análisis Granulométrico de los agregados grueso y fino INV – E - 213-2013

La granulometría de una formación sedimentaria, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, es indispensable a la hora de clasificar el material y permite determinar los diversos tamaños de las partículas que componen un suelo.

Para llevar a cabo la granulometría de los agregados, se tomaron 5700 g de la muestra representativa seca, se procedió a realizar el tamizado haciendo uso de las siguientes series de tamices: 1", ¾", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°80 y N°200. Como lo ilustra la Figura N°3.

El procedimiento permitió determinar el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal del agregado, así como, el grado de cumplimiento de las especificaciones según el INVIAS.

Figura 3: Granulometría, material separado por tamices



Fuente: Propia

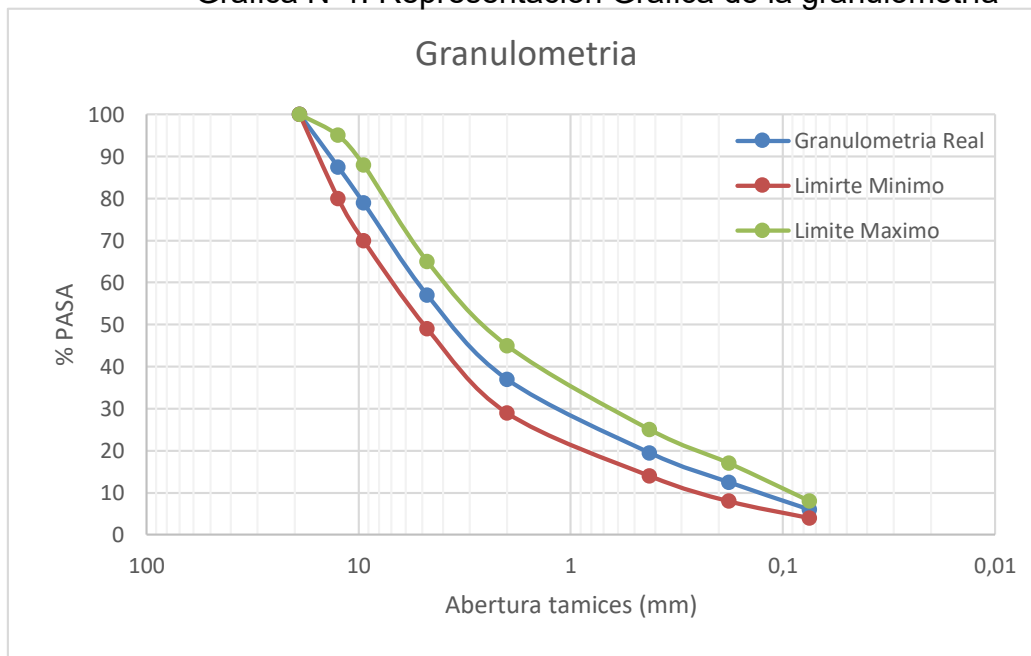
El diseño de mezcla asfáltica se realizó en base a las especificaciones del INVIAS 2013 en el artículo 450, según se puede apreciar en la Tabla N°1 con su respectiva gráfica N°1, detallando de la serie de tamices sus límites pertinentes.

Tabla N°1: Resultados Granulometría

Tamices (mm)	Límite Mínimo	Límite Máximo	%pasa
25	100	100	100,00
19	100	100	100,00
12,5	80	95	87,50
9,5	70	88	79,00
4,75	49	65	57,00
2	29	45	37,00
0,425	14	25	19,50
0,018	8	17	12,50
0,075	4	8	6,00

Fuente: Propia

Grafica N°1: Representación Gráfica de la granulometría



Fuente: Propia

4.2.2 Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras.
I.N.V. E-230 – 13

Para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso a emplear en el diseño de la mezcla asfáltica, realizamos una separación de la muestra según lo retenido en cada tamiz y se procede a pasarlo por un tamiz paralelo como lo indica la figura 4, el material que pasa por dicho tamiz, según el tamaño respectivo de la muestra es tomado como el material aplanado, el que no pasa, es excluido de dicho ensayo, de esta misma forma se realizó el ensayo de alargamiento, utilizando un calibrador de longitudes, se pasó cada uno de las partículas de agregado en donde lo retenido de dicho proceso nos dio como resultado las partículas largas de la muestra según su respectivo tamaño, los resultados obtenidos de dichos ensayos se observa en la tabla N°2

Figura 4: Aplanamiento



Fuente: Propia

Tabla N°2: Datos obtenidos durante los ensayos

<i>Tamiz (pulgadas)</i>	<i>Retenido</i>	<i>Retenido Largas.</i>	<i>Pasa planas</i>
1"	0,00	0,00	0,00
¾"	18,82	18,82	18,82
½"	1850,33	151,36	606,85
3/8"	1811,21	1448,97	307,18
¼"	964,36	260,37	173,58

Fuente: Propia

4.2.3 Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso I.N.V E-227 - 13

El material usado en los dos ensayos anteriores, se extendió en el mesón, para proceder a realizar una inspección y separación de las partículas fracturadas presentes en la muestra. Se sacaron las partículas lisas de lo retenido en cada tamiz, para pesarlo y luego eso se le resto al total de la muestra de cada tamiz respectivamente y ese valor se tomó como resultado de las partículas fracturadas, de la muestra presente según cada tamaño, esta se puede apreciar en la tabla N° 3.

Tabla N°3: Datos calculados despues del ensayo I.N.V E – 227 – 13

<i>Tamiz (pulgadas)</i>	<i>Lisas</i>	<i>Fracturadas</i>
1"	0,00	0,00
3/4"	18,82	0,00
1/2"	548,83	1301,50
3/8"	181,24	1629,97
1/4"	86,79	877,57

Fuente: Propia

4.2.4 Resistencia a la degradacion de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los angeles. I.N.V E- 218 - 13

Su objetivo principal es determinar la resistencia del material al ser sometido a su desgaste.

Antes de realizar este ensayo, se debe tener en cuenta la cantidad necesaria de material a utilizar, según el tamaño nominal del agregado para ser ensayada según la siguiente tabla N° 4 tomada por INVIAS:

Tabla N°4: Especificaciones INVIAS para este ensayo.

TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍAS			
		A	B	C	D
37.5 (1½")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (¾")	1250 ± 25			
19.0 (¾")	12.5 (½")	1250 ± 25			
12.5 (½")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8")	6.3 (¼")	1250 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
6.3 (¼")	4.75 (No. 4)			2500 ± 10	
4.75 (No.4)	2.36 (No. 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Manual INVIAS 2013

A la máquina se le somete una cantidad de esferas según el tipo de la granulometría según INVIAS.

En este proyecto se necesitó, 2500g tanto de agregado de tamaño 3/8" como de 1/4" para un total de 5000g, dicha cantidad se sometió a ensayo dentro de la máquina de los ángeles con 11 esferas, ya que el agregado es de tipo B.

Teniendo la maquina lista para realizar el ensayo, se introdujo tanto el material, como las esferas anteriormente mencionadas, para dar inicio al proceso de la máquina, la cual, al terminar sus ciclos, se detuvo, y el material extraído como se puede apreciar en la figura 5 y 6.

Figura 5: Máquina de los ángeles extracción del material después del ensayo



Fuente: Propia

Figura 6: Material extraído.



Fuente: Propia

Por último, se lavó y se secó en el horno a una temperatura de 110°C, se dejó enfriar y se pasó por el tamiz N°12, dicho material retenido se pesó y de esta manera se logró calcular el porcentaje de pérdida que sufrió el agregado en el ensayo, dando como resultado un valor permitido según las especificaciones.

Cálculos

$\% \text{ pérdidas} = (P1 - P2/p1) * 100$; donde P1 = masa original ; P2= masa final, pasado por el tamiz N°12.

$$\% \text{ pérdidas} = \left(\frac{5000 - 3533}{5000} \right) * 100 = 29,34\% \text{ OK}$$

4.2.5 Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro – Deval. INV – E – 238 – 13

Su objetivo es determinar la resistencia al desgaste del material haciendo uso del material grueso por medio del aparato micro – Deval.

Se tomó 2500 g de material grueso, se llevó al horno, se tamizo reteniendo 1500 más o menos 5 g como lo indicada la tabla N°5, ya que, el tamaño máximo nominal del agregado es de ½” lo establecido en la norma:

Tabla N°5: Masa a utilizar para ensayo micro - Deval.

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
12.5 mm	9.5 mm	750 g
9.5 mm	6.3 mm	375 g
6.3 mm	4.75 mm	375 g

Fuente: Propia

Se sumergió la muestra en 2 litros de agua a temperatura de 20 más o menos 5 grados centígrados, durante 1 hora, esto se colocó en la maquina Micro-Deval con las esferas de acero de un peso de 5000 gramos, ver Figura 7.

Se tapó debidamente el recipiente que se puede apreciar en la Figura 8 y se prendió la máquina hasta alcanzar los 100 rpm durante 105 minutos, se extrajo la muestra del recipiente pasándolo por los tamices N°4 y N°16, haciendo un lavado del material respectivamente, hasta que el agua salió limpia. Se retiraron cuidadosamente las esferas de acero por el método manual, ya que no se contó con un imán que le ayudará a llevar a cabo dicha labor.

Se tomó el peso de dicha muestra húmeda, para llevarla al horno y se volvió a tomar el respectivo peso de esta seca.

Figura 7: Esferas micro – deval



Fuente: Propia

Figura 8: Muestra sumergida



Fuente: Propia

4.2.6 Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. INV – E- 220 – 2013.

Dicho ensayo nos permite determinar la resistencia a la desintegración de los agregados tanto grueso como fino por el sometimiento del agregado a una específica solución y cambios en su temperatura.

Se decidió utilizar sulfato de sodio, para lo cual se disolvieron 350 g de sulfato de sodio por litro de agua, hasta completar la cantidad necesaria para cumplir los 5 ciclos, en este proyecto de grado se preparó 16 lts en total de solución, dicha solución se dejó reposar por 24 horas. Antes de sumergir las muestras en la solución se debe tomar la densidad de la misma, para esto se debe: tomar una probeta de un litro, tararla en la balanza y llenar la probeta con la solución y pesarla, aquel valor dividirlo entre mil, esta densidad debe oscilar entre 1.154 y 1.171 como puede apreciarse en la figura 9.

Figura 9: Densidad de la solución



Fuente: Propia

Para el fino:

De la serie de los tamices fueron: N°4, N°8, N°16, N°30 y N°50, se descartaron los primeros dos tamices ya que dio menos del 5%, por lo tanto, no fueron sometidos a ensayo, los demás tamices se extrajo 100 g de retenido de cada uno de ellos.

Para el grueso:

De la serie de los tamices fueron: 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N°4. Se tomó lo retenido de acuerdo a los tamices según las siguientes cantidades:

- 1/2": 670 más o menos 10 gramos = 675g
- 3/8": 330 más o menos 5 gramos = 335g
- N°4: 300 más o menos 5 gramos = 305g

Descartando los dos primeros tamices por tener menos porcentaje de material del establecido.

Desarrollo el primer ciclo:

Se separaron en recipientes cada una de las muestras de los tamices tanto el agregado fino como el agregado grueso, se vertió en cada uno de los recipientes solución de tal forma que quedara dos centímetros por encima del nivel del agregado, dejándolo en el horno no menos de 16 horas ni más de 18h.

Se extrajo cada recipiente del horno al cumplir con el tiempo especificado anteriormente y se dejó reposar la muestra cubierta para evitar contaminaciones (ver figura 10) hasta obtener temperatura ambiente para iniciar el siguiente ciclo. Se realizó el mismo procedimiento hasta cumplir los ciclos faltantes. Al finalizar el último ciclo, se lavó las muestras hasta que quede exento de sulfato de sodio, se secó y posteriormente se pesó dicha muestra, dando como resultado los datos indicados en la tabla, por último, se tamizó el agregado fino sobre los mismos tamices en que fue retenido al iniciar el ensayo y para el agregado grueso sobre los tamices especificados, obteniendo una cantidad establecida de cada uno de sus tamaños como los muestra la Tabla N°7.

Figura 10: Agregados con solución en el primer ciclo



Fuente: Propia

Al finalizar el ensayo, se tomo el peso del material al extraerlo del horno, para compararlo con el material tomado inicialmente como lo puede apreciar en la tabla N° 6 y de esta manera establecer la alteracion ocurrida en la muestra.

Tabla N°6: Datos de los agregados despues del horno

<i>Tamices (pulgadas)</i>	<i>Agregado fino</i>	<i>Agregado Grueso</i>
1/2"	-	669,80 g
3/8"	-	321,20 g
N°4	-	300,40 g
N°16	98,60 g	-
N°30	94,40 g	-
N°50	97,20 g	-

Fuente: Propia

Tabla N°7:Datos de los agregados despues de tamizado

<i>Tamices (pulgadas)</i>	<i>Agregado Fino</i>	<i>Agregado Grueso</i>	<i>Fondo Grueso</i>	<i>Fondo Fino</i>
1/2"	-	665,00 g	5,40 g	-
3/8"	-	311,60 g	9,40 g	-
N°4	-	166,60 g	133,60 g	-
N°16	74,40 g	-	-	22,80 g
N°30	81,20 g	-	-	12,40 g
N°50	88,00 g	-	-	8,40 g

Fuente: Propia

4.2.7 Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V. E – 133 – 13

Este ensayo tiene como principal fin, determinar las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4,75 mm.

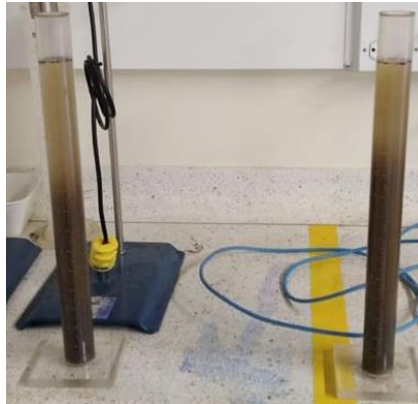
Se usó una probeta de 1 lt aproximadamente, se vertieron 10 cm de solución de cloruro de calcio a cada una de las probeta y se le introdujo 100 gramos de agregado fino respectivamente, se golpeó varias veces el fondo de la probeta con la mano para liberar las burbujas, y se deslizó hacia el fondo, todo el material que quedo en las paredes de las probetas, se dejó reposar 10 minutos la muestra, para proceder a introducirla en el agitador, equipo para realizar el ensayo como se ilustra en la figura 11, este se dejó allí durante 45 segundos, luego se bajó del agitador y se dejó reposar nuevamente unos minutos más,(figura 12), para proceder a realizar la lectura de la arena y la arcilla.

Figura 11 : Equipo equivalente de arena



Fuente: Propia

Figura 12: Muestra mezclada equivalente de arena.



Fuente: Propia

4.2.8 Determinación del límite líquido de los suelos INV – E – 125 – 13

Como su propio título lo indica, se determinó el estado líquido del suelo. En este ensayo para el proyecto de grado, a simple vista se reconoció que el tipo de suelo o material al ser empleado no tiene lo que comúnmente se llama o se reconoce como, índice de plasticidad, ya que no es plástico ni líquido.

Para esto se tomaron entre 150g a 200g de agregado y se tamizo por el N°40 aplicándole unas gotas de agua hasta facilitar el ablandamiento del material antes de proceder al mezclado. Después se colocó en la cazuela como lo muestra la Figura 13, se le deslizo un poco la espátula para que quedara abierta la ranura del agregado, y se le dio de 25 a 35 golpes a la cazuela para lograr el cierre de aquella ranura. Pero no se consiguió el objetivo por lo tanto se determinó que dicho agregado no tiene índice de plasticidad.

Figura 13: Muestra en la cazuela con su respectiva ranura, después de los 25 golpes



Fuente: Propia

4.2.9 Determinación del valor del 10% de finos I.N.V E – 224 – 13

Estima la resistencia mecánica del agregado grueso cuando aquel es sometido a compresión.

Se requiere agregado retenido en el tamiz 3/8", de tal forma, que se llene el recipiente como se puede apreciar en la figura 14, dividiéndolo en 3 capas respectivamente cada capa debe ser compactada a 25 golpes.

Figura 14: Muestra saturada al ras del cilindro



Fuente: Propia

Se lleva a la máquina a compresión ver figura 15, al salir de la máquina se registra el peso obtenido y por último se pasó el material por el tamiz N°8, se registró tanto lo retenido como lo que pasa. Indicado en la Tabla N°8. Se desarrolló nuevamente dicho ensayo para el agregado en condición saturada Tabla N°9, para esto se recomienda ser medio secado el material con una toalla totalmente seca.

Figura 15 : Máquina a compresión con cilindro para ser fallado



Fuente: Propia

Se debe tener en cuenta que $7,5\% \leq (M2/M1) \leq 12,5\%$, se procede hacer sus cálculos respectivos.

Tabla N°8: Muestra en condicion seca

Cilindro	Total (M1)	Pasa (M2)	Retenido (M3)	Valor maquina (KN)
1	2570,00	261,00	2305,00	191,48
2	2615,00	280,00	2330,00	193,25

Fuente: Propia

Valor promedio del valor de maquina: 192.36, aproximadamente 200 KN.
 $F = (14 * f)/(m + 4)$; donde f: maxima fuerza en KN y m: % de material que pasa el tamiz N°8 a la maxima fuerza, (m=100 M2/M1)

$$\text{Cilindro 1: } F = \frac{14*200}{\frac{100*261}{2570} + 4} = 197,800 \text{ KN}$$

$$\text{Cilindro 2: } F = \frac{14*200}{\frac{100*280}{2615} + 4} = 190,380 \text{ KN}$$

Tabla N°9: Condicion saturada

Cilindro	Total (M1)	Pasa (M2)	Retenido (M3)	Valor maquina (KN)
1	2585	254	2326	152.14
2	2912	285	2621	157.32

Fuente: Propia

Valor promedio del valor de maquina: 154.73, aproximadamente 160 KN

$$\text{Cilindro 1: } F = \frac{14*160}{\frac{100*254}{2585} + 4} = 162,015 \text{ KN}$$

$$\text{Cilindro 2: } F = \frac{14*160}{\frac{100*285}{2912} + 4} = 162,471 \text{ KN}$$

Por último, se verifica con la siguiente ecuación sacando el promedio de los dos resultados redondeando a 10 KN si la fuerza calculada es de 100 KN o más, si es menor se procede a realizar el ensayo nuevamente:

Promedio seco: 200 KN

Promedio saturado: 170 KN

$$\left(\frac{\text{Saturado}}{\text{seco}}\right) * 100, \geq 75\% \quad OK$$

$$\left(\frac{170}{200}\right) * 100 = 85\% \quad Cumplio$$

4.3 Caracterización del asfalto

Para contar con la clasificación necesaria del tipo de asfalto a utilizar en nuestro diseño de mezcla asfáltica, se realizó un estudio de sus propiedades y se logró establecer lo siguiente, gracias a los ensayos efectuados.

4.3.1 Punto de ablandamiento de materiales bituminosos I.N.V E-712-13

El objetivo de esta prueba es calcular el punto de ablandamiento del material bituminoso a trabajar, usando el aparato de anillo y bola.

Se realizó el montaje del ensayo como lo indica la Figura 16, para proceder a permitir el aumento de la temperatura, hasta el momento en que las bolitas se deslizan de la placa, lo cual se puede ver en la Figura 17 y caen a la superficie del recipiente anteriormente sumergido en agua.

Esta temperatura se promedia con la siguiente lectura ya que son dos bolitas y así obtenemos el punto de ablandamiento.

Figura 16: Montaje ensayo de ablandamiento



Fuente: Propia

Figura 17: Fin del montaje de ablandamiento



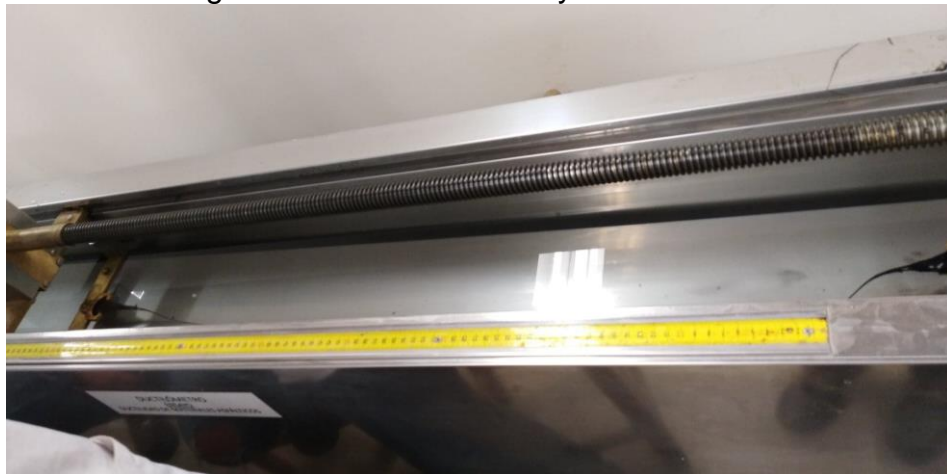
Fuente: Propia

El primer espécimen en caer al agua se registró a una temperatura de 51°C y el segundo a 51.5 grados, para concluir en que el valor del punto de ablandamiento del material bituminoso trabajado es de 51.25°C.

4.3.2 Ductilidad de los materiales asfálticos I.N.V E-702-13

Se determinó la ductilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida, midiendo la distancia que se estira la muestra hasta generar su ruptura. Después de tener previamente la muestra, basta con llenar de agua a temperatura de 25°C la máquina, y se coloca el molde, esperar atentamente para hacer lectura de la elongación de la misma hasta el punto donde ocurre la ruptura, como se puede apreciar en la figura 18, en nuestro ensayo la elongación fue de 93.8 cm.

Figura 18: Rotura del ensayo de ductilidad



Fuente: Propia

4.3.3 Penetración de los materiales bituminosos I.N.V E-706-13

Se determinó la consistencia de los materiales bituminosos, expresada como la distancia hasta la cual penetra verticalmente una aguja.

Figura 19: Ensayo de penetración de la mezcla asfáltica.



Fuente: Propia

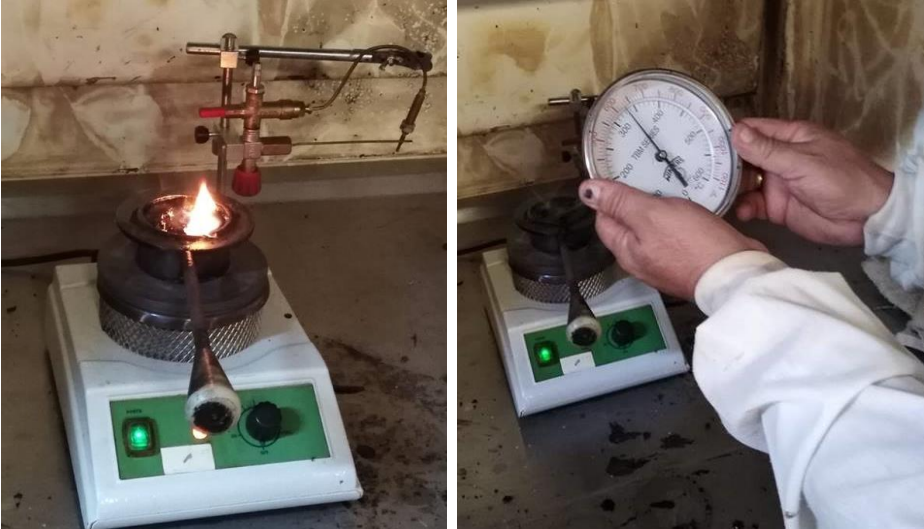
Se realizó el montaje de penetración como lo indica la figura 19, se recomienda que muestra a trabajar debe tener una consistencia fluida y el material debe estar homogéneo, se dejó caer la aguja midiendo la penetración de la misma, se suelta y extrae la aguja para limpiarla con un disolvente y seca con paño antes de volver a ubicarla y asegurarla de tal forma que se pueda llevar a cabo las medidas restantes. Se obtuvieron cuatro medidas en total de 51, 50, 54,53, dando un promedio de penetración de 52 mm.

4.3.4 Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta Cleveland I.N.V E-709-13

Se determinó los puntos de inflamación y combustión de productos pétreos, empleando una copa abierta de Cleveland de manejo manual. Se llenó la copa Cleveland hasta un nivel que permitió introducir el termómetro sin que se rebose el contenido de asfalto, se presentó un aumento de la temperatura al principio con rapidez y luego de forma constante, realizando con frecuencia la prueba del punto de inflamación, se deslizo una mecha alrededor de la copa, para determinar si esta presenta un pequeño destello de fuego, y en este momento leer su temperatura, se obtuvo que el punto de inflamación de una temperatura de 288°C.

Se procede a permitir que la temperatura siguiera ascendiendo, hasta lograr punto de combustión, cuando la muestra se enciende como se puede apreciar en la figura 20, obteniendo una lectura de 349°C de temperatura.

Figura 20: Ensayo logra el punto de combustión.



Fuente: Propia

4.4 Diseño de mezcla asfáltica

Con ayuda de la tabla 10 dada por INVIAS, se modifica la granulometría desarrollada teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos para que cumpla los requisitos de una mezcla MDC – 19.

Se desarrolló el diseño de la mezcla asfáltica, mediante la cual se realizaron las briquetas convencionales, para proceder a la determinación de sus propiedades mecánicas y dinámicas.

Tabla N°10: Límite Mínimo y Máximo de la granulometría

Tabla 450 - 6. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSE	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSE	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM -25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		4 %					3 %			2 %	

Fuente: Especificaciones INVIAS 2013

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó el diseño de las briquetas con porcentajes de asfalto desde el 4%, con variación de 0.5% hasta el 6%, obteniendo la cantidad de agregado a utilizar en cada una de las briquetas. (Ver tabla 11 a 15)

Tabla N°11: Para un asfalto del 4%: se tomaron 1152 g de agregado para 48 g de asfalto y la siguiente cantidad de agregado.

# Tamiz	Límite mínimo	Límite máximo	Valor Medio	W retenido (%)	W retenido (g)
1"	100	100	0,00	0,00	0,00
3/4"	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	80	95	87,50	12,50	144,00
3/8"	70	88	79,00	8,50	97,92
N°4	49	65	57,00	22,00	253,44
N°10	29	45	37,00	20,00	230,40
N°40	14	25	19,50	17,50	201,60
N°80	8	17	12,50	7,00	80,64
N°200	4	8	6,00	6,50	74,88
Fondo	0	0	0,00	6,00	69,12
				100,00	
				Total	1152,00

Tabla N°12: Para un asfalto del 4,5%, se tomaron 1146g de agregado para 54g de asfalto y la cantidad de agregado.

# Tamiz	Límite mínimo	Límite máximo	Valor Medio	W retenido (%)	W retenido (g)
1"	100	100	0,00	0,00	0,00
3/4"	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	80	95	87,50	12,50	143,25
3/8"	70	88	79,00	8,50	97,41
N°4	49	65	57,00	22,00	252,12
N°10	29	45	37,00	20,00	229,2
N°40	14	25	19,50	17,50	200,55
N°80	8	17	12,50	7,00	80,22
N°200	4	8	6,00	6,50	74,49
Fondo	0	0	0,00	6,00	68,76
				100,00	
				Total	1146,00

Tabla N°13: Para un asfalto del 5%: se tomaron 1140 g de agregado para 60 g de asfalto y la cantidad de agregado.

# Tamiz	Límite mínimo	Límite máximo	Valor Medio	W retenido (%)	W retenido (g)
1"	100	100	0,00	0,00	0,00
3/4"	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	80	95	87,50	12,50	142,50
3/8"	70	88	79,00	8,50	96,90
N°4	49	65	57,00	22,00	250,80
N°10	29	45	37,00	20,00	228,00
N°40	14	25	19,50	17,50	199,50
N°80	8	17	12,50	7,00	79,80
N°200	4	8	6,00	6,50	74,10
Fondo	0	0	0,00	6,00	68,40
				100,00	
				Total	1140,00

Tabla N°14: Para un asfalto del 5,5%: se tomaron 1134 g de agregado para 66 g de asfalto y la cantidad de agregado.

# Tamiz	Límite mínimo	Límite máximo	Valor Medio	W retenido (%)	W retenido (g)
1"	100	100	0,00	0,00	0,00
3/4"	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	80	95	87,50	12,50	141,75
3/8"	70	88	79,00	8,50	96,39
N°4	49	65	57,00	22,00	249,48
N°10	29	45	37,00	20,00	226,80
N°40	14	25	19,50	17,50	198,45
N°80	8	17	12,50	7,00	79,38
N°200	4	8	6,00	6,50	73,71
Fondo	0	0	0,00	6,00	68,04
				100,00	
				Total	1134,00

Tabla N°15: Para un asfalto del 6%: se tomaron 1128 g de agregado para 72 g de asfalto y la cantidad de agregado.

# Tamiz	Límite mínimo	Límite máximo	Valor Medio	W retenido (%)	W retenido (g)
1"	100	100	0,00	0,00	0,00
3/4"	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	80	95	87,50	12,50	141,00
3/8"	70	88	79,00	8,50	95,88
N°4	49	65	57,00	22,00	248,16
N°10	29	45	37,00	20,00	225,60
N°40	14	25	19,50	17,50	197,40
N°80	8	17	12,50	7,00	78,96
N°200	4	8	6,00	6,50	73,32
Fondo	0	0	0,00	6,00	67,68
				100,00	
				<i>Total</i>	1128,00

4.4.1 Elaboración de briquetas

Se tomó la cantidad del agregado, según el diseño para cada porcentaje de asfalto y este se dejó la noche anterior en el horno, para que alcanzara la temperatura indicada para llevar a cabo las briquetas, de 160 grados centígrados, luego se le añadió la cantidad de asfalto, según el diseño para completar los 1200 gramos, como lo indica la figura 21.

Figura 21: Vertimiento del asfalto en el agregado



Fuente: Propia

Se procedió a mezclar el agregado y el asfalto, hasta alcanzar una mezcla homogénea de un color totalmente negro como se observa en la figura 22.

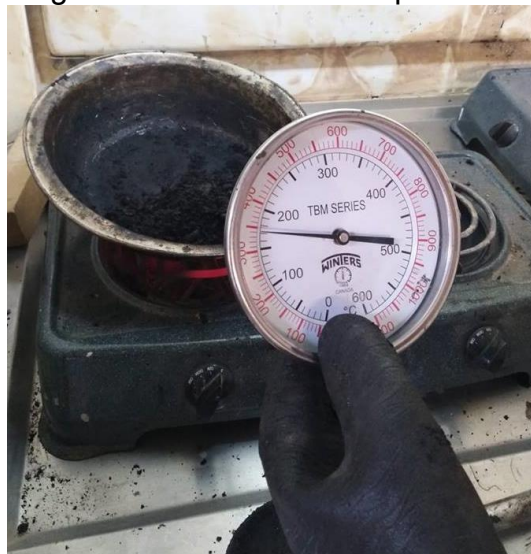
Figura 22: Mezcla del asfalto con el agregado



Fuente: Propia

Cuando quedo el agregado totalmente cubierto por el asfalto, se llevó la muestra a una temperatura de 180 grados centígrados como se puede observar en la figura 23.

Figura 23: Toma de la temperatura.



Fuente: Propia

Se preparó el compactador automático para método Marshall, para proceder a introducir la mezcla como se aprecia en la figura 24

Figura 24: Montaje mezcla asfáltica en compactador.



Fuente: Propia

Se adecuo previamente la maquina con un filtro en la parte superior, y el arillo se sacó del horno, el cual estará a la temperatura de la mezcla, se procede a introducir el material y con ayuda de un destornillador se le da 20 golpes para extraer los vacíos presentes al verter la mezcla, se coloca otro filtro en la parte superior y se procede a colocar el martillo asegurándolo adecuadamente, para arrancar la máquina, al momento en que ella se detenga se debe dar vuelta a la briqueta y se inicia por el otro lado el funcionamiento de la maquina hasta que ella pare, para proceder a extraerla del compactador y retirarle el filtro y dejar en reposo la briqueta debidamente marcada, al estar fría con ayuda del gato manual, se extrae la briqueta del anillo como lo ilustra la figura 25.

Figura 25: Extracción de las briquetas con el gato manual.



Fuente: Propia

Después de la realización de las briquetas:

- Se pulen, es decir se retira las partículas que se encuentran sueltas presentes en aquellas empleando una espátula y un trapo para limpiar.
- Se aconseja marcarlas debidamente con números ya que, a la toma de datos, se reconozca el porcentaje de asfalto al que corresponde. (ver figura 26)

Figura 26: Briquetas elaboradas de la mezcla convencional.



Fuente: Propia

Se le marco una cruz en toda la superficie de las briquetas como se ve en la figura 27, con el fin de establecer cuatro alturas y dos diámetros a cada una de las briquetas, para establecer un dato promedio de los mismos respectivamente.

Figura 27: Briqueta debidamente marcada



Fuente: Propia

Se tomó el respectivo peso seco de cada briqueta, y se procedió a sumergirse en la canasta, para hallar su peso sumergido, se extrajo y se secó con una toalla como lo ilustra la figura 28, se registró el peso superficialmente seco y con los datos obtenidos y por medio de la fórmula, se logró establecer la densidad Bulk de cada una de las briquetas como se puede ver en la tabla N°16.

Figura 28: Toma de pesos para cálculo de densidad Bulk



Fuente: Propia

Se llevaron las briquetas a baño de maría hasta que el agua alcanzo una temperatura de 60 grados, dejándolo por un periodo de 30 más o menos 10 minutos, como se aprecia en la figura 29.

Figura 29: Briquetas sumergidas en baño maría



Fuente: Propia

Tabla N°16: pesos respectivos para cálculo de la gravedad Bulk

<i>Briqueta</i>	<i>Altura (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Peso Seco (g)</i>	<i>Peso Sumergido (g)</i>	<i>Peso Superficialmente Seco (g)</i>	<i>Gravedad Bulk</i>
1	66	98	1178,20	646	1179,300	2,209
	66	97				
	67					
	67					
Promedio	66,5	97,5				
2	66	98	1166,00	637	1167,400	2,198
	67	99				
	66					
	66					
Promedio	66,25	98,5				
3	67	98	1194,40	652	1196,500	2,194
	68	99				
	67					
	68					
Promedio	67,5	98,5				
4	68	97	1187,50	651	1189,600	2,205
	67	98				
	67					
	68					
Promedio	67,5					
5	67	99	1184,70	696	1185,700	2,419
	67	99				
	67					
	67					
Promedio	67	99				

6	67	99	1174,70	644	1177,000	2,204
	67	98				
	67					
	67					
Promedio	66,75					
7	66	98	1174,60	648	1176,400	2,223
	66	99				
	66					
	67					
Promedio	66,25	98,5				
8	67	99	1192,70	655	1193,800	2,214
	67	99				
	67					
	68					
Promedio	67,25	99				
9	67	99	1185,10	651	1188,900	2,211
	67	99				
	67					
	67					
Promedio	67	99				
10	66	98	1197,90	666	1198,500	2,250
	66	99				
	66					
	67					
Promedio	66,25	98,5				

11	66	98	1183,10	658	1184,500	2,247
	66	99				
	66					
	66					
Promedio	66	98,5				
12	66	99	1184,30	656	1185,900	2,235
	66	99				
	66					
	66					
Promedio	66	99				
13	66	99	1210,80	682	1212,000	2,285
	66	99				
	66					
	66					
Promedio	66	99				
14	64	99	1162,60	655	1164,000	2,284
	64	98				
	64					
	64					
Promedio	64	98,5				
15	65	99	1196,00	673	1197,700	2,279
	65	99				
	65					
	65					
Promedio	65	99				

Fuente: Propia

Para extraerlas y llevarlas directamente a la maquina Marshall (figura 30), como se puede apreciar en el montaje, realizando su respectiva ejecución y así obtener los datos de estabilidad, flujo y corrección de la estabilidad.

Figura 30: Ensayo método Marshall



Fuente: Propia

Se obtienen los resultados como se ilustra en la figura 32 y se pueden ver especificados en la siguiente tabla N°17.

Tabla N°17: Datos arrojados de la maquina Marshall

<i>Briqueta</i>	<i>Fuerza Máxima (KN)</i>	<i>Estabilidad Lb</i>	<i>Flujo</i>
1	12,950	2744,917	2,736
2	14,800	3057,402	3,155
3	15,690	3259,730	3,217
4	16,440	3484,539	3,022
5	14,540	3147,325	4,592

Fuente: Propia

4.4.2 Gravedad específica máxima de mezclas asfálticas para pavimentos I.N.V E – 735 - 13

Al finalizar el método Marshall, se calentó una de las briquetas a 110 grados centígrados, hasta alcanzar que la misma separe cada una de las partículas que se encuentran compactadas, las muestras se expanden en el mesón para separarlas por completo como lo indica la Figura 31, se procede a introducir una muestra de 56g de la mezcla asfáltica en un matraz, para llenarla de agua hasta alcanzar los 1000 ml.

Figura 31: Material en partículas diminutas



Fuente: Propia

Se puso en la plancha eléctrica para lograr que el matraz alcance su punto de ebullición y de esta manera se elimine los vacíos presentes en la muestra, como se aprecia en la figura 32.

Figura 32: Muestra en su punto de ebullición



Fuente: Propia

Luego se dejó enfriar hasta lograr los 25 grados centígrados de temperatura y se tomó el peso de la muestra, posteriormente se llenó el matraz hasta los 1000 ml de agua y se pesó, y al finalizar también se tomó el peso del matraz vacío, dicho procedimiento se puede evidenciar en la figura 33.

Figura 33: Muestra en el picnómetro

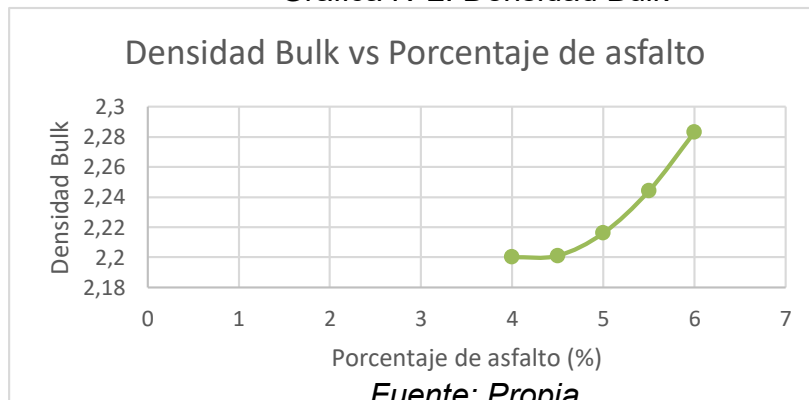


Fuente: Propia

4.5 Calculo del porcentaje óptimo de asfalto

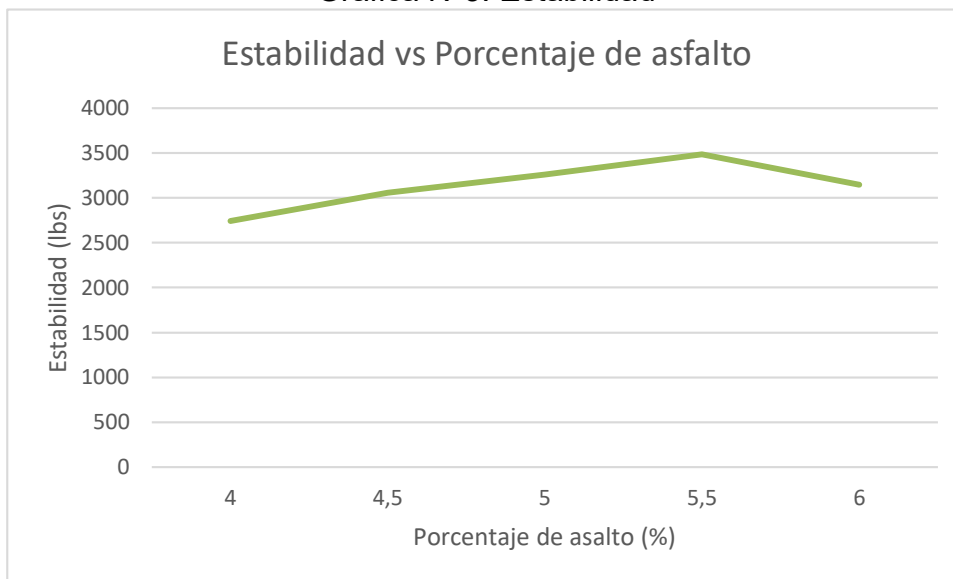
Se hallaron las gráficas estabilidad, % vacíos y densidad Bulk, con el fin de obtener el % óptimo de asfalto comprendido entre el 4% al 6%.

Gráfica N°2: Densidad Bulk



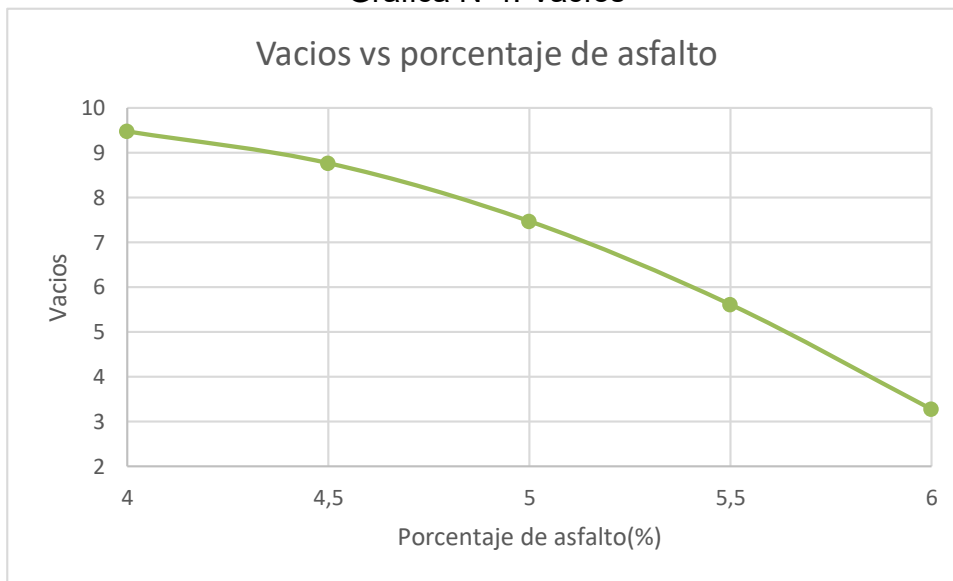
Fuente: Propia

Grafica N°3: Estabilidad



Fuente: Propia

Grafica N°4: Vacíos



Fuente: Propia

Como se aprecia en las gráficas N°2 – N°4 se tomaron los valores máximos de cada uno de ellas en excepción la de vacíos, allí se halló como lo indica la norma, de esta forma se halló el promedio y se obtuvo su porcentaje óptimo de asfalto.

5. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS MODIFICADAS

Al obtener el porcentaje óptimo de asfalto, se estableció que este fue de 5.7%, valor que se utilizó para determinar el diseño de la mezcla asfáltica modificada, como lo muestra la siguiente Tabla N°18.

Tabla N°18: Diseño para una mezcla de porcentaje óptimo de asfalto

MDC-19			% asfalto	5,7	
W total (gr)	1131,6		(g) asfalto	68,4	
# Tamiz	Límite mínimo	Límite mínimo	Valor Medio	W retenido (%)	W retenido (gr)
1"	100	100	0	0	0
3/4"	100	100	0	0	0
1/2"	80	95	87,5	12,5	141,45
3/8"	70	88	79	8,5	96,186
N°4	49	65	57	22	248,952
N°10	29	45	37	20	226,32
N°40	14	25	19,5	17,5	198,03
N°80	8	17	12,5	7	79,212
N°200	4	8	6	6,5	73,554
Fondo	0	0	0	6	67,896
				100	
				Total	1131,6

Fuente: Propia

Se estableció una variación del porcentaje de cemento portland desde el 0% cada 25% hasta el 100%, el cual varia el fondo de la mezcla asfáltica, se llevaron a cabo las briquetas modificadas de igual forma que las convencionales, tomando sus respectivos pesos para establecer la densidad Bulk como se puede apreciar en la siguiente Tabla N°19.

Tabla N°19: Tabla de estabilidad, flujo y corrección de la mezcla modificada

<i>Briqueta</i>	<i>Altura (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Peso Seco (g)</i>	<i>Peso Sumergido (g)</i>	<i>Peso Superficialmente Seco (g)</i>	<i>Gravedad Bulk</i>
1	66	98	1187,6	661,7	1190,5	2,246
	66	99				
	67					
	67					
Promedio	66,5	98,5				
2	66	98	1182,8	659,3	1184,2	2,253
	66	99				
	66					
	64					
Promedio	65,5	98,5				
3	66	99	1185,4	659,9	1187,4	2,247
	67	99				
	68					
	66					
Promedio	66,25	99				
4	67	99	1194	667,4	1194,8	2,264
	66	98				
	67					
	66					
Promedio	66,5	98,5				
5	67	97	1207,8	675,3	1209,8	2,280
	67	98				
	67					
	68					
Promedio	67,25	97,5				

6	68	99	1189	663,6	1190	2,259
	67	99				
	67					
	67					
Promedio	66,75	99				
7	65	98	1174,7	658,8	1175,3	2,274
	68	99				
	65					
	68					
Promedio	65,5	98,5				
8	65	98	1192,8	673,2	1194,2	2,289
	66	99				
	66					
	66					
Promedio	65,75	98,5				
9	64	98	1191,4	676,2	1191,7	2,311
	64	99				
	65					
	64					
Promedio	64,25	98,5				
10	63	98	1194,6	684,6	1194,9	2,341
	65	99				
	64					
	64					
Promedio	64	98,5				

11	66	99	1191,9	674,9	1193,7	2,297
	66	99				
	66					
	66					
Promedio	66	99				
12	65	98	1185,9	675,8	1187	2,320
	65	98				
	65					
	65					
Promedio	65	98				
13	63	99	1189,4	687,4	1190	2,366
	64	99				
	63					
	64					
Promedio	63,5	99				
14	63	99	1173,4	675,5	1173,9	2,354
	64	99				
	63					
	64					
Promedio	63,5	99				
15	62	99	1174,6	680,3	1174,8	2,375
	62	99				
	62					
	62					
Promedio	62	99				

Fuente: Propia

Hasta lograr establecer por el método Marshall de su estabilidad y flujo (ver Tabla N°20)

Tabla N°20: Datos arrojados de la maquina Marshall, briqueta modificada

Briqueta	Fuerza Máxima (KN)	Estabilidad (Lb)	Flujo
1	8,974	1908,400	4,383
2	11,377	2384,100	4,288
3	11,753	2550,010	4,616
4	14,930	2712,540	4,965
5	12,583	2692,760	4,611

Fuente: Propia

Se calculó su respectiva densidad Bulk. De igual forma que en las briquetas convencionales, como se puede apreciar en la Tabla N°21. Así mismo se procedió a efectuar cinco briquetas en la compactadora giratoria de 5.7%, de asfalto, con los pesos que se describen en la siguiente tabla respectivamente.

Tabla N°21: Peso de las briquetas elaboradas en el compactador giratorio

Cemento (%)	Peso (g)	Densidad Bulk
0	2711	2,249
25	2768	2,261
50	2768	2,291
75	2748	2,319
100	2748	2,365

Fuente: Propia

Se realizó una variación en la cantidad del cemento portland partiendo del 0% cada 25 % hasta llegar al 100%, dicha variación reemplazó el material fino, para obtener los módulos dinámicos de las mismas a una temperatura de 15°C, 25°C y 35°C por medio de la DTS- 30, se adecuaron las briquetas, pegándose los pines con el respectivo molde, para instalar de esta manera cada uno de los conectores de la máquina, como se puede apreciar en la figura 34.

Figura 34: Briquetas para módulos dinámicos



Fuente: Propia

Al llevar acabo el ensayo de módulos dinámicos se tomó las siguientes Frecuencias y número de ciclos, basándonos en los datos recomendados por el Manual de la maquina Dts-30 descritos en la Tabla N° 22.

Tabla N°22: Frecuencias y ciclos a utilizar ensayo de módulos dinámicos

Frecuencia (Hz)	N° ciclos
25	200
10	200
5	100
1	20
0,5	15
0,1	15

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2005

Cabe resaltar que los datos de temperaturas utilizados, se tomaron según el estado climático promedio de la ciudad de Bucaramanga, un valor bajo un intermedio y otro alto.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Porcentaje de asfalto

Al llevar a cabo el análisis del resultado de los ensayos efectuados a las briquetas convencionales con variación de 0.5% en el porcentaje de asfalto desde el 4% hasta el 6%, se puede detallar mediante la gráfica N°2 Densidad Bulk vs Porcentaje de asfalto, que a medida que aumenta el porcentaje de asfalto en la mezcla su densidad Bulk también presenta un incremento lo que nos indica una mejora en las condiciones del pavimento, la gráfica N°3 Estabilidad vs Porcentaje de asfalto, nos muestra como a medida que se aumenta el porcentaje de asfalto este se hace más estable hasta alcanzar su valor óptimo, en la gráfica N°4 vacíos vs Porcentaje de asfalto, se logró determinar que el cemento asfáltico a medida que aumento su proporción, el porcentaje de vacíos presente en la mezcla, disminuyo hasta ser casi nulo.

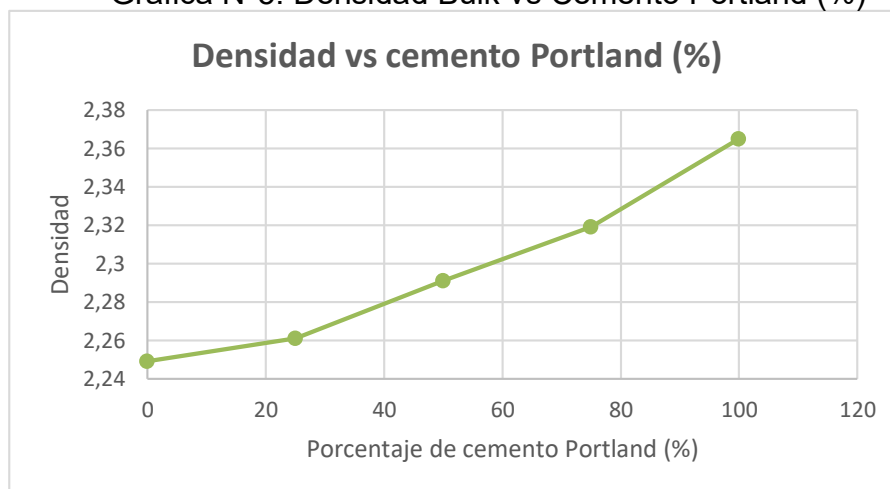
6.2 Densidad Bulk

Al llevar a cabo el análisis del resultado de los ensayos efectuados a las briquetas modificadas con cemento Portland, se hará una breve contextualización de las gráficas siguientes:

En la gráfica N°5 se aprecia que a medida que se aumentó el porcentaje de cemento a su vez su densidad Bulk aumento, obteniendo una densidad mayor de 2,365 para una sustitución del 100% de los finos por cemento Portland.

Comparando dicha grafica junto con la gráfica N°2 se observa que la gráfica convencional al contener el 0% de cemento Portland sus densidades se encuentran en el mismo porcentaje de cemento de la modificada.

Grafica N°5: Densidad Bulk vs Cemento Portland (%)



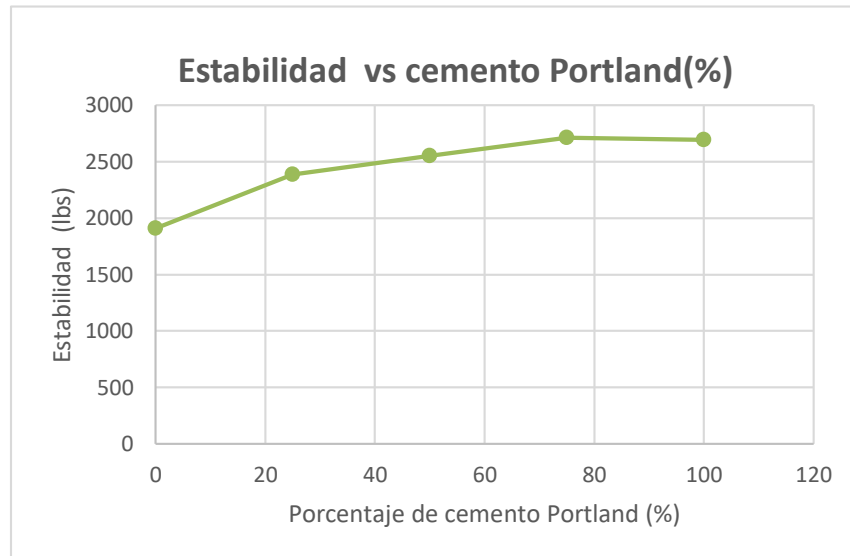
Fuente: Propia

6.3 Método Marshall

De la gráfica N°6, se puede determinar que la briqueta del 75% de cemento presento mejor estabilidad, y al ser analizada con la gráfica N°3 esta presenta mayor estabilidad en todos los contenidos de asfaltos, para visualizar de mejor manera dicho análisis se realizó la gráfica N°7.

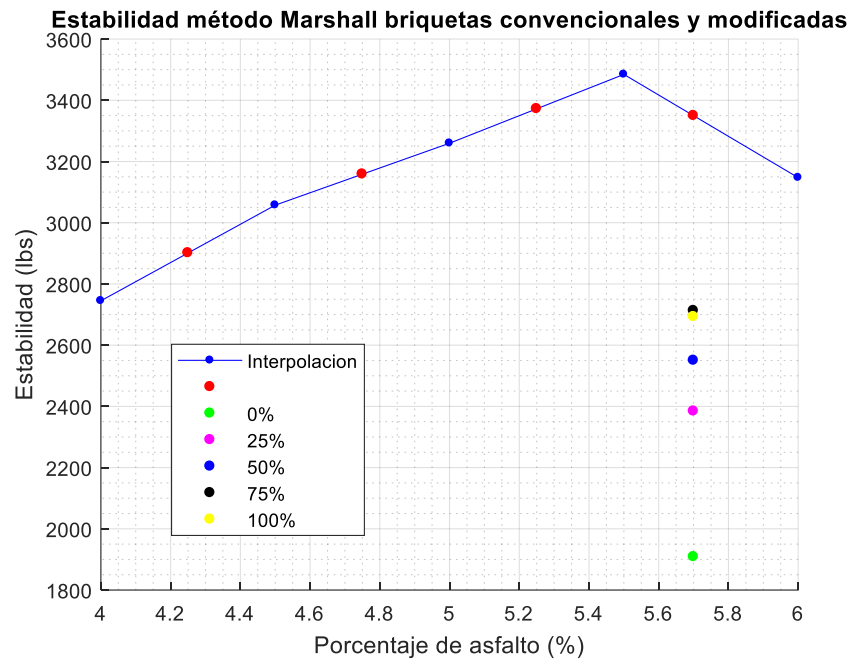
Se interpola para determinar en la gráfica convencional el valor de estabilidad para un porcentaje de asfalto del 5,7% que fue la utilizada para las modificadas; y de esta manera se confirmó que presenta mayor estabilidad todos los porcentajes de asfalto de la mezcla convencional.

Grafica N°6: Estabilidad vs Cemento Portland



Fuente: Propia

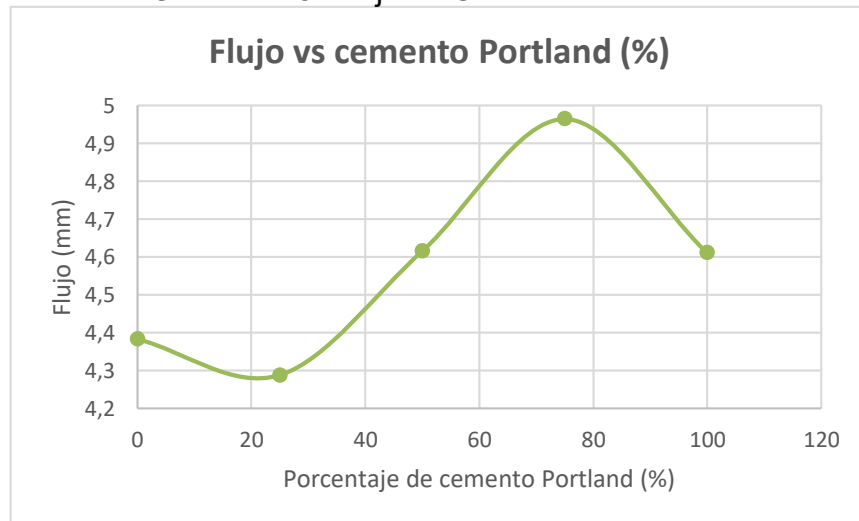
Grafica N°7: Comparación de estabilidad de las briquetas convencionales y modificadas



Fuente: Propia

El método Marshall nos dio como resultado de flujo lo establecido en la gráfica N°8 para mezcla asfáltica modificada presentando ascensos y descensos en los porcentajes de 0% al 100% de cemento Portland. Obteniendo mayor flujo para el contenido del 75% con un 4,965 mm.

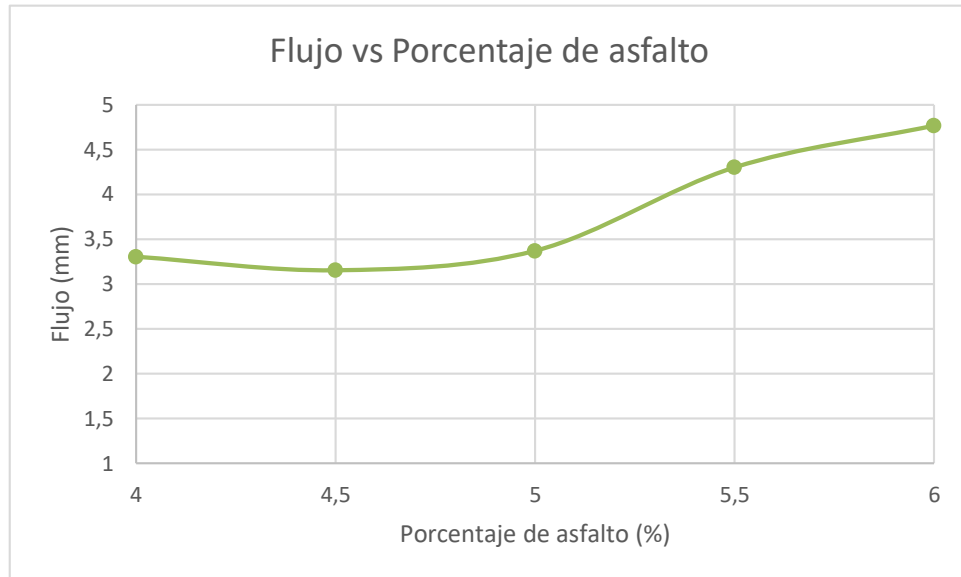
Grafica N°8: Flujo vs Cemento Portland



Fuente: Propia

En la gráfica N°9 de la mezcla convencional se presenta una tendencia ascendente presentando su punto más elevado de 4,765 mm para un contenido del 6% de asfalto.

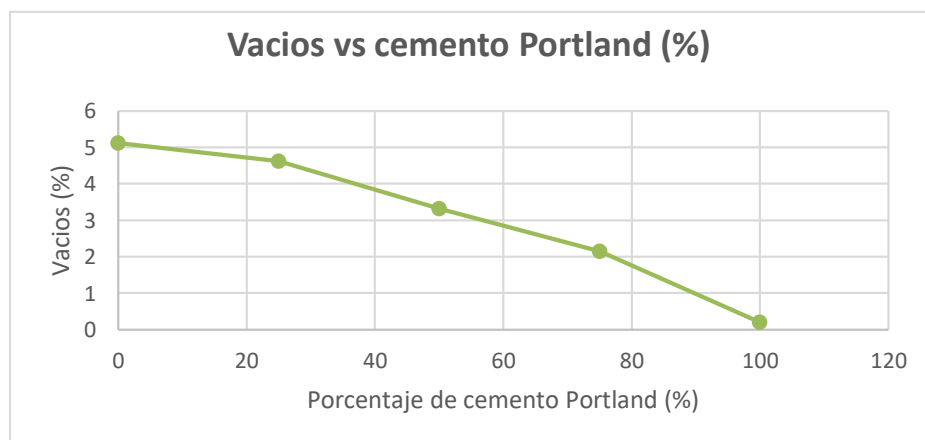
Grafica N°9: Flujo vs Porcentaje de asfalto



Fuente: Propia

En la gráfica N°10 se presenta una disminución del porcentaje de vacíos contenidos en la mezcla modificada a medida que se aumenta el porcentaje de cemento Portland. Esta misma tendencia se apreció en la gráfica N°4 cuyos vacíos decrecieron a medida que aumento el porcentaje de asfalto.

Grafica N°10: Vacíos vs Cemento Portland



Fuente: Propia

6.4 Módulos Dinámicos

Al realizar los módulos dinámicos se tuvieron en cuenta las frecuencias 25, 10, 5, 1, 0.5, y 0.1 para temperaturas de 15°C, 25°C y 35°C. A cada uno de las briquetas del 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de contenido de cemento Portland. (Tabla N°23)

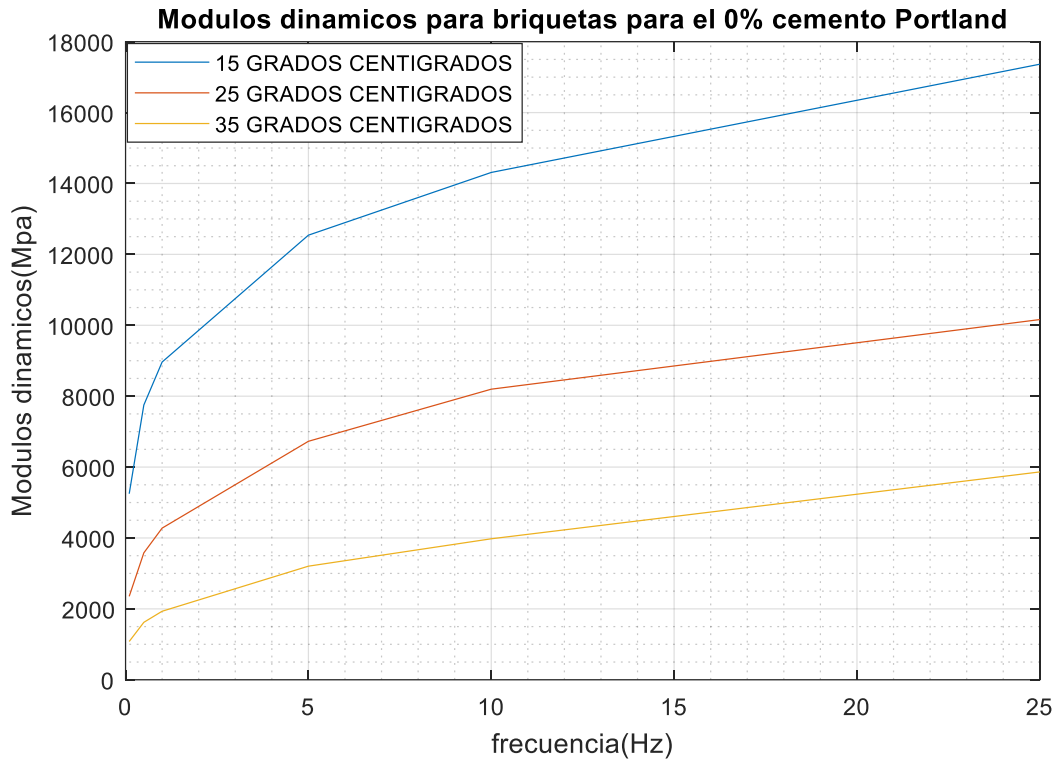
Tabla N°23: Módulos dinámicos para la mezcla modificada

T (°C)	Cemento Portland (%)	Módulos dinámicos (Mpa)					
		25	10	5	1	0,5	0,1
15	0%	17364,61	14311,39	12541,86	8963,607	7751,123	5248,284
25		10161,41	8197,093	6727,397	4278,034	3580,264	2353,292
35		5862,993	3976,878	3204,405	1933,078	1620,428	1080,363
15	25%	27780,62	23861,59	21157,66	15759,28	13771,11	9640,62
25		12553,97	9654,398	7979,841	5028,752	4118,723	2594,001
35		6537,113	4721,364	3811,216	2244,169	1863,851	1204,216
15	50%	18652,8	16043,39	14496,72	10754,73	9444,953	6691,857
25		13720,73	10519,45	8777,698	5672,365	4747,274	3090,141
35		7186,456	4696,568	3815,819	2301,109	1937,461	1265,934
15	75%	30868,34	24995,58	21805,46	15661,52	13433,94	9200,87
25		22693,77	14724,79	12061,93	7468,175	5958,577	3700,379
35		9655,459	7321,841	5734,348	3406,699	2765,712	2257,727
15	100%	31023,86	29156,19	28216,6	20952,1	18475,43	13482,29
25		20261,2	15685,79	13173,81	8906,985	7655,051	5112,509
35		11047,38	8243,395	6793,697	4364,266	3410,323	2038,579

Fuente: Propia

La grafica N°11 presenta las curvas según la temperatura para un contenido del 0% de cemento Portland formada por los módulos de su frecuencia, de forma creciente dando como resultado, mayor módulo dinámico a una temperatura de 15°C y menor a 35°C.

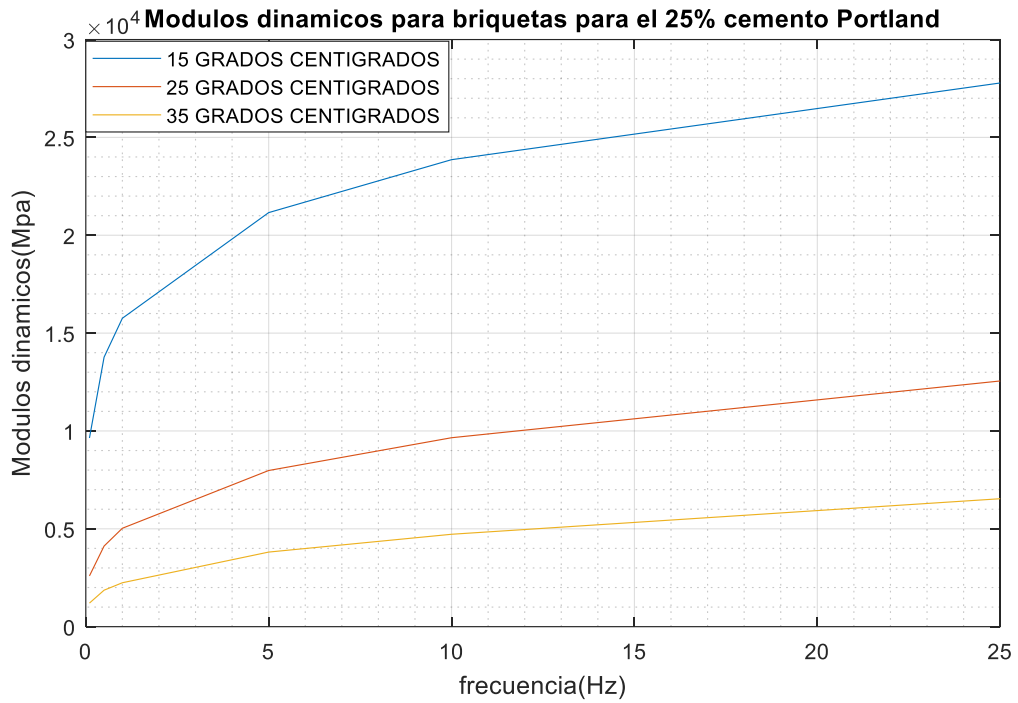
Grafica N°11: Briqueta del 0% de cemento Portland a tres temperaturas



Fuente: Propia

La grafica N°12 presenta las curvas según la temperatura para un contenido del 25% de cemento Portland formada por los módulos de su frecuencia, de forma creciente, dando como resultado mayor módulo dinámico a una temperatura de 15°C y menor a 35°C.

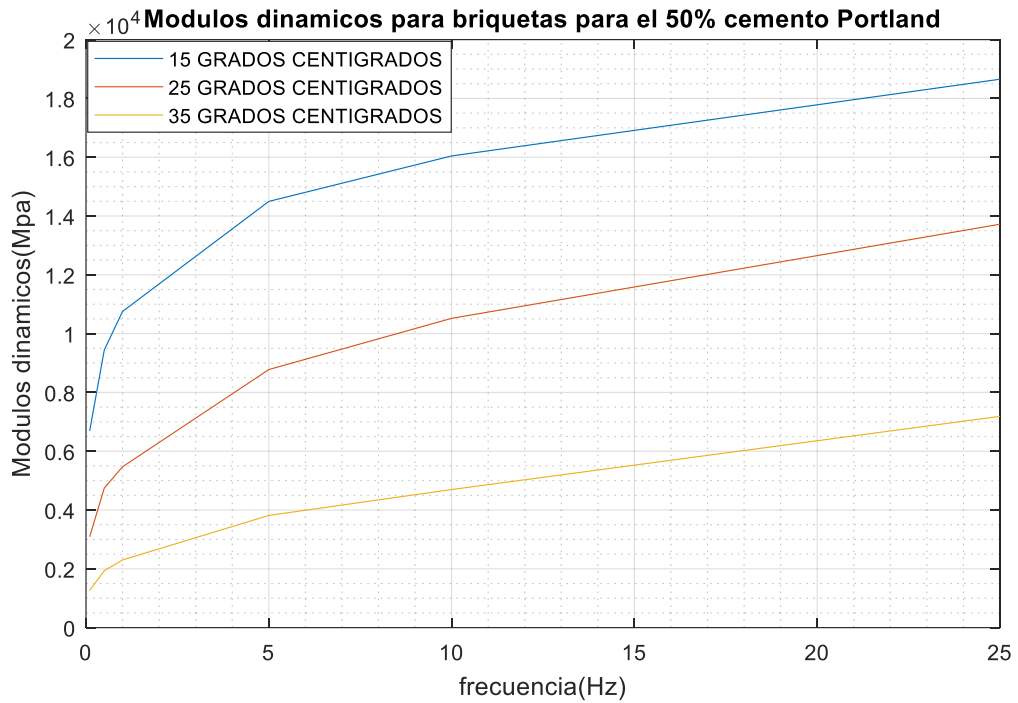
Grafica N°12: Briqueta del 25% de cemento Portland a tres temperaturas



Fuente: Propia

La grafica N°13 presenta las curvas según la temperatura para un contenido del 50% de cemento Portland formada por los módulos de su frecuencia, de forma creciente dando como resultado, mayor módulo dinámico a una temperatura de 15°C y menor a 35°C.

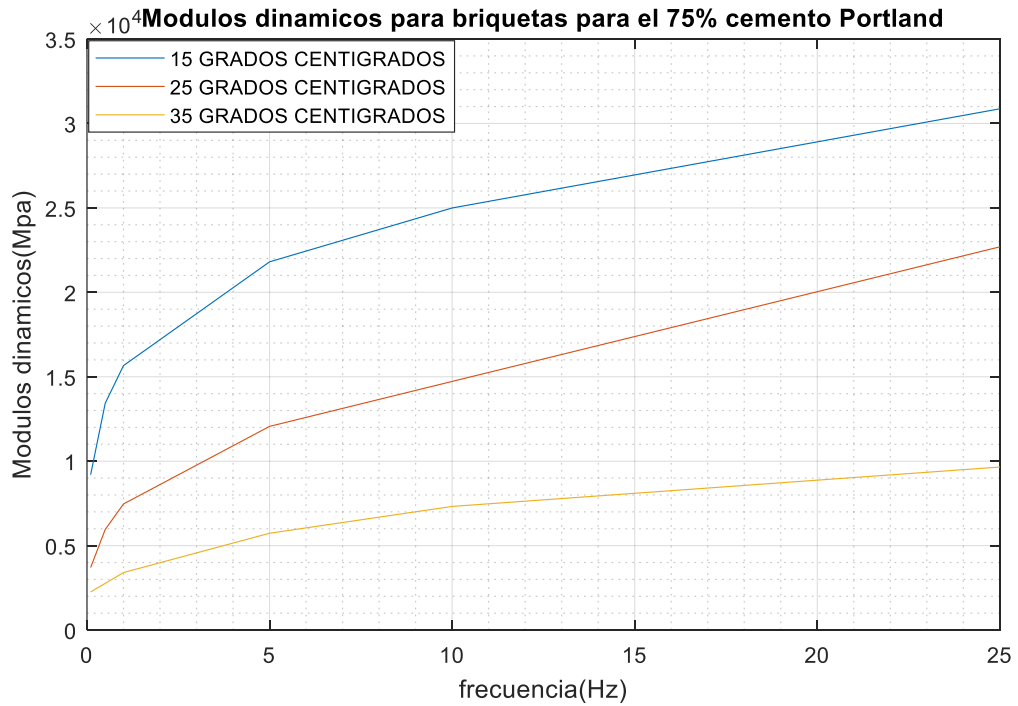
Grafica N°13: Briqueta del 50% de cemento Portland a tres temperaturas



Fuente: Propia

La grafica N°14 presenta las curvas según la temperatura para un contenido del 75% de cemento Portland formada por los módulos de su frecuencia, de forma creciente dando como resultado, mayor módulo dinámico a una temperatura de 15°C y menor a 35°C.

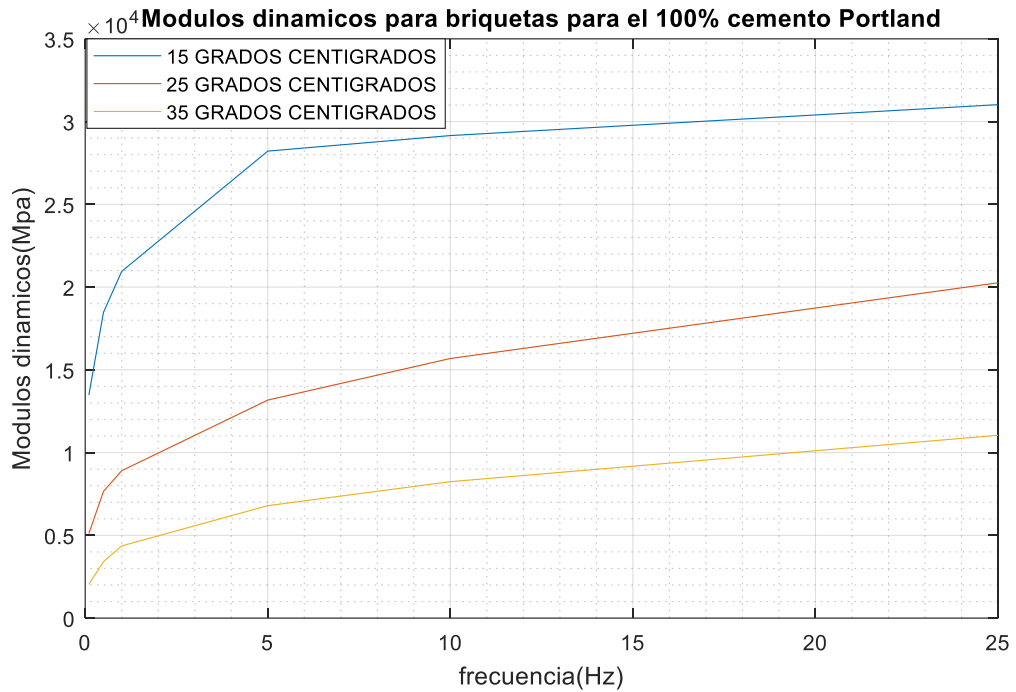
Grafica N°14: Briqueta del 75% de cemento Portland a tres temperaturas



Fuente: Propia

La grafica N°15 presenta las curvas según la temperatura para un contenido del 100% de cemento Portland formada por los módulos de su frecuencia, de forma creciente dando como resultado, mayor módulo dinámico a una temperatura de 15°C y menor a 35°C.

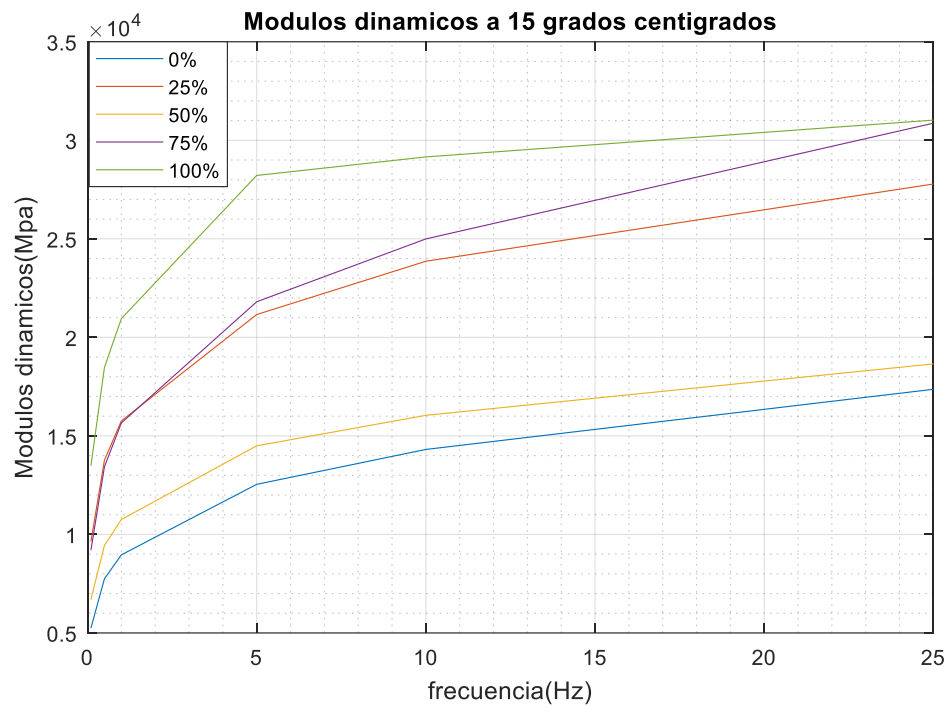
Grafica N°15: Briqueta del 100% de cemento Portland a tres temperaturas



Fuente: Propia

En la gráfica N°16 se puede observar que los módulos dinámicos a una temperatura de 15°C aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de cemento Portland, alcanzando su máximo valor 31023,86 Mpa para un porcentaje del 100%, así mismo con su frecuencia máxima de 25 Hz.

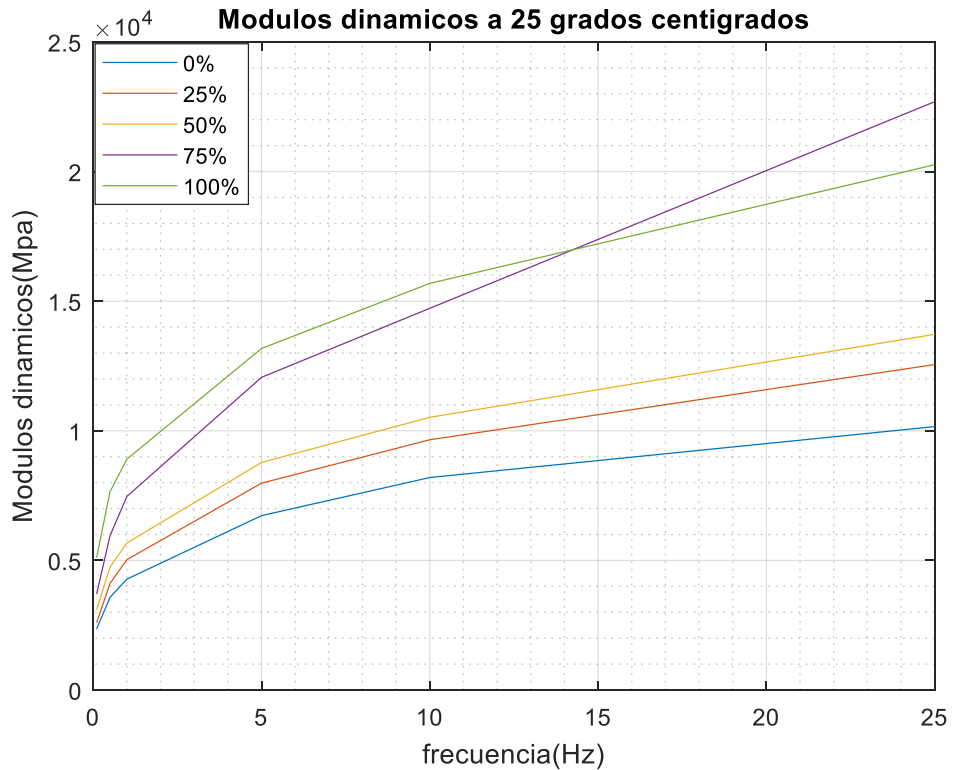
Grafica N°16: Briquetas modificadas con sus módulos dinámicos a 15°C



Fuente: Propia

En la gráfica N°17 se puede observar que los módulos dinámicos a una temperatura de 25°C aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de cemento Portland, sin embargo, al alcanzar la frecuencia de 25 Hz, la tendencia de la gráfica del 75% de cemento logro su máximo valor de módulos dinámicos de 22693,77 Mpa superando al del 100%.

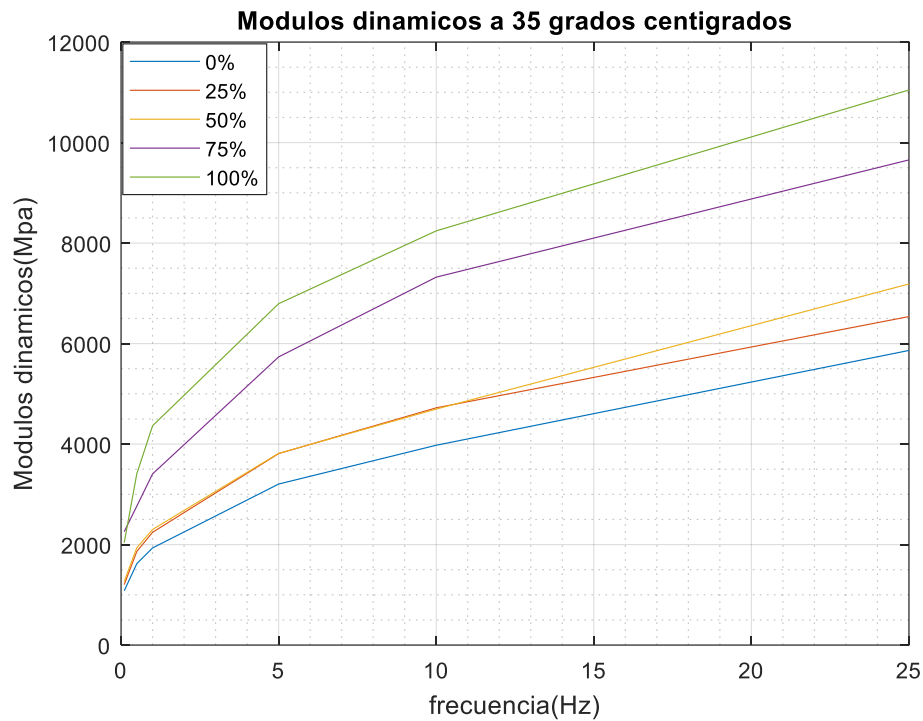
Grafica N°17: Briquetas modificadas con sus módulos dinámicos a 25°C



Fuente: Propia

En la gráfica N°18 se puede observar que los módulos dinámicos a una temperatura de 35°C aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de cemento Portland, así mismo se pudo apreciar que las tendencias de las curvas de 25% y 50% presentaron valores similares a medida que se incrementó su frecuencia por lo que se ve reflejadas sobrepuestas, a dicha temperatura su máximo valor fue de 11047,38 Mpa para un porcentaje del 100%, así mismo con su frecuencia máxima de 25 Hz.

Grafica N°18: Briquetas modificadas con sus módulos dinámicos a 35°C



7. CONCLUSIONES

- ✓ Durante los ensayos de caracterización del agregado procedente del Rio Fonce y el asfalto 60-70 empleado en este diseño de mezcla asfáltica, se logró determinar que estos cumplen con todas las especificaciones requeridas según la norma INVIAS 2013 en el artículo 450.
- ✓ El porcentaje óptimo de asfalto fue del 5.7%, de acuerdo a los criterios de estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos.
- ✓ Al analizar el porcentaje de vacíos se determinó que a medida que se incrementa el porcentaje de cemento Portland, el porcentaje de vacio en las mezclas modificadas, disminuyó.
- ✓ Los módulos dinámicos máximos fueron encontrados para 15 y 35 grados centígrados en las mezclas del 100% de cemento portland.
- ✓ Se logró establecer que, a temperatura más baja, se presentaron los mayores módulos dinámicos, sin importar el porcentaje de cemento portland.
- ✓ Se dedujo que el mejor resultado de módulos dinámicos se presentó para una briqueta de 100% de cemento portland a una temperatura de 15 grados centígrados.

8. RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta las reglas y normas de las instalaciones de la universidad que se desea emplear.
- Cuadrar horario personal de trabajo, disponiendo del tiempo de los auxiliares de laboratorio.
- Realizar un cronograma según el orden adecuado de los ensayos estipulados, guiado en la norma INVIAS actualizada, para así conocer las instalaciones óptimas y el equipo necesario para llevarlo a cabo.
- Hacer uso de las medidas de seguridad como lo es los guantes para altas temperaturas, tapabocas, botas, bata, pantalón largo, etc...
- En este proyecto de grado, se recomienda hacer un buen tamizado y procederlo a dejarlo separado por cada serie de tamiz.
- En cuanto a la realización de los módulos dinámicos, se obtuvo dificultades con los pines ya que las platinas al ser ajustadas no encajaban por completo, por lo tanto, se le recomienda a la UPB corroborar las medidas exactas de aquellos pines para la maquina DTS- 30, también tener un control adecuado del equipo ya que este no presentó una adecuada configuración del sistema.
- Se recomienda que las mezclas con adición de cemento sean curadas antes de ser ensayadas

9. BIBLIOGRAFÍA

- Amaya Marrugo , W. E., & Soto Calle, J. A. (2015). *Evaluacion de las propiedades mecanicas de una mezcla de asfalto discontinua con adiccion de cemento portland*. Cartagena.
- Construccion, C. (2017). *Canal Construccion* . Obtenido de <http://canalconstruccion.com/cemento-portland-usos-y-tipos.html>
- Giordani, C., & Leone, D. (2008). *Pavimentos*. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf
- Horta Calderon, A. M., & Niño Niño , M. C. (2015). *Modificacion de mezclas densas en caliente con residuos de caucho vulcanizado de botas militares, cuero proveniente de una remontadora de calzado, cemento asfaltico 80- 100 y agregado de peña* . Bogota: Universidad Catolica de Colombia.
- INVIAS. (2012). *Manual de Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras* . Bogota .
- Janeth, B. R. (2016). *Caracterizacion de diseño, mdc - 19, mezcla asfaltica, asfalto modificado con grano caucho de llantas gre y mezcla asfaltica gre con polimeros* . Bogota D.C - Cundinamarca : Universidad Militar Nueva Granada .
- Javier, B. (s.f.). *Densidad Bulk*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/221406398/Densidad-Bulk>
- Rodriguez - Gallego, K. L. (2005). *Mejora de una mezcla asfaltica drenante con adiccion de caucho e icopor* . Bogota .
- Rondon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2013). Evaluacion de las propiedades mecanicas de una mezcla densa en caliente modificada con asfaltita. *Red de revistas cientificas de America Latina y el Caribe, España y Portugal*.
- Santagelo, R. T. (1993). *Diseño estructural, construccion y conservacion de pavimentos*. Popayan : Universidad del Cauca.