

**COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE
MODIFICADA CON LA ADICIÓN DE PVC MOLIDO (RECICLADO)**

**SERGIO ANDRÉS GÓMEZ
FABIÁN PRADA AYALA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
COMITÉ TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA
2015**

**COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE
MODIFICADA CON LA ADICIÓN DE PVC MOLIDO (RECICLADO)**

**SERGIO ANDRÉS GÓMEZ
FABIÁN PRADA AYALA**

Proyecto de grado como requisito para optar Al título de ingeniero civil

Director:

M.S.C. NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
COMITÉ TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA**

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, septiembre de 2015.

DEDICATORIA

Primero que todo a DIOS, porque gracias a las bendiciones que ha derramado sobre mí y sobre mi familia hoy puedo obtener este triunfo tan importante en mi vida.

A mi madre Myriam Gómez Sierra, que es la segunda persona más importante en mi vida después de DIOS, y es la persona que por medio de su ejemplo, dedicación y esfuerzo ha hecho posible que esté cumpliendo esta meta.

A mis tíos Jaime Gómez y Luis Antonio Gómez, que directa o indirectamente me ayudaron a tomar la decisión de estudiar ingeniería civil la cual pienso que ha sido la mejor decisión que he tomado hasta el día de hoy.

A mi novia Diana Carolina Flórez, que ha sido mi gran compañera en el desarrollo individual y grupal para cumplir nuestras metas y es por ello que gracias a DIOS en este año los dos hemos culminado nuestros estudios.

A mis tías abuelas Celina Arenales y Alejandrina Gómez, que siempre me han brindado su apoyo, cariño y comprensión.

A los todos demás abuelos, tíos, primos y amigos que se comparten esta alegría conmigo y siempre supieron darme un apoyo moral.

Sergio Andrés Gómez

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza, salud y empeño para culminar con mi proyecto de grado, a mi familia que siempre me apoyaron en todo este proceso.

A mis padres Rosalba e Iván, por brindarme su apoyo y la oportunidad de cumplir este logro como ingeniero civil.

A mi hermano Iván Andrés, por brindarme su apoyo y su empeño para que este logro se hiciera realidad.

Fabián Prada Ayala

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a DIOS, por llenarme de bendiciones en el trascurso de mi vida, porque gracias a él y a mi esfuerzo hoy puedo culminar satisfactoriamente otra etapa de mi vida y me encomiendo a ti padre celestial pidiéndote que me guíes en el nuevo camino que voy a emprender.

A mi madre Myriam Gómez Sierra, por brindarme siempre lo mejor, por ser una excelente madre a la cual le toco jugar el papel de padre y madre al mismo tiempo, porque si no fuera por ti mamá este logro obtenido no hubiese sido posible.

A mis tíos Jaime Gómez y Luis Antonio Gómez, que en diferentes etapas de mi vida jugaron un papel como padres adoptivos conmigo, brindando apoyo cuando lo he necesitado siendo un ejemplo para mi vida en varios aspectos cada uno.

A mi novia Diana Carolina Flórez, la cual se ha convertido en una de las personas más importantes en mi vida brindándome su apoyo, motivación, respaldo y cariño.

A mis tías abuelas Celina Arenales y Alejandrina Gómez, mis segundas madres las cuales me han llenado de cariño y comprensión, brindándome sus consejos incondicionales.

A los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana por todas sus enseñanzas, y en especial a la Ingeniera Norma Cristina Solarte por brindarme el apoyo en esta última etapa de mi carrera ofreciéndonos su conocimiento para realizar satisfactoriamente el proyecto de grado.

Sergio Andrés Gómez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermano por acompañarme, apoyarme y ofrecerme su colaboración y su apoyo incondicional en todo momento.

Agradezco a la ingeniera Norma Cristina Solarte por compartir su experiencia y sus conocimientos, pues sin su contribución no podría alcanzar este gran logro, de culminar mi trabajo de grado.

Agradezco al laboratorio de ingeniería civil por facilitarnos el uso de herramientas y equipos y Al laboratorio de ingeniería ambiental por el préstamo de la cabina extractora de gases.

A la Dirección general de investigaciones, por facilitarnos la ayuda económica para materiales e implementos de seguridad para la realización del proyecto.

Finalmente agradezco a familiares, compañeros y amigos, por ese apoyo incondicional en momentos difíciles.

Fabián Prada Ayala

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. GENERALIDADES	21
1.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.2 JUSTIFICACIÓN	22
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 Objetivo general.....	22
1.3.2 Objetivos específicos	23
1.4 ALCANCE	23
1.5 RELEVANCIA DEL TEMA	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	25
2.1.1 Pavimento flexible.....	25
2.1.2 Pavimento rígido	25
2.1.3 Pavimento Semi-rígido.....	26
2.1.4 Pavimento articulado	26
2.2 AGREGADOS PÉTREOS.....	27
2.3 ASFALTO.....	27
2.3.1 Tipos de asfaltos.....	28
2.3.2 Asfaltos modificados	29
2.3.3 Características reológicas del asfalto	31
2.3.4 Mezcla asfáltica	31
2.3.5 Características de la mezcla asfáltica.....	32
2.3.6 Clasificación de las mezclas asfálticas	32
2.4 MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE	34

2.4.1 Diseño de mezcla asfáltica por método de Marshall.....	35
2.5 POLICLORURO DE VINILO (PVC)	36
2.5.1 Características del PVC.....	36
2.6 ESTUDIOS PREVIOS SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS.....	37
3. METODOLOGÍA	40
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR y PVC MOLIDO	43
3.1.1 Granulometría de los agregados gruesos, finos y PVC (I.N.V.E -213).	43
3.1.2 Índice de aplanamiento y alargamiento (I.N.V.E- 230).....	46
3.1.3 Caras fracturadas (I.N.V.E 227).....	48
3.1.4 Equivalente de arena de suelos y agregados fino (I.N.V.E-133).....	49
3.1.5 Resistencia al desgaste de los agregados por medio de la máquina de los ángeles (I.N.V.E -218)	50
3.1.6 Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (I.N.V.E 223) ..	52
3.1.7 Gravedad específica y absorción de los agregados finos (I.N.V.E 222).	55
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BITUMINOSO	57
3.2.1 penetración de los materiales bituminosos (I.N.V.E-706).	57
3.2.2 Punto de ablandamiento del asfalto (aparato de anillo y bola I.N.V.E-712). ..	59
3.2.3 Punto De Inflamación Y Combustión Mediante La Copa Abierta De Cleveland (I.N.V.E 709)	60
3.3 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS A LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.3.1 Asfalto modificado con PVC molido	61
3.3.2 Extracción Del Asfalto En Mezclas para Pavimentos (INVE-732).....	64
3.4 MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE.	67
3.4.1 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (I.N.V.E-748)	67
3.4.2 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Roller Compacter.	76
4. RESULTADOS.....	80
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	80

4.1.1 Granulometría Agregado Fino y Grueso	80
4.1.2 Índice de aplanamiento y alargamiento	82
4.1.3 Caras fracturadas	83
4.1.4 Equivalente de arena	83
4.1.5. Resistencia al desgaste de la máquina de los ángeles.....	84
4.1.6. Gravedad específica y absorción del grueso	84
4.1.7. Gravedad específica y absorción del fino	85
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BITUMINOSO	86
4.3 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS.	86
4.3.1 Modificación del asfalto con PVC molido	86
4.3.2 extracción del asfalto en mezclas de pavimentos (INVE-732)	87
4.4 RESISTENCIA DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL PARA OBTENER EL PORCENTAJE DE ASFALTO ÓPTIMO.....	89
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	91
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL PVC.	91
5.2 RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS.....	92
5.2.1. Prueba Marshall.....	92
5.2.2. Prueba Roller Compacter.....	97
5.2.3. Comparación de resultados método Marshall VS Roller Compacter	102
5.2.4. Identificación del mejor porcentaje de PVC para modificar la mezcla.....	105
6. CONCLUSIONES	108
7. RECOMENDACIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112
ANEXOS	115

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología de los agregados y sus ensayos	42
Figura 2. Metodología Diseño de mezcla densa en caliente y modificada con PVC molido	43
Figura 3. Tamizado del Agregado fino	45
Figura 4. Tamizado del agregado grueso	45
Figura 5. Tamizado del PVC (molido)	46
Figura 6. Calibrador (para índice de aplanamiento)	47
Figura 7. Calibrador de longitudes (índice de alargamiento)	48
Figura 8. Equipo para el ensayo equivalente de arena	50
Figura 9. Máquina de los Ángeles	52
Figura 10. Equipo para el ensayo De peso específico del agregado grueso	54
Figura 11. Periodo de inmersión del agregado grueso	54
Figura 12. Proceso de secado superficial de las partículas gruesas	55
Figura 13. Secado del agregado Fino para eliminar humedad	56
Figura 14. Prueba del cono	56
Figura 15. Llenado del agregado fino Saturado al picnómetro	57
Figura 16. Máquina para el ensayo de penetración	58
Figura 17: Punto de ablandamiento del Asfalto	59
Figura 18. Punto De Inflamación Y Combustión del asfalto	61
Figura 19. Cabina extractora de gases materiales	62
Figura 20: Incorporación del material PVC (molido) al material bituminoso	62
Figura 21. Se muestra el uso de la máscara de protección de gases tóxicos	63
Figura 22. Control de temperatura del mezclado	63
Figura 23. Equipo de extracción.	65

Figura 24. Control de la velocidad.	65
Figura 25. Cubrimiento de la porción con el solvente.	66
Figura 26. Muestra sin Asfalto	66
Figura 27. Proceso de calentamiento de los agregados pétreos	70
Figura 28. Proceso de calentamiento la mezcla asfáltica	70
Figura 29. Mezcla homogénea de los agregados.	71
Figura 30. Adecuación de la mezcla en el molde De compactación	71
Figura 31. Compactación de las briquetas.....	72
Figura 32. Peso de la briqueta En el aire	73
Figura 33. Peso de la briqueta sumergida en agua	74
Figura 34. Periodo de baño De agua maría de las briquetas.....	75
Figura 35. Aplicación de carga a la probeta.....	76
Figura 36. Mezcla homogénea en caliente para realizar ensayo Roller Compacter	77
Figura 37. Ensayo Roller Compacter	78
Figura 38. Panela compactada	78
Figura 39. Extracción de núcleos.....	79

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva granulométrica del agregado grueso	81
Gráfica 2. Curva granulométrica del agregado fino.....	82
Gráfica 3. Curva granulométrica del PVC	91
Gráfica 4. Resultados de la relación de vacíos mediante el uso del método Marshall	93
Gráfica 5. Resultados de vacíos de los agregados minerales mediante el uso del método Marshall	94
Gráfica 6. Resultados de la estabilidad mediante el uso del método Marshall	95
Gráfica 7. Resultados del peso unitario mediante el uso del método Marshall	96
Gráfica 8. Resultados del flujo mediante el uso del método Marshall.....	96
Gráfica 9. Resultados de la relación de vacíos mediante el uso de la maquina Roller Compacter.....	98
Gráfica 10. Resultados de vacíos en los agregados minerales mediante el uso de la maquina Roller Compacter.....	99
Gráfica 11. Resultados de la estabilidad mediante el uso de la maquina Roller Compacter.	100
Gráfica 12. Resultados del peso unitario mediante el uso de la maquina Roller Compacter.	101
Gráfica 13. Resultados del flujo mediante el uso de la maquina Roller Compacter.	101
Gráfica 14. Relación de vacíos por el método Marshall vs Roller Compacter.	102
Gráfica 15. Relación de vacíos de agregados minerales por el método Marshall vs Roller Compacter.....	103

Grafica 16. Resultados estabilidad por el método Marshall vs Roller Compacter.
..... 103

Grafica 17. Resultados peso unitarios por el método Marshall vs Roller Compacter.
..... 104

Grafica18. Resultados del flujo por el método Marshall vs Roller Compacter. 105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Antecedentes	38
Tabla 2. Serie de tamices y porcentaje que se retiene en cada tamiz apropiado para el ensayo de granulometría de los agregados.....	44
Tabla 3. Masa mínima para cada tamaño de cada tamiz.....	49
Tabla 4. Formato de granulometria para el desgaste del agregado grueso por medio de la maquina de los angeles.....	51
Tabla 5. Masas mínimas requeridas para ensayo peso específico.....	53
Tabla 6. Proporciones de mezclas asfálticas y modificadas con PVC.....	68
Tabla 7. Artículo 450 -6 franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente.	68
Tabla 8. Diseño sugerido por el instituto del asfalto para el ensayo Marshall.....	69
Tabla 9. Índice de aplanamiento y alargamiento.....	83
Tabla 10. Índice de aplanamiento y alargamiento.....	83
Tabla 11. Equivalente de arena	84
Tabla 12. Ensayo la desgaste de la máquina de los ángeles	84
Tabla 13. Gravedad específica y absorción del agregado grueso	85
Tabla 14. Gravedad específica y absorción del agregado fino	85
Tabla 15. Caracterización del material bituminoso	86
Tabla 16. Porcentaje de asfalto extraído en la muestra del 10% de PVC.....	88
Tabla 17. Porcentaje de asfalto extraído en la muestra del 15% de PVC.....	89
Tabla 19. Resultados Prueba Marshall.....	90
Tabla 19. Porcentaje de asfalto óptimo.....	90
Tabla 20. Resumen de los estudios a las briquetas convencionales y modificadas con el porcentaje óptimo de asfalto mediante el ensayo Marshall.....	92

Tabla 21. Resumen del estudio a las briquetas convencionales y modificadas mediante el ensayo Roller Compacter.	97
Tabla 22. Porcentaje de PVC optimo en el asfalto por el método Marshall	106
Tabla 23. Porcentaje de PVC optimo en el asfalto por el método Roller Compacter.	

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Granulometría agregado grueso	115
ANEXO B. Granulometría agregado fino	116
ANEXO C. Índice de aplanamiento y alargamiento	117
ANEXO D. Caras fracturadas en los agregados.....	118
ANEXO E. Equivalente de arena	119
ANEXO F Resistencia al desgaste de los agregados por medio De La máquina de los Ángeles	120
ANEXO G. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	121
ANEXO H. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	122
ANEXO I. Caracterización del material bituminoso.....	123
ANEXO J. Diseño Marshall convencional.....	125
ANEXO K. Granulometría agregado PVC.....	131
ANEXO L. Diseño de mezclas asfáltica modificado mediante el uso de método de Marshall y maquina Roller Compacter	132
ANEXO M. Comparación de resultados de obtenidos por los dos métodos de investigación.	134
ANEXO N. Resultado de porcentaje de PVC óptimo para el diseño de mezcla asfáltica modificada empleando los dos métodos de investigación.	139

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ALIFÁTICA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON LA ADICIÓN DE PVC MOLIDO (RECICLADO).

AUTOR(ES): SERGIO ANDRÉS GÓMEZ
FABIÁN PRADA AYALA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): M.S.C. NORMA CRISTINA SOLARTE

RESUMEN

El pavimento flexible es la infraestructura más utilizada en la construcción de las mallas viales de un país proporcionando un firme desarrollo, pero debido al constante aumento de cargas que recibe las vías generadas por los ejes de los vehículos, las características de los asfaltos convencionales se torna insuficiente o muy costosas, es por ello que en la presente investigación se busca analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19 modificada mediante la incorporación del polímero policloruro de vinilo (PVC) reciclado, con el fin de brindar una alternativa más estable y sostenible. La investigación implementa una mezcla asfáltica modificada con PVC buscando que garantice un comportamiento en sus características técnicas óptimo y que ofrezca beneficios para que a su vez sea amigable con el medio ambiente al darle uso a un material reciclado. Se realizó la caracterización de los materiales a utilizar, de acuerdo a procedimientos y especificaciones indicadas por la norma INVIAS año 2013, Para llevar a cabo esta investigación fue necesario realizar la comparación entre los métodos empleados, con el objetivo garantizar la veracidad de los resultados ya que el método de la maquina Roller Compacter arrojó una variación de resultados en sus especímenes debido al método de compactación que utiliza. Los resultados concluyentes de la actual experimentación demuestran la viabilidad de la implementación del PVC en la mezcla asfáltica, suministrando como resultado final mejor resistencia en su estabilidad con respecto al flujo y determinando que el porcentaje de PVC sobre el asfalto que brindaría mejor comportamiento es del 13%.

PALABRAS CLAVES:

ASFALTO, MEZCLA ASFÁTICA, PAVIMENTO, PVC, ROLLER COMPACTER.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: BEHAVIOR OF A HOT MIX DENSE ASPHALT MODIFIED WITH THE ADDITION OF MILLED PVC (RECYCLED).

AUTHOR(S): SERGIO ANDRÉS GÓMEZ
FABIÁN PRADA AYALA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: M.S.C. NORMA CRISTINA SOLARTE

ABSTRACT

The flexible pavement infrastructure is the most often used in the construction of road meshes of a country providing a steady development, but due to the steady increase in load received by pathways generated by the axes of the vehicles, the characteristics of conventional asphalts becomes insufficient or too expensive, which is why, the present study endeavors to analyze the behavior of a hot mix, dense asphalt MDC-19 modified by the incorporation of recycled polyvinylchloride (PVC), in order to provide a more stable and sustainable alternative. This research implements a PVC-modified asphalt seeking a behavior that ensures its optimum technical characteristics and offers benefits so it will be environmentally friendly by using recycled material. The characterization of the materials used was conducted according to procedures and specifications indicated by the INVIAS standard. To carry out this research was necessary to do a comparison between the processes used, in order to secure the accuracy of the results since the Roller compacter machine's method produced a variation of results in their specimens The conclusive results of the research demonstrates the feasibility of PVC implementation in the asphalt mixture, providing as a final result better resistance on its stability regarding to the flow and determining that the PVC percentage added on the asphalt that would provide better performance is 13%.

KEYWORDS:

ASPHALT, PAVEMENT, PVC, ROLLER COMPACTER.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El pavimento flexible es la infraestructura más utilizada en la construcción de las mallas viales de un país brindando un firme desarrollo, pero debido al aumento constante del nivel de carga que recibe las vías generadas por los ejes de los vehículos, que se transforma en esfuerzos aplicados a la carpeta asfáltica, las características de los asfaltos convencionales se torna deficientes o muy costosos, es por esto, que en la presente investigación se busca analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19 modificada con PVC (molido), con el fin de brindar una alternativa viable que contribuya con esta problemática.

El material que se utilizó para modificación en esta investigación es el PVC (Molido), el cual brinda características que hacen que una mezcla asfáltica ofrezca más resistencia con respecto a la dureza, especialmente en altas temperaturas. Al realizar la comparación de la mezcla asfáltica modifica con PVC, se observa que presenta mejores resultados con respecto a una mezcla asfáltica convencional, en parámetros de suma importancia para el diseño como lo son la estabilidad, el flujo y la relación de vacíos.

A través del documento encontraran los títulos principales con los pasos que explican los diferentes temas, conceptos y ensayos que se manejaron para el desarrollo de la investigación.

1. GENERALIDADES.

1.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Con el paso del tiempo, en la industria, se han descubierto diversos materiales o materias primas extraídas de la naturaleza, que con su transformación, han servido para elaborar elementos que más tarde, se han convertido en bienes de consumo. A pesar de ello, el proceso de elaboración del PVC ha generado una importante contaminación en el medio ambiente y representa un aproximado del 1% del peso total de la basura domiciliaria.¹

Para los gestores ambientales, la utilización del PVC, significa una industria creciente, gracias a su posible reutilización ya que es un material de diversos usos en el área de la construcción.

De igual manera, para la construcción de pavimentos, las propiedades de los asfaltos convencionales son insuficientes con respecto a las necesidades presentadas por el constante aumento en volumen y magnitud del tránsito en las vías. Los países invierten gran cantidad de dinero en la construcción y rehabilitación de vías que tienen vida útil muy reducida, por ello que con el fin de mejorar algunas características del asfalto en cohesión y adherencia se plantea esta investigación para implementar mezclas asfálticas modificadas con PVC molido que ofrezca una alternativa de mejorar el comportamiento mecánico de los pavimentos mientras se reduce el precio al utilizar material reciclable.

¹ Infórmate sobre los riesgos del PVC. Disponible en: <http://www.grupotortuga.com/informate-sobre-los-riesgos-del>. Junio 15 del 2015.

Con base en estas situaciones mencionadas en esta línea de investigación, se implementa una mezcla asfáltica modificada con PVC molido (reciclado), que brinde un mejoramiento de las condiciones técnicas, dando beneficios de gran importancia para la ingeniería que son la economía y un menor impacto ambiental.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El PVC, es la denominación por la cual se conoce al policloruro de vinilo, es un polímero obtenido de dos materias primas naturales, cloruro de sodio y petróleo o gas natural. Este material proviene de los desechos en el área de la construcción, y es suma importancia buscar su reutilización en diferentes campos de la industria para contribuir positivamente al medio ambiente.

La implementación de nuevos materiales para realizar mezclas asfálticas, tiene como objetivo mejorar las propiedades mecánicas del pavimento, en características de gran importancia como los son la estabilidad, durabilidad, cohesión y adherencia, siempre en búsqueda de la sostenibilidad en los diseños de mezclas asfálticas al darle uso a materiales reciclados y encontrar beneficios en la economía.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar las características mecánicas de una mezcla asfáltica tipo MDC19 modificada con PVC molido (reciclado).

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización técnica y descripción del material de agregado, del material PVC molido y del asfalto y del asfalto modificado.
- Desarrollar el diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall, determinando el contenido de asfalto óptimo.
- Construir una panela de mezcla asfáltica convencional y dos panelas con mezcla asfáltica modificada con PVC molido en diferentes porcentajes de adición utilizando el equipo del “Roller Compacter”.

1.4 ALCANCE

En esta investigación se partió con la idea de modificar un asfalto en caliente con una adición de PVC molido reciclado, partiendo de tres porcentajes de asfalto que son 4,5%, 5% y 5.5%, teniendo en cuenta que usualmente el valor óptimo está en ese rango. El diseño se realiza considerando una mezcla densa en caliente MDC19, la cual se modifica con la adición de PVC molido al 10% y 15% sobre el porcentaje óptimo de asfalto. Se espera el mejoramiento de los parámetros mecánicos de la mezcla asfáltica convencional al realizar la adición de PVC molido reciclado.

1.5 RELEVANCIA DEL TEMA

El desarrollo de los países refleja la importancia de buscar soluciones con respecto al constante aumento del tránsito en las vías, con el fin de satisfacer las necesidades a dicha demanda, el proyecto realizado es de gran aporte para la ingeniería civil ya se emplea un material residual para la elaboración de mezclas asfálticas encontrando una sostenibilidad en la construcción de la carpeta asfálticas de las vías, brindando beneficios de gran importancia como los son las características técnicas de la mezcla asfáltica, la economía y el impacto ambiental.

Los resultados obtenidos en investigaciones anteriores indican que es viable el uso de un material como el PVC en las mezclas asfálticas y es de suma importancia añadir nuevos materiales en la construcción de la carpeta asfáltica en los pavimentos flexibles sin importar sean materiales residuales.

Este proyecto de investigación fue posible por el suministro del material residual de las empresa CRINO S.A ubicada en la carrera 49 número 61 sur 540 bodega 123 de la ciudad de Bogotá y la de material granular de la empresa Asfaltar S.A localizada en el anillo vial kilómetro 5 sentido girón-Floridablanca en el departamento de Santander, y financiado por la Dirección general de investigaciones de la universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y por recursos propios.²

² CRINO. Compañía dedicada a la producción y comercialización de insumos y materia prima para la industria plástica. 1995. Citado en línea 28-nov-2014. Disponible en: <http://www.crino.com.co>. junio 19 del 2015.

2. MARCO TEÓRICO

Los países invierten gran cantidad de dinero en la construcción y rehabilitación de vías que tienen vida útil muy reducida, es por ello que es favorable la búsqueda de nuevas alternativas que brinde beneficios económicos y técnicos para el mejoramiento de la infraestructura vial, la malla vial es elaborada en un mayor porcentaje con mezclas asfálticas tipo MDC19. A continuación se presenta la descripción teórica de los conceptos asociados.

2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

2.1.1 Pavimento flexible. Reciben este nombre ya que pueden flexionarse o dicho de otra manera son maleables. Estos pavimentos se encuentran sostenidos sobre un par de capas flexibles y de base granular. Este resulta muy costoso, tanto en la construcción, como en el mantenimiento, Es utilizado en zonas donde hay mucho tránsito, como calles, parques de estacionamiento, veredas, entre otros.³

2.1.2 Pavimento rígido. Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una subrasante o sobre una capa de material seleccionado, lo cual se denomina subbase de pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia.

³ Tipos de pavimentos. Disponible en: <http://www.tiposde.org/construccion/659-tipos-de-pavimentos>. Julio 01 del 2015.

Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado esfuerzos a tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante, la capacidad estructural del pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

- La subbase: Su función más importante es impedir la acción de bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento.
- Losa de concreto: Su función es la misma de la carpeta asfáltica del pavimento flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. ³

2.1.3 Pavimento Semi-rígido. Este pavimento, también conocido como pavimento compuesto, es muy similar al flexible, pero también al de tipo rígido. La parte flexible suele estar en la parte superior, mientras que la rígida en la parte inferior. Además es común que posea una capa de cemento o concreto. Gracias al cemento es estable y puede soportar cargamentos muy pesados, como aviones o camiones ⁴

2.1.4 Pavimento articulado. Posee una capa de hormigón que se caracteriza por ser muy resistente y flexible. Además se le agregan varios elementos como el cemento. Todos los materiales deben ser colocados de tal manera que resulten homogéneos. Puede ser utilizado durante largos períodos de tiempo ya que resulta muy resistente ante el desgaste y el agua.

⁴ Tipos de pavimentos. Disponible en: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2010/09/tipos-de-pavimentos.html>. Julio 01 del 2015.

Es muy utilizado para la circulación de vehículos, además para que el agua no se acumule. Algunos lugares donde se le ve regularmente en calles, aeropuertos, entrada a puentes, cunetas, muelles, sendas peatonales, entre muchos otros. Un gran inconveniente que es normal que se produzca en este tipo de pavimentos, se relaciona con la falla de la base. En este caso el arreglo puede resultar muy costoso.

2.2 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados se refiere a la combinación de arena, grava o roca, triturada en su estado natural, son minerales comunes, resultados de las fuerza geológicas erosivas del agua y del viento. Son generalmente encontradas en ríos y valles, donde han sido depositadas por las corrientes de agua. Los agregados es un factor determinante para el comportamiento de la mezcla.

2.3 ASFALTO

El asfalto es un material de los llamados termoplásticos, el cual es muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo crudo. Esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla muy compleja de estructuras químicas complicadas. Sin embargo, este es un material de suma importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, y sobre todo por el bajo costo, ya que es el residuo en el proceso de refinación del petróleo.

El asfalto también se conoce como: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún, cemento asfáltico, chapopote. Este producto fue conocido alrededor del año 2500 **a. C.** en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de carreteras.

El asfalto tiene gran variedad de aplicaciones como la construcción de carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, mastiques, etc. Los volúmenes de uso del asfalto son muy grandes, sobre todo en lo referente a la fabricación de carpetas asfálticas en donde es, sin duda, el material más importante. El amplio uso del asfalto en la construcción de carreteras es debido, en gran medida, a su bajo costo y a sus propiedades de hidrofobicidad y una relativa resistencia a la intemperie.⁵

2.3.1 Tipos de asfaltos

2.3.1.1 Asfaltos oxidados o soplados: Estos son asfaltos que han sido sometidos a un proceso de deshidrogenación y posteriormente a un proceso de polimeración. Este asfalto es expuesto a una elevada temperatura pasándole una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y ser empleado en aplicaciones más especializadas.⁶

2.3.1.2 Asfaltos sólidos o duros: Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10 grados. Además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes.

⁵ RODRÍGUEZ Talavera, Rogelio, Castaño MENESES Víctor Manuel, MARTÍNEZ MADRID Miguel. Emulsiones asfálticas, Secretaría de Comunicaciones y Transporte Instituto Mexicano del Transporte, documento técnico N° 23 sanfandila, Qro, Año 2001.

⁶ REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Diseño racional de pavimentos: tipo y usos de asfalto. Primera, Bogotá: escuela colombiana de ingeniería, 2003.

2.3.1.3 Asfaltos líquidos: Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida, por ello no se incluyen en el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. También se los denomina asfaltos rebajados o cutbacks. Se componen por una base asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite.⁷

Los asfaltos líquidos se dividen en cuatro tipos:

- Asfalto de curado rápido: Es aquel cuyo disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC
- Asfalto de curado medio: El disolvente de este asfalto es queroseno, y se designa con las letras MC.
- Asfalto de curado lento: El disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil, y se designa por las letras SC.
- Road oil: Es la fracción pesada del petróleo, usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento SC.

2.3.1.4 Asfaltos Fillerizados: Asfaltos en cuya composición hay materias minerales finamente molidas que pasan por el tamiz # 200.

2.3.2 Asfaltos modificados. El asfalto es muy susceptible a los cambios de temperatura y sufre envejecimiento por efecto a la intemperie para largos tiempos de exposición; es también afectado por la oxidación y la foto-degradación. Respecto a sus propiedades mecánicas éstas son muy pobres ya que es quebradizo a bajas temperaturas y fluye a temperaturas un poco arriba de la temperatura ambiente y tiene además una baja recuperación elástica. Todos estos factores limitan ampliamente su rango de utilidad. Por estas razones este material tiene que ser modificado para mejorar substancialmente sus propiedades.

⁷ Tipos de Asfalto. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Asfalto. Julio 01 del 2015.

Los asfaltos modificados con algún tipo de polímero, buscan un mejoramiento de sus características mecánicas para soportar distintas condiciones presentadas por la acción conjunta del tránsito y el clima, alargado su vida útil mitigando las deformaciones que sufre por causas de la oxidación degradación y la intemperie. Estos asfaltos modificados presentan buenas características Reológicas ya que brinda altos valores de dureza contra las altas temperaturas de servicio, o cual genera que disminuya el envejecimiento prematuro y el ahuellamiento y bajos valores de dureza en temperaturas bajas de servicio, lo cual evita la aparición prematura de fisuras.

La modificación de asfaltos con polímeros busca mejorar sus propiedades viscoelásticas para cumplir con los requerimientos de un proyecto; de manera muy concisa se puede decir que mediante la modificación se desea mejorar la elasticidad y la flexibilidad, la consistencia y la durabilidad con el fin de evitar que una mezcla asfáltica se fisure, se deforme o que existan desprendimientos. ⁸

2.3.2.1 Polímeros: Los polímeros son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, formados por la repetición sucesiva de grupos estructurales más sencillos denominados monómeros. Los materiales poliméricos más importantes se hallan divididos en plásticos y elastómeros. Estos se encuentran disponibles en gran variedad de formas comerciales como fibras, películas, hojas delgadas, espumas y en bruto.⁹

- **Plásticos:** Los plásticos son un gran y variado grupo de materiales sintéticos que se procesan mediante el modelado de la forma. Estos se dividen en dos clases,

⁸ SALAZAR DELGADO, Jorge. Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica. Año 2008.

⁹ RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander; RINCÓN RODRÍGUEZ Edgar; Luis Ángel, MORENO Anselmi. Resistencia mecánica evaluada en el ensayo MARSHALL de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS). Medellín. Año 2007

termoplásticos y termoendurecibles, dependiendo de la estructura química de su enlace.

Los termoplásticos al someterse a altas temperaturas pierden consistencia y se deforman (de esta manera pueden ser moldeados varias veces sin tener un cambio significativo de sus propiedades), y los termoendurecibles, se rigidizan a bajas temperaturas y no permiten un nuevo moldeamiento y a temperaturas muy elevadas se descomponen o degradan, no logrando un reciclaje de estos materiales.

- **Elastómeros:** Son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden tener un gran cambio cuando se les aplica una tensión, y retoman sus dimensiones originales cuando se elimina la tensión, siempre y cuando esta fuerza sea aplicada dentro del rango elástico del material. Entre los materiales elastoméricos se encuentran el caucho natural, las siliconas, el neopreno, el caucho de nitrilo, el caucho de estireno-butadieno y el poliisopreno sintético.

2.3.3 Características reológicas del asfalto. La reología es una de las propiedades más importantes de los asfalto. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante como lo es la viscosidad.⁵

2.3.4 Mezcla asfáltica. Se conforma por medio de la unión de los agregados pétreos y un ligante a una determinada temperatura, de tal manera que el ligante cubre uniformemente a los agregados para efectuar una mezcla.

La mezcla asfáltica se compone por un 90% de agregados pétreos finos y gruesos, un 5% de ligante asfáltico y un 5% de llenante mineral, para realizar una mezcla asfáltica es de suma importancia que las dosificaciones se cumplan según el diseño

⁵ REYES LIZCANO, Op. Cit

ya que factores como el contenido de asfalto y el porcentaje de polvo mineral garantiza la calidad de la mezcla.¹⁰

2.3.5 Características de la mezcla asfáltica. Las características con más relevancia para el diseño de una mezcla asfáltica son las siguientes.

- Estabilidad: es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito en las vías. Un pavimento inconsistente presenta deformaciones como corrugaciones, huellamientos entre otros.
- Flexibilidad: capacidad del pavimento para restaurarse sin presentar deformaciones de ningún tipo.
- Durabilidad: capacidad de resistir factores presentados por el volumen y magnitud del tránsito en las vías y agentes climáticos los cuales se pueden observar mediante la separación de las partículas, desintegración de los agregados y cambios en las propiedades del asfalto
- Resistencia a la fatiga: capacidad de la mezcla asfáltica a deformarse por acción de cargas en un periodo de tiempo sin presentar fracturas o agrietamientos.
- Impermeabilidad: resistencia al aire y agua en el interior del pavimento.

2.3.6 Clasificación de las mezclas asfálticas. Las mezclas asfálticas se clasifican por medio de la evaluación de diferentes parámetros los cuales son.¹¹

2.3.6.1 Por Fracciones del Agregado Pétreo en la Mezcla

- Masilla Asfáltica: Polvo mineral más el ligante

¹⁰ DELGADO GARNICA, Julieth, ARIZA MAHECHA, Johany Sneyder. Evaluación de una mezcla densa en caliente modificada con la adición de ceniza volante y caucho. Bucaramanga 2014 (trabajo de grado para optar el título de ingeniero). Universidad pontificia bolivariana, escuela de ingeniería civil

¹¹ Clasificación de las Mezclas Asfálticas. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas. Septiembre 01 del 2015.

- Mortero Asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto Asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam Asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

2.3.6.2 Temperatura de la Mezcla Puesta en Obra: Mezcla asfáltica en caliente: se fabrica con asfaltos 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.

2.3.6.3 Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica: Este factor es de importancia para que no aparezcan deformaciones plásticas con el paso de las cargas y por las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: Con una proporción de vacíos no mayor al 6 %.
- Mezclas Semi-Cerradas o Semi-Densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: Con una proporción de vacíos mayor de 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: Con una proporción de vacíos superior al 20 %.

2.3.6.4 Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo

- Mezclas Gruesas: el tamaño máximo del árido es mayor a 10 mm.
- Mezclas Finas: son micros aglomerados o morteros asfálticos, son 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 se desarrolla la mezcla. ¹¹

2.4.6.5 Por la Estructura del Agregado Pétreo

- Mezclas con Esqueleto Mineral: Suministran 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. ¹¹

2.3.6.6 Por 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.

2.4 MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE

¹¹ Clasificación de las Mezclas Asfálticas.
http://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas) septiembre 01 del 2015.

¹¹(Ibid

Es el tipo de mezcla más empleado para la construcción y recuperación de las redes viales. Se define en una mezcla asfáltica en caliente a la combinación de materiales pétreos seleccionados y bien gradados con un ligante hidrocarbonado y en algunos casos se adicionándole algunos aditivos. Todas las partículas de los agregados deben estar cubiertos de una manera homogénea con el ligante para que la muestra de la mezcla asfáltica cumpla con sus especificaciones y se deje compactar, la temperatura puesta en obra debe ser muy superior a la ambiente.

2.4.1 Diseño de mezcla asfáltica por método de Marshall. El método de Marshall es el más utilizado para evaluar las característica y comportamiento de una mezcla asfáltica. Este método solo es aplicable para mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico que contenga agregado pétreos como tamaño máximo de 25,4 mm (1"). El método puede utilizarse para diseño en laboratorio y para control en campo.

Previo a la ejecución del ensayo hay que cumplir con aspectos como clasificación de los materiales, dosificaciones y especificaciones granométricas del proyecto y determinar las densidades reales de los agregados y del asfalto para ser utilizado en el análisis de la mezcla.

El método consiste realizar briquetas de 63,5 mm (2 ½") de altura y de 101.6 mm (4") de diámetro las cuales se preparan de acuerdo a un procedimiento de calentamiento para garantizar la temperatura de mezclado y compactación de las muestras para la cual se diseña. Las características de mayor relevancia son el análisis de densidad-relación de vacíos, y el ensayo de estabilidad y flujo de la biqueta. ¹²

¹² RUEDA GONZALES, Néstor Julio, GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Wilson Alfonso, comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC2 modificada con limalla. Bucaramanga, 2012. (tesis de grado para optar el título de Ingeniero). Universidad pontificia bolivariana, escuela de ingeniería civil.

2.5 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es un material termoplástico industrial amorfo, que puede ser transparente e incoloro pero que se encuentra comúnmente pigmentado. Es rígido, duro, naturalmente retardante a la combustión, y presenta alta resistencia química, pero los solventes son su punto débil, particularmente para la rotura bajo carga. La resina que resulta de la polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos, pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. ⁹

El Policloruro de vinilo (PVC) es uno de los polímeros más importantes dentro de la industria del plástico debido a su gran habilidad para cambiar sus propiedades y ajustarse a los requerimientos exigidos por las aplicaciones del mercado. Más del 75 % de la producción mundial de PVC se destina hacia la producción bienes durables, destacando entre ellas en el sector construcción. ¹³La acumulación de este tipo de desecho podría llegar a generar en el futuro un impacto ambiental negativo por su difícil degradación y por su baja demanda para ser reutilizado.

2.5.1 Características del PVC. El PVC es un material muy versátil gracias a las características que presenta en la resistencia de diferentes factores, las cuales permiten que sea utilizado en diferentes industrias. ¹⁴

➤ Temperatura de trabajo se encuentra en un rango de -15°C a +60°C.

⁹ RONDÓN QUINTANA; RODRÍGUEZ RINCÓN; MORENO Op. Cit.

¹³ Propiedades, Procesamiento y Aplicaciones del PVC. Disponible en: <http://www.indesca.com/pvc.htm> Julio 04 del 2015.

¹⁴ PVC (Policloruro de vinilo) Disponible en: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PVC/PVCprop/propiedades.htm> Julio 04 del 2015

- Presenta resistencia, rigidez y dureza mecánicas elevadas
- Excelente resistencia a sustancias químicas
- Autoextingible
- Impermeable a gases y líquidos
- Presenta baja absorción de agua
- Resistente a la acción de hongos y bacterias
- Resistente a la intemperie.

2.6 ESTUDIOS PREVIOS SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS

En la (tabla1) se muestran algunos proyectos y artículos de investigación nacional e internacional, utilizando mezclas asfálticas modificadas con algún tipo de material, en las cuales han sido tema de investigación para proyectos de grado y doctorados.

Tabla 1. Antecedentes

TITULO	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTOR	PAIS	AÑO	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
<i>Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)</i>	<i>Universidad Central del Ecuador</i>	<i>* Maila Paucar Manuel Elias</i>	<i>Ecuador</i>	<i>2013</i>	Los resultados obtenidos en esta investigación, muestran mejoras significativas en las propiedades de la mezcla asfáltica lo cual permitió concluir que la incorporación del polímero EVA (Etileno Vinil Acetato), dentro de una mezcla convencional le da características de durabilidad e incrementa sus propiedades físico-mecánicas,
<i>Comportamiento de dos mezclas asfálticas venezolanas en caliente, modificadas con desecho de policloruro de vinilo</i>	<i>Articulo de investigacion Revista Ciencia e ingenieria Vol 31</i>	<i>* Prada oscar * Rondon Hugo * Gonzalez Gioconda * Reyes Freddy.</i>	<i>venezuela</i>	<i>2010</i>	las mezclas asfálticas modificadas con desecho de PVC tienden a poseer un comportamiento rígido. Los valores de estabilidad y rigidez Marshall de las mezclas modificadas tienden a ser mayores. Las mezclas asfálticas modificadas con desecho de PVC, experimentan un incremento notable en la resistencia mecánica bajo carga monotónica en comparación con las mezclas convencionales
<i>Evaluación de la factibilidad del uso en costa rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta</i>	<i>universidad de costa rica</i>	<i>Jorge Salazar Delgado</i>	<i>costa rica</i>	<i>2008</i>	los polimeros liquidos siempre seran mas faciles de incorporar que los solidos cuando se realicen modificaciones simples a una planta de mezcla, es claro invertir en una planta de modificacion de asfaltos seria la mejor opcion, ya que se podria trabajar con los polimeros que estan catalogados como los mejores para la modificacion de asfaltos, los asfaltos modificados son definitivamente una muy buena alternativa para mejorar las propiedades de los asfaltos y por la misma condicion, la mezcla asfaltica.

TÍTULO	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTOR	PAIS	AÑO	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
<i>Evaluacion de una mezcla densa en caliente modificada con la adiccion de cenizas volantes y caucho.</i>	<i>Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga</i>	<i>* Julieth delgado Gamica * Johany Sneyder Ariza Mahecha</i>	<i>Colombia</i>	<i>2014</i>	Los resultados fueron representativos con relacion a la muestra estandar, se observo cambios al momento de la preparacion asfáltica, como lo fue en el recubrimiento del ligante en el agregado y la efectiva preparaci3n, debido que la ceniza volante y el caucho reciclado de llanta remplazan una fracci3n del material bituminoso, se observo que el reemplazo de ligante por ceniza volante y caucho en un porcentaje del 10% y 15% respectivamente, es favorable debido a que mejora las propiedades de la reaccion de estabilidad y flujo de la mezcla original y presenta un comportamiento semejante debido al grado de compactacion.
<i>Caracterizacion Fisicoquímica y Morfológica de asfaltos Modificados con material reciclado.</i>	<i>Universidad de Bogota</i>	<i>Ana Sofia Figueroe Infante * Elsa Beatriz Fonseca Santanilla * Fredy Alberto Reyes Lizcano</i>	<i>colombia</i>	<i>2009</i>	La caracterizaci3n fisicoquímica permiti3 establecer que los vasos de icopor empleados como polímero modificador mantienen y mejoran las propiedades elásticas del ligante, mientras que el caucho de llanta molida mejora propiedades como la susceptibilidad térmica, la resistencia a la fatiga, la inflamabilidad y la resistencia a los solventes.
<i>Comportamiento De una mezcla Densa de Asfalto en caliente Modificada con desecho de policloruro de Vinilo (PVC)</i>	<i>Ciencia e ingenieria Nogradina</i>	<i>* Hugo Alexander Rondon Quintana * Fredy Alberto Reyes Lizcano * Blanca Esperanza Ojeda Martinez.</i>	<i>Colombia</i>	<i>2008</i>	Agregar PVC de desecho al asfalto para intentar o modificar alguna de sus propiedades, contribuiría al ambiente reduciendo el impacto negativo que produce. La resistencia a fluir que tienen los asfaltos modificados con PVC es mayor con respecto al convencional.

Fuente: Propia

3. METODOLOGÍA

En primer lugar se gestiona la consecución de los materiales a utilizar por medio de las empresas:

- ✓ CRINO S.A ubicada en la carrera 49 número 61 sur 540 bodega 123 de la ciudad de Bogotá para el material de PVC molido
- ✓ Asfaltar S.A localizada en el anillo vial kilómetro 5 sentido girón-Floridablanca en el departamento de Santander para el material de agregados.

Los pasos tomados para el desarrollo del proyecto se realizó siguiendo las normas y especificaciones técnicas de INVIAS año 2013 son:

- ✓ Caracterización del agregado desarrollando los ensayos anunciado en la Figura 1. Metodología de los agregados y sus ensayos.
- ✓ Caracterización del cemento asfáltico desarrollando los ensayos anunciado en la Figura 1. Metodología de los agregados y sus ensayos.
- ✓ Caracterización del PVC molido desarrollando los ensayos anunciado en la Figura 1. Metodología de los agregados y sus ensayos.
- ✓ Realización del diseño de mezcla asfáltica convencional utilizando la metodología Marshall. (Obteniendo el porcentaje óptimo de asfalto), anunciado en la Figura 2. Metodología diseño de mezcla densa en caliente y modificada con PVC molido.

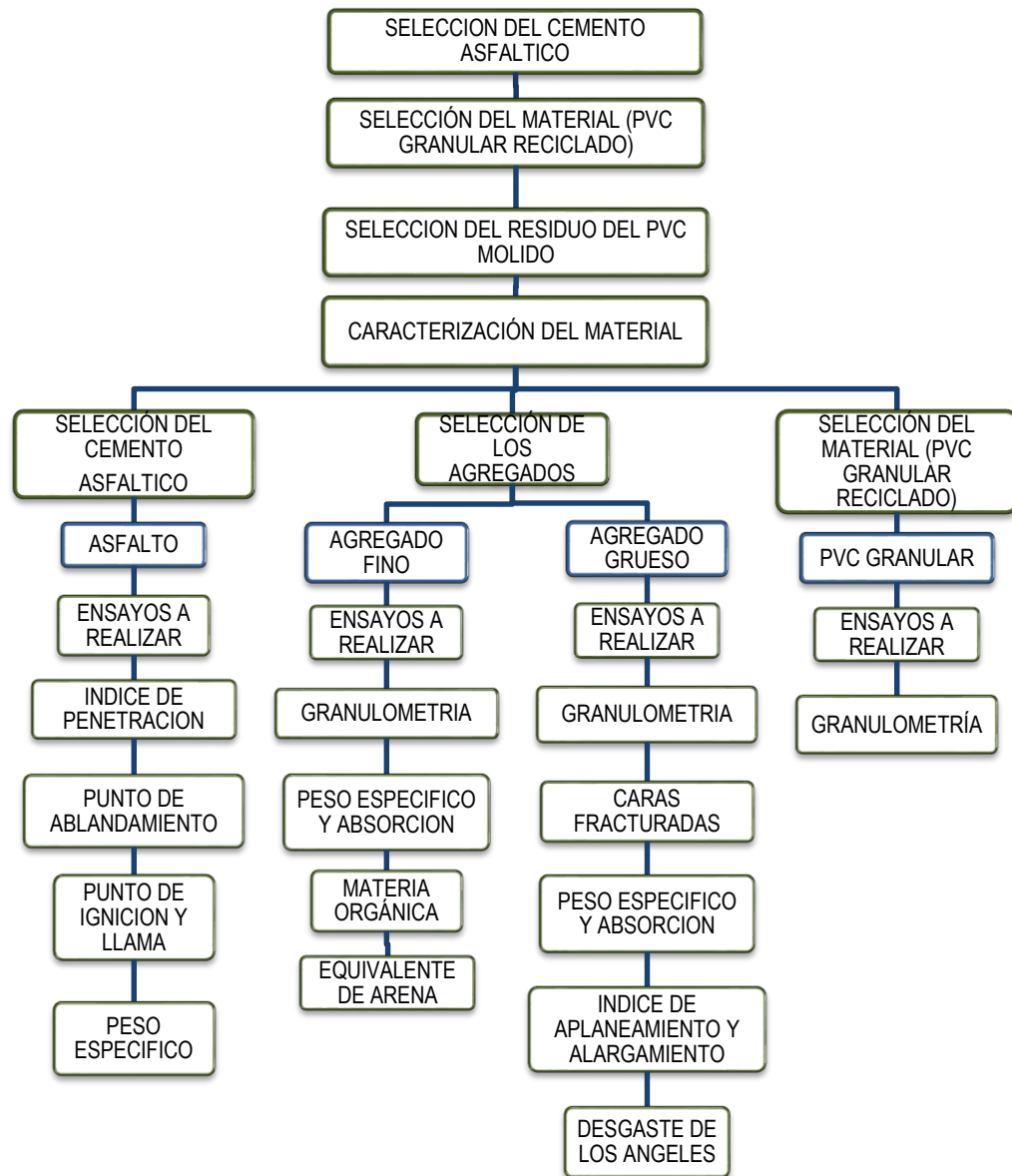
- ✓ Elaboración de las panelas convencional y dos modificadas utilizando el “roller compacter”), anunciado en la Figura 2. Metodología diseño de mezcla densa en caliente y modificada con PVC molido.

- ✓ Extraer cuatro núcleos de cada una de las panelas y evaluar el comportamiento mecánico con los siguientes ensayos:
 - Estabilidad, flujo y densidad de bulk

Anunciado en la Figura 2. Metodología diseño de mezcla densa en caliente y modificada con PVC molido.

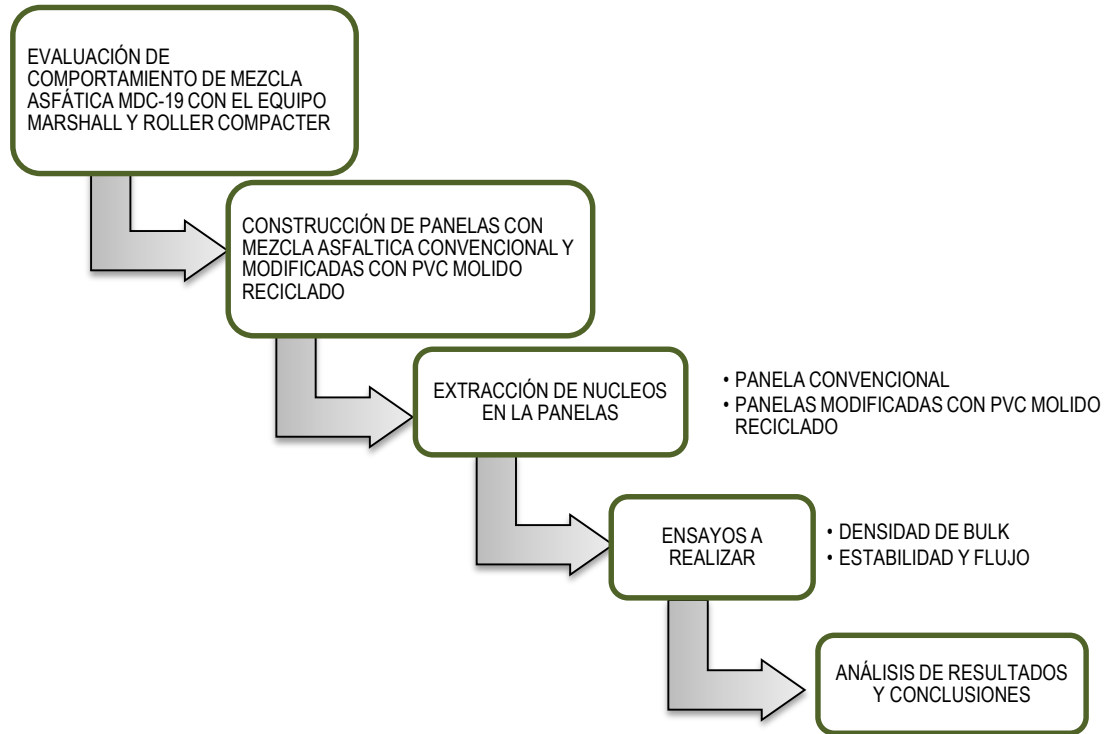
Para una mayor claridad se presenta la figura 1 que muestra los pasos a seguir:

Figura 1. Metodología de los agregados y sus ensayos



Fuente: Propia

Figura 2. Metodología Diseño de mezcla densa en caliente y modificada con PVC molido



Fuente: Propia

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR y PVC MOLIDO

A continuación se explicaran brevemente los ensayos que se llevaron a cabo en los agregados pétreos para obtener su clasificación.

3.1.1 Granulometría de los agregados gruesos, finos y PVC (I.N.V.E -213).

Mediante este ensayo se determina la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos de un material, se realiza por separación a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas, este método se usa para garantizar la distribución de las partículas y suministrar los datos necesarios para el control de las mezclas.

Basados en la norma para este ensayo, los agregados se extienden en una superficie totalmente plana para llevar a cabo el proceso de mezclado, se cuartea de forma manual, tomando las dos cuartas partes del agregado, en el cual es sometido a un lavado, después del lavado el material es secado al horno a una temperatura constante de 110°C durante un periodo de (24 ± 4 horas); se procede a la selección del material de tamices.

Se presenta a continuación el resumen de los porcentajes retenidos en cada tamiz:

Tabla 2. Serie de tamices y porcentaje que se retiene en cada tamiz apropiado para el ensayo de granulometría de los agregados.

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS		
TAMIZ	% PASA	% RETIENE
3/4"	100%	0
1/2"	87,5%	12,5%
3/8"	79,0%	8,5%
Nº 4"	57,0%	22%
Nº 10"	37,0%	20%
Nº 40"	16,5%	20,5%
Nº 80"	8,0%	8,5%
Nº 200"	0,0%	8,0%

Fuente: Propia

Se presenta a continuación en las figuras tres (3), cuatro (4) y cinco (5) el registro fotográfico del desarrollo de la granulometría de los agregados y del material de PVC (molido):

Figura 3. Tamizado del Agregado fino



Fuente: Propia

Figura 4. Tamizado del agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 5. Tamizado del PVC (molido)



Fuente: Propia

3.1.2 Índice de aplanamiento y alargamiento (I.N.V.E- 230). Este ensayo describe los índices de aplanamiento y alargamiento que se van a emplear en el diseño de carreteras, se realiza un ensayo de granulometría según la norma (I.N.V.E-213), para el ensayo del índice de aplanamiento se deben descartar las partículas retenidas en el tamiz de 63 mm y las que pasan en el de 6,3 mm, mientras que para el ensayo del índice de alargamiento se descartan las partículas retenidas en el tamiz de 50 mm y las que pasan del tamiz 6,3mm.

3.1.2.1 Índice de aplanamiento: Usando el calibrador de aplanamiento, se intenta pasar a mano partícula por partícula de cada fracción por la abertura correspondiente del calibrador sin forzar a partirlas, una vez pasadas todas las partículas posibles se determina la masa de las partículas que pasaron por cada uno de los espacios del calibrador.

Se presenta el calibrador utilizado en el desarrollo del ensayo de índice de aplanamiento.

Figura 6. Calibrador (para índice de aplanamiento)

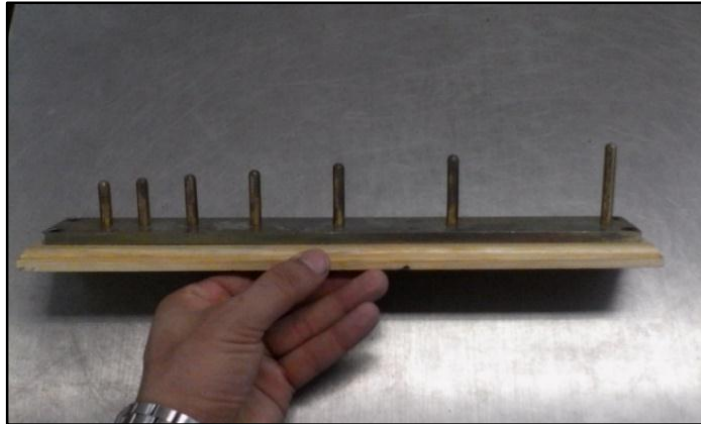


Fuente: Propia

3.1.2.2 Índice de alargamiento: De manera manual se intenta pasar cada una de las partículas por su mayor fracción por cada abertura del calibrador, una partícula es alargada, aquella cuya dimensión le impide pasar por la abertura del calibrador, se determina la masa de las partículas que quedaron retenidos entre cada abertura del calibrador.

Se presenta el calibrador utilizado en el desarrollo del ensayo de índice de índice de alargamiento:

Figura 7. Calibrador de longitudes (índice de alargamiento)



Fuente: Propia

3.1.3 Caras fracturadas (I.N.V.E 227). Se toma una muestra del material y se pasa por el tamiz 4,75mm (No 4), para separar los agregados gruesos de los finos, se toma una muestra como lo indica la (tabla 2), se lava el material con el fin de remover las partículas finas adheridas en el agregado grueso y se seca al horno a una temperatura constante de 110 °C por un periodo de (20 ± 4) horas, luego, la muestra se esparce en una superficie limpia y plana para la inspección detallada de cada partícula, utilizando una espátula se divide la muestra en dos categorías; una (1) Partícula fracturada, dos (2) Partícula no fracturada, al identificar cada categoría, se determina la masa y se cuenta el número de partículas.

Se presenta en la tabla tres (3), la cantidad de material mínimo requerido para realizar el ensayo de caras fracturadas según el tamaño máximo nominal del material utilizado:

Tabla 3. Masa mínima para cada tamaño de cada tamiz

Tamaño máximo nominal mm (pulgadas)	Masa mínima de la muestra gr
9,50 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1,0)
19,0 (3/4)	1500 (3,0)
25,0 (1)	3000 (6,5)
37,5 (1 1/2)	7500 (16,5)
50,0 (2)	15000 (33)
63,0 (2 1/2)	30000 (66)
75,0 (3)	60000 (132)
90,0 (3 1/2)	90000 (198)

Fuente: Norma INVIAS año 2013

3.1.4 Equivalente de arena de suelos y agregados fino (I.N.V.E-133). Se toma una muestra, de 1500 gramos de material si se considera necesario, se humedece para evitar la segregación o la pérdida de finos durante el cuarteo, la adición de agua debe ser muy cuidadosa, con el fin de que se mantenga la condición de flujo libre, se realiza una granulometría para obtener el material que pase por el tamiz de 4,75 mm (No 4), se seca la muestra a una temperatura constante a 110°C y se enfría a temperatura ambiente, después de verter el material en el cilindro, se vierte una solución de cloruro de calcio en el cilindro graduado hasta una altura de 101.6mm \pm 2.54mm con ayuda del embudo, se vierte un espécimen de ensayo en el cilindro graduado, se deja el cilindro en reposo por un periodo de (10 \pm 1 minuto), al finalizar el periodo de reposo se tapa el cilindro y se agita el fondo para aflojar el material que se encuentra en el fondo, luego de aflojar el material se coloca el cilindro tapado en el agitador mecánico y se pone éste en funcionamiento durante (45 \pm 1 segundo), durante el periodo de irrigación se debe mantener el cilindro en posición vertical y su base en contacto con una superficie plana, se inserta el tubo irrigador dentro del

cilindro hasta el fondo aplicando suavemente una presión y giro, esto impulsa el material fino que se encuentra en el fondo, se lavan los finos hasta la marca de 381 mm se deja en reposo durante 20 minutos, después de los 20 min de sedimentación, se toma la lectura de arcilla y se anota el nivel en la parte inferior, después de tomar la lectura de arcilla se introduce el disco, la barra y el sobrepeso hasta que llegue a la arena, cuando el pie descansa en la arena se registra la lectura de arena.

En la figura ocho (8) se presenta el equipo para realizar el ensayo de equivalente de arena estipulado por la norma INVIAS año 2013:

Figura 8. Equipo para el ensayo equivalente de arena



Fuente: Propia

3.1.5 Resistencia al desgaste de los agregados por medio de la máquina de los ángeles (I.N.V.E -218). El objetivo de este ensayo es calcular el desgaste del agregado grueso retenido en los tamices $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", empleando la máquina de los Ángeles con una carga abrasiva. Se toma una muestra representativa del material cuarteado, se lava y se seca al horno a una temperatura constante de 110 ° C por un periodo de (20± 4 horas), al finalizar ese periodo, según la (tabla 3) se escoge la gradación más parecida al agregado que se va a utilizar para el ensayo, posteriormente se selecciona el tipo de granulometría y el número de esferas, se

introduce todo el material a la máquina de los ángeles hasta completar 500 revoluciones, una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del tambor y se procede con una separación preliminar empleando el tamiz N° 12, el material grueso retenido se lava, se seca al horno a una temperatura de 110° C y se determina su masa.

A continuación en la tabla cuatro (4) se muestra el formato estipulado por la norma INVIAS año 2013 para el ensayo del desgaste de la máquina de los ángeles:

Tabla 4. Formato de granulometría para el desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles

TAMAÑO FRACCIÓN				PESO REAL GR	PESO Y GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA (GR)			
PASA TAMIZ		RETENIDO TAMIZ			TIPO GRANULOMETRIA			
mm	N°	mm	N°		A	B	C	D
37,5	1 1/2"	25	1"					
25	1"	19	3/4"					
19	3/4"	12,5	1/2"		1250+/-10	2500+/-10		
12,5	1/2"	9,5	3/8"		1250+/-11	2500+/-10		
9,5	3/8"	6,3	N°3				2500+/-10	
6,3	N°3	4,75	N°4				2500+/-10	
4,75	N°4	2,36	N°8					5000+/-10
PESO TOTAL DE LA MUESTRA					5000+/-10	5000+/-10	5000+/-10	5000+/-10
CARGA ABRASIVA				N° ESFERAS	12	11	8	6
				PESO DE CARGA TOTAL (g)	5000+/-25	4584+/-25	3330+/-20	2500+/-15
				N°VUELTAS	500			
RESULTADOS								
TIPO DE GRANULOMETRIA								
PESO INICIAL MUESTRA (g)								
PESO FINAL MUESTRA LAVADA EN TAMIZ 1,70 mm N°12 (g)								
PORCENTAJE DESGASTE (%)								

Fuente: INVIAS año 2013

En la figura nueve (9) se presenta la máquina utilizada para realizar el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles.

Figura 9. Máquina de los Ángeles



Fuente: Propia

3.1.6 Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (I.N.V.E 223).

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar las gravedades específicas Bulk, Bulk saturada, superficialmente seca y aparente para agregados con partículas mayores a 4,75mm (Tamiz N°4), se toma una muestra de aproximadamente 5 kg, al cual se realiza una granulometría con los tamices $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N°4, para obtener las partículas gruesas retenidas en los tamices, se desecha el material que pasa por el tamiz N°4, con la muestra obtenida se realiza el lavado para eliminar el contenido de partículas finas adheridas al material grueso, en la(tabla 4) se indican las cantidades mínimas requeridas para realizar el ensayo en función del tamaño máximo nominal del agregado.

En la tabla cinco (5), se ilustra la masa mínima requerida de muestra para realizar el ensayo de peso específico del agregado grueso según el tamaño máximo nominal utilizado:

Tabla 5. Masas mínimas requeridas para ensayo peso específico

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
mm	pg	Kg	Lb
12.5	1/2	2	4.4
19	3/4	3	6.6
25	1	4	8.8
37.5	1 1/2	5	11
50	2	8	18
63	2 1/2	12	26
75	3	18	40
90	3 1/2	25	55
100	4	40	88
125	5	75	165

Fuente: INVIAS año 2013

Caracterizado el material, se seca al horno a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de (1 a 3 horas), una vez pasado el periodo de secado, se enfría a temperatura ambiente, posteriormente se sumerge en agua, durante un periodo de (24 ± 4) horas). Después del periodo de inmersión con un paño absorbente se secan las partículas superficialmente, secando individualmente los fragmentos mayores, evitando la evaporación del agua contenida en los poros de las partículas del agregado durante el proceso de secado, se determina la masa de la muestra en condición saturada con superficie seca, después determinar la masa en el aire, se coloca la muestra en la canastilla y se sumerge en el agua a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, al introducir la canastilla se debe evitar la inclusión de aire, se seca entonces la muestra en horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, se enfría a temperatura ambiente durante (1 a 3 horas) en seguida, se determina su masa.

En las figuras diez (10), once (11) y doce (12) el registro fotográfico del proceso realizado para determinar el peso específico del agregado grueso según lo estipula la norma INVIAS año 2013:

Figura 10. Equipo para el ensayo De peso específico del agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 11. Periodo de inmersión del agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 12. Proceso de secado superficial de las partículas gruesas



Fuente: Propia

3.1.7 Gravedad específica y absorción de los agregados finos (I.N.V.E 222). En este ensayo se realiza teniendo en cuenta los procedimientos de la norma (I.N.V.E-202) para la preparación del material a utilizar en el ensayo, se tomaron aproximadamente 1 Kg de material fino, se seca al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ constante por un periodo de 1 a 3 horas, al enfriarse se sumerge en agua alrededor de (20 ± 4) horas), después del periodo de inmersión, se elimina el agua teniendo cuidado de no perder partículas finas, luego se extiende el material en una superficie plana y limpia dejando secar el agregado a temperatura ambiente, cuando se considere que la muestra se encuentre libre de humedad se procede a realizar la prueba del cono, la cual consiste en tomar el molde del cono se introduce material y se compacta ligeramente con el pisón dándole 25 golpes, cada golpe se debe dar a una altura de 5 mm, cuando se llene el molde se enraza y se retira el molde cuidadosamente, si aún hay humedad en el agregado fino se tendrá que repetir el procedimiento.

En las figuras trece (13), catorce (14) y quince (15) el registro fotográfico del proceso realizado para determinar el peso específico del agregado fino según lo estipula la norma INVIAS año 2013:

Figura 13. Secado del agregado Fino para eliminar humedad



Fuente: Propia

Figura 14. Prueba del cono



Fuente: Propia

Cuando la muestra esté libre de humedad se realiza el ensayo con el picnómetro se llena con 500 gramos del material fino saturado y superficialmente seco, se añade agua hasta llegar a un 90% de su capacidad, se tapa el picnómetro y se rueda cuidadosamente para eliminar el aire atrapado sin dejar burbujas, luego se enraza el picnómetro con agua a temperatura ambiente y se procede a pesar el picnómetro más el agregado fino, se remueve todo el agregado en un platón, se seca al horno con una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa homogénea y se toma su peso.

Figura 15. Llenado del agregado fino Saturado al picnómetro



Fuente: Propia

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BITUMINOSO

3.2.1 penetración de los materiales bituminosos (I.N.V.E-706). Esta norma describe el procedimiento para determinar la consistencia de los materiales bituminosos sólidos o semisólidos en el cual el único material principal es el asfalto.

Se toma una muestra del material asfáltico, se calienta a temperatura controlada para no exceder los 150°C, para evitar el proceso de oxidación del asfalto, la temperatura de calentamiento deberá exceder a la precisa para el punto de ablandamiento (Norma I.N.V.E-712) en más de 90°, el tiempo total de calentamiento deberá ser el mínimo necesario para asegurar la fluidez del producto, durante este proceso se deberá agitar continuamente para garantizar la homogeneidad de la muestra. La muestra se deja enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 45 minutos u hora y media, a continuación se colocan las muestras en el baño con agua y se mantiene así durante los primeros periodos del ensayo, una vez cumplido con la preparación de la muestra se procede a desarrollar el ensayo con la máquina de penetración, se acerca la aguja en la superficie del asfalto, se debe realizar por lo menos tres penetraciones sobre diferentes puntos de la superficie, separados como mínimo 10 (mm).

En la figura 16 se muestra el equipo utilizado para realizar el ensayo de penetración según norma INVIAS año 2013:

Figura 16. Máquina para el ensayo de penetración



Fuente: Propia

3.2.2 Punto de ablandamiento del asfalto (aparato de anillo y bola I.N.V.E-712).

Esta norma determina el punto de ablandamiento del asfalto en un intervalo de 30 a 157°C utilizando el aparato de anillo y bola sumergido en agua destilada, el material se calienta hasta su esta líquido y se vierte en los anillos, luego se deja enfriar durante 30 minutos, se toma un recipiente de vidrio con una capacidad de 500 ml en el cual se llena de agua, dentro del recipiente se monta el aparato de anillo y bola, teniendo el agua a la temperatura expuesta se procede a realizar el ensayo, se introduce los anillos con las bolas de asfalto, en el momento que las esferas toquen la placa de soporte se registra la temperatura.

En la figura 17 se muestra el equipo utilizado para realizar el ensayo de punto de ablandamiento del asfalto según norma INVIAS año 2013:

Figura 17: Punto de ablandamiento del Asfalto



Fuente: Propia

3.2.3 Punto De Inflamación Y Combustión Mediante La Copa Abierta De Cleveland (I.N.V.E 709). La copa de ensayo se llena con la muestra hasta un nivel específico lo suficiente para ser fluido y vertida, que no exceda los 100°C por encima del punto de ablandamiento, se coloca la copa sobre el dispositivo evitando las corrientes de aire, se enciende el equipo para aplicar calor al material de tal manera que el termómetro penetre en posición vertical, con su extremo inferior a $6.4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ sobre el fondo de la copa, y la llama de ensayo se ajusta a un diámetro entre 3.8 y 5.4 mm.

Cuando la temperatura de la muestra este a unos 28°C por debajo del punto de inflamación, se comienza la operación de barrido con la llama del ensayo, una vez por cada aumento de 2°C, se pasa la llama de ensayo a través del centro de la copa, en ángulos rectos con el diámetro que pasa a través del termómetro, se considera que la muestra se ha inflamado cuando aparece una llama larga en cualquier punto de la superficie, para determinar el punto de combustión, se continua calentando el espécimen a la misma velocidad de 5 a 6°C y se continua pasando la llama de ensayo a intervalos de 2°C, hasta que el espécimen se encienda y mantenga la llama por lo menos durante 5 minutos.

En la figura 18 se muestra el equipo utilizado para realizar el ensayo de punto de inflamación y combustión del asfalto según norma INVIAS año 2013:

Figura 18. Punto De Inflamación Y Combustión del asfalto



Fuente: Propia

3.3 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS A LA INVESTIGACIÓN.

3.3.1 Asfalto modificado con PVC molido. En la presente investigación se realizaron ensayos para conseguir la unión uniforme del material bituminoso con un porcentaje de PVC molido, el procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

- Se dosificaron las muestras de los materiales asfalto y PVC.
- Se calentó el asfalto a una temperatura de 140° C.
- Se mezcló gradual y uniformemente el PVC con el asfalto, manteniendo la temperatura en el mezclado durante un tiempo aproximado de 15 minutos.
- Se dejó enfriar a temperatura ambiente.

En las figuras diecinueve (19), veinte (20), veintiuno (21) y veintidós (22) se muestra el registro fotográfico del proceso que se llevó a cabo para realizar la unión uniforme

del material Bituminoso con el material de PVC (molido), teniendo en cuenta todos los parámetros de seguridad establecidos para este tipo de ensayos:

Figura 19. Cabina extractora de gases materiales



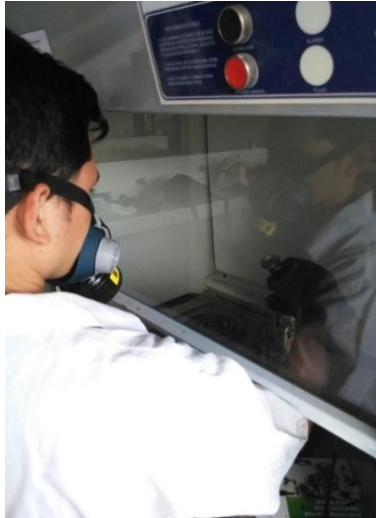
Fuente: Propia

Figura 20: Incorporación del material PVC (molido) al material bituminoso.



Fuente: Propia

Figura 21. Se muestra el uso de la máscara de protección de gases tóxicos



Fuente: Propia

Figura 22. Control de temperatura del mezclado.



Fuente: Propia

Observaciones.

- Este procedimiento se llevó acabo en una cabina extractora de gases con el fin de controlar la emisión de gases tóxicos en el medio ambiente.

- Para realizar este ensayo se cumplió con todas las normas de seguridad requeridas para el mismo.

3.3.2 Extracción Del Asfalto En Mezclas para Pavimentos (INVE-732). El aparato de extracción, consiste en una taza como la mostrada en la figura 23 y un aparato en el cual se pueda rotar la taza a una velocidad variable y controlada hasta de 3600 rpm. Para este ensayo se coloca en la taza una porción de material de 650 a 2500 gr, se cubre la porción de ensayo con solvente y se deja el tiempo suficiente para que el disolvente desintegre la porción se recomienda que no se exceda más de 1 hora. Se coloca la taza con la porción de ensayo y el solvente en el equipo de extracción, se seca un anillo filtrante a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se determina su masa y se ajusta alrededor del borde de la taza. Se sujeta la tapa a la taza con las abrazaderas y se ubica un recipiente apropiado bajo el desagüe, para recoger el extracto. Se inicia el ensayo de centrifugación girando lentamente y aumentando de manera gradual la velocidad hasta un máximo de 3600 rpm o hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe, se detiene la máquina, se agregan 200 ml del solvente empleado y se repite el procedimiento. Se deben emplear suficientes adiciones de 200 ml solvente no menos de tres, hasta que el extracto no sea más oscuro, al terminar los ciclos de lavado se retira de la taza y el anillo de filtro, se cepilla el material adherido y se añade al agregado extraído. Se seca el anillo hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se transfiere cuidadosamente todo el agregado de la taza de la centrifuga a un platón, se seca hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Figura 23. Equipo de extracción.



Fuente: Propia

Figura 24. Control de la velocidad.



Fuente: Propia

Figura 25. Cubrimiento de la porción con el solvente.



Fuente: Propia

Figura 26. Muestra sin Asfalto



Fuente: Propia

3.4 MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE.

En la presente investigación se contempló dos métodos de compactación para realizar el diseño de mezcla asfáltica densa en caliente, el primero es el método convencional Marshall y el segundo con el Roller Compacter:

3.4.1 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (I.N.V.E-748). Por medio de este ensayo se podrá determinar la resistencia estructural que se expresa en el ensayo de estabilidad, el flujo representa la deformación en el sentido del diámetro, indicando el comportamiento de la mezclas asfáltica bajo acciones de carga.

El número de briquetas a realizar fue tres (3) por cada contenido de asfalto, se realizaron de acuerdo con el método Marshall cumpliendo con los parámetros para una mezcla MCD-19, para el desarrollo de este trabajo de grado fueron escogidos tres porcentajes de asfalto, 4.5%, 5% y 5.5%, se realizó tres (3) briquetas por cada porcentaje de asfalto, las briquetas son compactadas mediante golpes con el martillo Marshall en ambas caras, en este caso se aplicaron 75 golpes por cara, este ensayo se realizó para poder calcular el contenido de asfalto óptimo, al obtener el porcentaje óptimo de asfalto se realizan tres (3) briquetas, tres (3) briqueta con el porcentaje óptimo de asfalto y seis (6) modificadas con PVC, en la (tabla 6) se observa lo expuesto anteriormente.

Tabla 6. Proporciones de mezclas asfálticas y modificadas con PVC.

ITEMS	CONTENIDO DE ASFALTO
1	3 BRIQUETAS CON 4,5% DE ASFALTO
2	3 BRIQUETAS CON 5% DE ASFALTO
3	3 BRIQUETAS CON 5,5% DE ASFALTO
4	3 BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE DE ASFALTO ÓTIMO
5	3 BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE DE ASFALTO ÓTIMO MODIFICADAS CON EL 10% DE PVC (MOLIDO) EN EL ASFALTO
6	3 BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE DE ASFALTO ÓTIMO MODIFICADAS CON EL 15% DE PVC (MOLIDO) EN EL ASFALTO

Fuente: Propia

La elaboración de las briquetas consiste en tomar material seco a una cierta cantidad en el cual debe cumplir con la gradación tomada de la (tabla 450-6) de las especificaciones generales de la construcción de carreteras (artículo 450). Y es la que se muestra en la (tabla 7).

Tabla 7. Artículo 450 -6 franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente.

TIPO DE MUESTRA		TAMIZ (MM/ U.S. STANDARD)								
		25	19	12,5	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No.200
		% PASA								
DENSA	MDC-25	100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19		100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC10				100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSA	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
	MSC-38	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
GRUESA	MGC-38	100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25	100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9

Fuente: INVIAS año 2013

Calculado la gradación para el diseño, se procede a calcular el peso del cemento asfáltico.

$$PESO\ DEL\ CEMENTO\ ASFALTICO = \frac{1200\ gr * peso\ del\ asfalto}{100}$$

Calculado el peso del cemento asfáltico y la granulometría de los agregados, se procede a calentar el agregado y el cemento asfáltico en la estufa hasta que alcancen una temperatura de 150°C, mientras se cumple el proceso de calentamiento se procede a calentar el molde y el collarín en el horno, inmediatamente se realiza el mezclado homogéneo entre los agregados y el asfalto garantizando la temperatura de 150°C para proceder a la compactación, teniendo lista la muestra se coloca en el molde un papel filtro antes y después de verter la muestra, se procede aplicar los 75 golpes por cada cara.

Para determinar el número de golpes para la compactación es necesario ir a la (tabla 8) de criterio de diseño sugerido por el instituto del asfalto para el ensayo Marshall.

Tabla 8. Diseño sugerido por el instituto del asfalto para el ensayo Marshall.

CRITERIO DE DISEÑO SUGERIDO POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL ENSAYO MARSHALL			
TRANSITO	PESADO	MEDIO	LIVIANO
	DTN > 100	DTN= 10 A 100	DTN < 10
N° DE GOLPES POR CARA	75	50	35
ESTABILIDAD MINIMA (LB)	750	500	500
FLUJO	(8-16)	(8-18)	(8- 20)

Fuente: INVIAS año 2013

Luego de ser compactada la muestra se enumera el espécimen y se procede a dejarlas 24 horas para luego ser ensayadas, lo mismo se les realizo a las briquetas modificadas con PVC molido reciclado.

En las figuras veintitrés (23), veinte cuatro (24) y veinticinco (25) se muestra el proceso de calentamiento de los materiales y el mezclado homogéneo de los mismos garantizando la temperatura estipulado por la norma INVIAS año 2013

Figura 27. Proceso de calentamiento de los agregados pétreos



Fuente: Propia

Figura 28. Proceso de calentamiento la mezcla asfáltica



Fuente: Propia

Figura 29. Mezcla homogénea de los agregados.



Fuente: Propia

En las figuras veinte seis (26) y veintisiete (27), se observa el proceso de adecuación y compactación de las briquetas por el método Marshall.

Figura 30. Adecuación de la mezcla en el molde De compactación



Fuente: Propia

Figura 31. Compactación de las briquetas



Fuente: Propia

Luego de tener las briquetas verificamos su comportamiento por medio de tres (3) ensayos:

- Densidad de Bulk
- Porcentaje de vacíos
- Ensayo de estabilidad y flujo

3.4.1.1 Densidad de Bulk (I.N.V.E-734): Este ensayo consiste en sumergir las briquetas por lo menos 5 minutos en agua con temperatura ambiente, para tomar el peso de la briqueta en condición saturada, antes de realizar este ensayo se deben tomar varios datos, tres medidas de altura, peso de la muestra seca o en aire, peso de la muestra sumergida en agua y peso de la muestra superficialmente seca, el ensayo consiste en tomar el peso en el aire de cada muestra, luego se sumerge las muestras en agua, que consiste en colocar las muestras en una canastilla que descansa dentro del balde con agua y a su vez suspendido de la balanza que

determina su peso, finalmente se procede a secar superficialmente con una toalla para eliminar el exceso de agua y se pesa en la balanza para determinar su peso superficialmente seco, teniendo los datos anteriores se calcula la densidad de Bulk para cada muestra, luego se aplica un factor de corrección de temperatura del agua correspondiente a 0.997 según la (tabla 734-1) de la norma (I.N.V.E-734 del 2013).

$$Gb = \frac{Wa}{W_{ss} - Ww}$$

- W_a = peso de la muestra seca en el aire
- W_{ss} = peso de la muestra superficialmente seca
- W_w = peso de la muestra en agua

A continuación en las figuras veintiocho(28) y veintinueve (29) se enseña el procedimiento realizado para determinar la densidad de Bulk:

Figura 32. Peso de la briqueta En el aire



Fuente: Propia

Figura 33. Peso de la briqueta sumergida en agua



Fuente: Propia

3.4.1.2 Porcentaje de vacíos (I.N.V.E-736): Se determinan las densidades de Bulk de cada probeta con el mismo porcentaje de asfalto, se mide la altura del espécimen de acuerdo con la norma (INVE -744), para cada espécimen se miden tres diámetros en diferentes sitios, calculado la densidad de Bulk se debe dividir por 0.99707 gr/cm³, este paso se hace para convertir la densidad de Bulk en gravedad específica de Bulk, ya calculado se debe utilizar la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de vacíos con aire de la mezcla compactada respecto al volumen del espécimen;

$$VA = \frac{Gm}{Gmm} * 100$$

Va= porcentaje de vacíos con aire de la mezcla compactada respecto al volumen del espécimen.

Gm = gravedad específica máxima.

Gmm = gravedad específica de Bulk de espécimen compactado.

3.4.1.3 Estabilidad y flujo (I.N.V.E-736): Este ensayo se debe realizar durante las 24 horas siguientes a la compactación de las briquetas, se debe colocar el espécimen en un baño de agua maría durante 30 a 40 minutos a una temperatura de $60 \pm 1^\circ\text{C}$, durante este periodo se debe limpiar y lubricar las mordazas del ensayo antes de montar el espécimen, culminado el periodo del baño de agua maría se debe secar cualquier exceso de agua con una toalla, se coloca centrada en la mordaza inferior y en la mordaza superior se coloca el medidor de flujo mientras se aplica la carga, el tiempo que transcurre desde que sale el espécimen del baño de agua maría hasta su falla debe ser de dos (2) minutos.

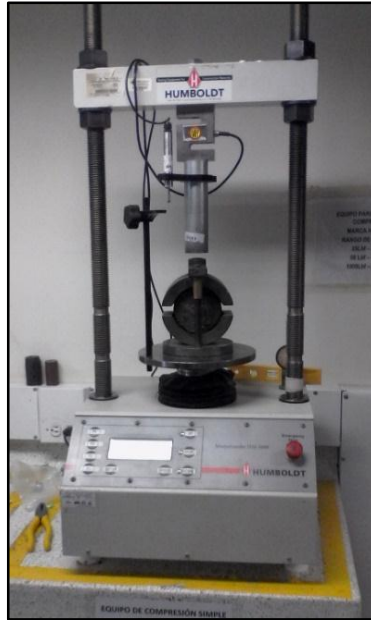
A continuación en las figuras treinta (30) y treinta uno (31), se ensaña el procedimiento realizado para determinar la estabilidad y el flujo de cada briketa:

Figura 34. Periodo de baño De agua maría de las briquetas



Fuente: Propia

Figura 35. Aplicación de carga a la probeta



Fuente: Propia

3.4.2 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Roller Compacter. Por medio de este ensayo se podrá determinar la resistencia estructural que se expresa en el ensayo de estabilidad, el flujo representa la deformación en el sentido del diámetro, indicando el comportamiento de la mezclas asfáltica bajo acciones de carga.

El número de briquetas a realizar fue ocho (8) por cada diseño de mezcla, son realizadas por medio del uso de la maquina Roller Compacter, la cual trabaja con un molde cubico con dimisiones de 26 cm de ancho, 18 cm de altura y 32 cm de profundidad, en la cual se obtiene una panela de pavimento, a la que posteriormente se le extraen cuatro (4) núcleos de la misma, y finalmente adquirir dos briquetas por cada núcleo.

La compactación de este método es obtenida por medio de una presión de carga que ejerce el rodillo de la máquina, la cual busca obtener la densidad calculada anteriormente por el método de Marshall.

En la figura treinta y dos (32) se muestra la muestra homogénea para realizar el ensayo de compactación por el método de la maquina Roller Compacter, garantizando la temperatura estipulada por la norma INVIAS 2013

Figura 36. Mezcla homogénea en caliente para realizar ensayo Roller Compacter



Fuente: Propia

En la figura treinta y tres (33) se observa el método de compactación de la maquina Roller Compacter.

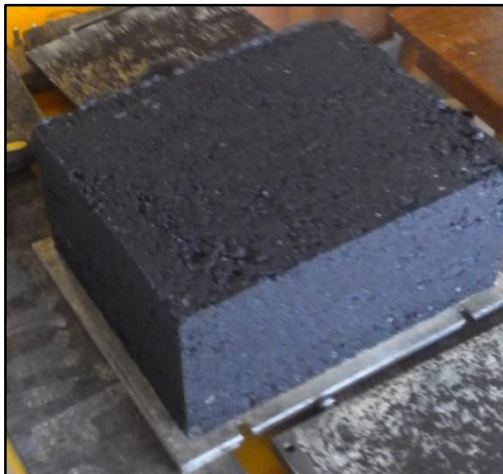
Figura 37. Ensayo Roller Compacter



Fuente: Propia

En la figura treinta y cuatro (34) se observa el resultado de la muestra compactada empleando la maquina Roller Compacter.

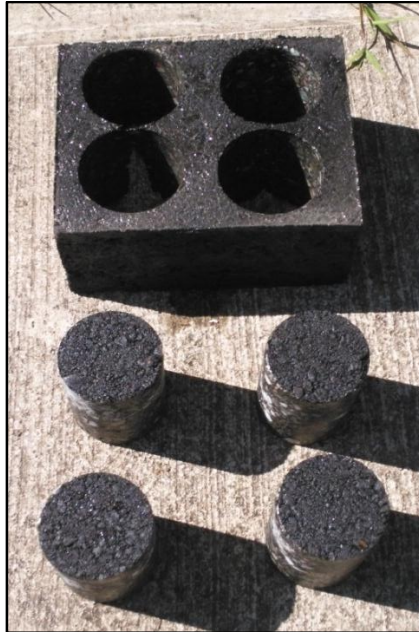
Figura 38. Panela compactada



Fuente: Propia

En la figura treinta y cinco (35) se muestra los cuatro (4) núcleos extraídos de la panela de pavimento compactada los cuales posteriormente se dividen en dos (2) briquetas cada uno:

Figura 39. Extracción de núcleos



Fuente: Propia

Luego de tener las briquetas se verificaron su comportamiento aplicando los mismos tres (3) ensayos expuestos anteriormente en el método de Marshall.

- Densidad de Bulk
- Porcentaje de vacíos
- Ensayo de estabilidad y flujo

4. RESULTADOS

En esta investigación se realizó la clasificación y caracterización de los materiales con el fin de garantizar la calidad de los mismos para elaborar mezclas asfálticas densas en caliente tipo MDC-19. A continuación se muestran los resultados de los ensayos realizados basados en la norma INVIAS del año 2013, los resultados al detalle se encuentran en la sección de anexos.

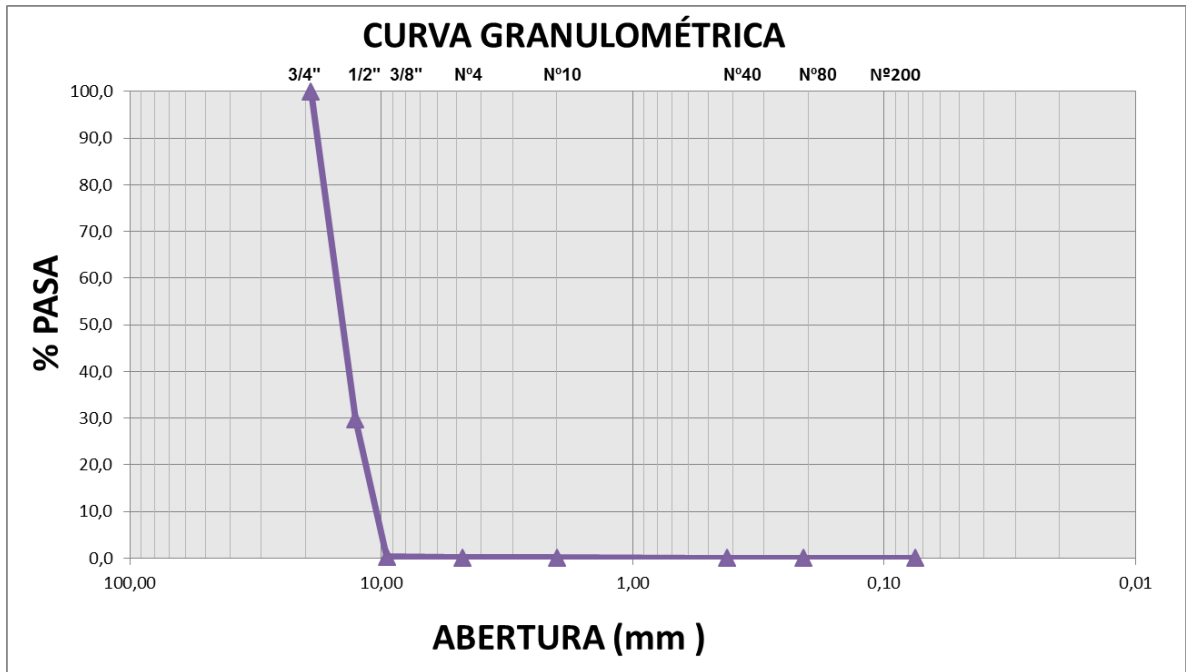
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.

Para garantizar el cumplimiento de los parámetros a los agregados requeridos por la norma INVIAS se utilizó una serie de tamices como lo anuncian en el Artículo 450-6 año 2013 “mezcla asfáltica densa en caliente (concreto asfáltico)”.

4.1.1 Granulometría Agregado Fino y Grueso. La caracterización de los agregados finos y gruesos se realizó como lo solicita la Norma INVE-213-13. Utilizando la serie de tamices establecidos para el diseño de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19.

A continuación en la gráfica uno (1) se muestra la curva granulométrica del agregado grueso implementado en la investigación:

Gráfica 1. Curva granulométrica del agregado grueso

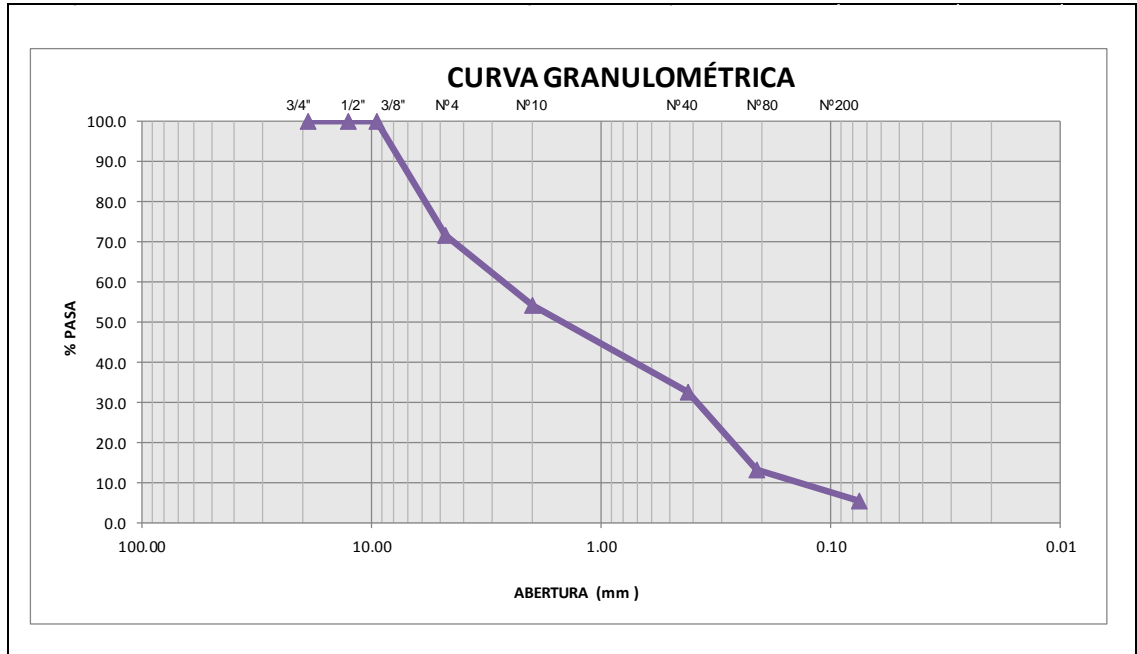


Fuente: Propia

Se realizó el ensayo al agregado grueso según los parámetros de la norma INVIAS y se graficó los resultados para poseer los datos de su uniformidad, en el ANEXO A se enseña los datos registrados para obtener la gráfica granulométrica del agregado grueso.

A continuación en la gráfica dos (2) se muestra la curva granulométrica del agregado fino implementado en la investigación:

Gráfica 2. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Propia

Se realizó el ensayo al agregado fino según los parámetros de la norma INVIAS y se graficó los resultados para poseer los datos de su uniformidad, en el ANEXO 2 se enseña los datos registrados para obtener la gráfica granulométrica del agregado fino.

4.1.2 índice de aplanamiento y alargamiento. En la (tabla 9) se expresa el porcentaje de aplanamiento y alargamiento obtenidos del ensayo ejecutado cumpliendo con la norma INVE-230-13. Los datos registrados en el ensayo del laboratorio se encuentran reflejados en el ANEXO D.

Tabla 9. Índice de aplanamiento y alargamiento

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
ÍNDICE DE APLANAMIENTO	14,32%
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO	16,20%

Fuente: Propia

4.1.3 Caras fracturadas. Se realizó el ensayo mediante los parámetros expuestos en la norma INVE 227-13 y se obtuvo el porcentaje del material que presenta caras fracturadas, el cual se muestra en la (tabla 10). Estos valores indican que es viable el uso del material ya que cumplen los parámetros establecidos para el presente ensayo. Los resultados del ensayo se encuentran reflejado en el ANEXO E.

Tabla 10. Índice de aplanamiento y alargamiento

TAMIZ		% CARAS FRACTURADAS
PASA	RETENIDO	
1"	3/4"	0%
3/4"	1/2"	71,38%
1/2"	3/8"	85,13%

Fuente: Propia

4.1.4 Equivalente de arena. Se realizó el ensayo de acuerdo a las especificaciones planteadas por la norma INVE- 133-13, obteniendo los datos expresados en la (tabla 11). En el ANEXO F se muestran los datos completos del ensayo.

Tabla 11. Equivalente de arena

N° ENSAYO	LECTURA DE ARENA	LECTURA DE ARCILLA	EQUIVALENTE DE ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO %
1	3,35	5,15	65%	64%
2	3	4,8	63%	

Fuente: Propia

4.1.5. Resistencia al desgaste de la máquina de los ángeles. El ensayo del desgaste de los agregados se realizó como lo plantea la norma INVE -218 -13, y se obtuvo el porcentaje de desgaste el cual se refleja en la (tabla 12), el porcentaje de afectación de los agregados ante el desgaste. En el ANEXO 7 se muestran los datos completos del ensayo.

Tabla 12. Ensayo la desgaste de la máquina de los ángeles

N° ENSAYO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA	PESA FINAL DE LA MUESTRA	PORCENTAJE DESGASTE	PORCENTAJE DESGASTE PROMEDIO
1	5000	3849	23%	25%
2	5005	3662	27%	

Fuente: Propia

4.1.6. Gravedad específica y absorción del grueso. Se realizó el ensayo cumpliendo los parámetros estipulados por la norma INVE-223-13, y se determinó el resultado del peso específico del agregado grueso como lo ilustra la (tabla 13). En el ANEXO H se muestran los datos completos del ensayo.

Tabla 13. Gravedad específica y absorción del agregado grueso

DESCRIPCION	RESULTADO	UNIDADES
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SECA AL HORNO (SH)	2,674	gr/cm ³
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2,700	gr/cm ³
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	2,744	gr/cm ³
ABSORCION, %	0,959	%

Fuente: Propia

4.1.7. Gravedad específica y absorción del fino. Se efectuó el ensayo cumpliendo los parámetros estipulados por la norma INVE-222-13, y se determinó el resultado del peso específico del agregado grueso como lo ilustra la (tabla 14). En el ANEXO 9 se muestran los datos completos del ensayo.

Tabla 14. Gravedad específica y absorción del agregado fino

DESCRIPCION	RESULTADO	UNIDADES
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA SH)	2,469	gr/cm ³
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2,508	gr/cm ³
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	2,567	gr/cm ³
ABSORCION, %	1,543	%

Fuente: Propia

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BITUMINOSO

Con el fin de garantizar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, se realizaron unas series de ensayos al material bituminoso para obtener la caracterización del mismo, todo se llevó a cabo bajo la especificaciones de la norma INVIAS.

- Penetración a los materiales bituminosos INVE-706-13.
- Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland INVE-709-13.
- Punto de ablandamiento del material bituminoso INVE-712-13.

La ilustración de los resultados se muestra en la tabla 15 y en el ANEXO J se encuentra los datos complementarios expuestos a continuación.

Tabla 15. Caracterización del material bituminoso

ENSAYO REALIZADO	PENETRACIÓN PROMEDIO (mm)	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	PUNTO DE IGNICIÓN (°C)	PUNTO DE LLAMA (°C)	PESO ESPECÍFICO (gr/Cm3)
1	6,06	53°	220°	225°	1,04

Fuente: Propia

4.3 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS.

4.3.1 Modificación del asfalto con PVC molido. Se realizó la unión del material bituminoso con un porcentaje de PVC molido con el fin de modificar el asfalto, el procedimiento se ejecutó en una cabina extractora de gases cumplimiento con las normas de seguridad contempladas para el mismo.

El PVC se mezcló a una temperatura ambiente ya que al calentarlo individualmente se quema a una temperatura cercana a los 50° C.

Este ensayo no fue viable ya que al tener el asfalto modificado con PVC no se pudo disolver ni realizar los ensayos requeridos para su caracterización, los factores que explican este resultado obtenido son las características Reológicas de los ligantes modificados, las cuales presentan altos valores de dureza a grandes temperaturas, en la figura treinta y seis (36) se evidencia la reacción que presento en asfalto modificado al someterlo a altas temperaturas.

Figura 40. Reaccion del asfalto modificado con PVC



Fuente: Propia

4.3.2 extracción del asfalto en mezclas de pavimentos (INVE-732). Se realizó la extracción del asfalto en las mezclas modificadas con el 10% y 15% de PVC, con el fin de determinar el porcentaje del PVC que se disuelve, el procedimiento se ejecutó en la máquina de extracción cumpliendo con los parámetros estipulados en la norma INVE-732.

En los ensayos realizados a las mezclas asfálticas modificadas se determinó que el PVC solo se disuelve aproximadamente en un 25% debido a que el 75% de sus partículas se ven representadas en el material granular ya que su tamaño máximo nominal es de 0,21 mm que equivale al tamiz N° 80.

Tabla 16. Porcentaje de asfalto extraído en la muestra del 10% de PVC

MUESTRA ASFALTICA MODIFICADA CON EL 10% DE PVC		
DESCRIPCION	PESO (gr)	VALOR %
Dosificación De La Muestra		
Muestra Total	1174,5	100,00%
Agregado	1116,9	95,10%
Asfalto	51,8	4,41%
PVC	5,8	0,49%
Resultados Del Ensayo		
Muestra total	1174,5	100,00%
Muestra obtenida	1121,3	95,47%
Muestra extraída	53,2	4,53%
Resultados Del PVC En La Muestra		
PVC Disuelto	1,4	24%
PVC No Disuelto	4,4	76%
PVC Total	5,8	100%

Fuente: Propia

Tabla 17. Porcentaje de asfalto extraído en la muestra del 15% de PVC

MUESTRA ASFALTICA MODIFICADA CON EL 15% DE PVC		
DESCRIPCION	PESO (gr)	VALOR %
Dosificación De La Muestra		
Muestra Total	1168,8	100,00%
Agregado	1111,5	95,10%
Asfalto	48,7	4,17%
PVC	8,6	0,74%
Resultados Del Ensayo		
Muestra total	1168,8	100,00%
Muestra obtenida	1118	95,65%
Muestra extraída	50,8	4,35%
Resultados Del PVC En La Muestra		
PVC Disuelto	2,1	25%
PVC No Disuelto	6,5	75%
PVC Total	8,6	100%

Fuente: Propia

4.4 RESISTENCIA DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL PARA OBTENER EL PORCENTAJE DE ASFALTO ÓPTIMO.

Se realizó el ensayo Marshall utilizando tres (3) briquetas por cada porcentaje de asfalto, con el fin de determinar el porcentaje de asfalto óptimo para el diseño de la mezcla asfáltica densa en caliente MDC- 19, a continuación en la tabla 15 se expresa los resultados obtenidos.

Tabla 19. Resultados Prueba Marshall.

% de asfalto	relación de vacíos (%)	Vacíos agregado Mineral	Estabilidad (N)	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
4,5	5,363	15,528	15315,6	146,6	3,43
5	3,166	14,64	18656,7	148,92	3,68
5,5	2,896	15,462	18327	148,26	3,68

Fuente: Propia

Se realizó el análisis de los datos mediante el método de regresión lineal estudiando los valores máximos de cada factor, que evalúa la resistencia de las mezclas asfálticas. En Tabla 17 se observa el porcentaje óptimo de asfalto.

Tabla 19. Porcentaje de asfalto óptimo

PORCENTAJE DE ASFALTO OPTIMO											
MEZCLA CONVENCIONAL	PROPIEDAD	VALOR MAXIMO	PORCENTAJE DE ASFALTO	4,5	4,6	4,9	5,0	5,15	5,2	5,25	
	RELACION DE VACIOS	5,999	4,5								
	VACIOS AGREGADOS MINERALES	16,270	4,5								
	ESTABILIDAD	18967,23	5,2								
	PESO ESPECIFICO	148,18	5,15								
	FLUJO	3,715	5,25								
	RESULTADO		4,92								
	RESULTADO REDONDEADO		4,90								

Fuente: Propia

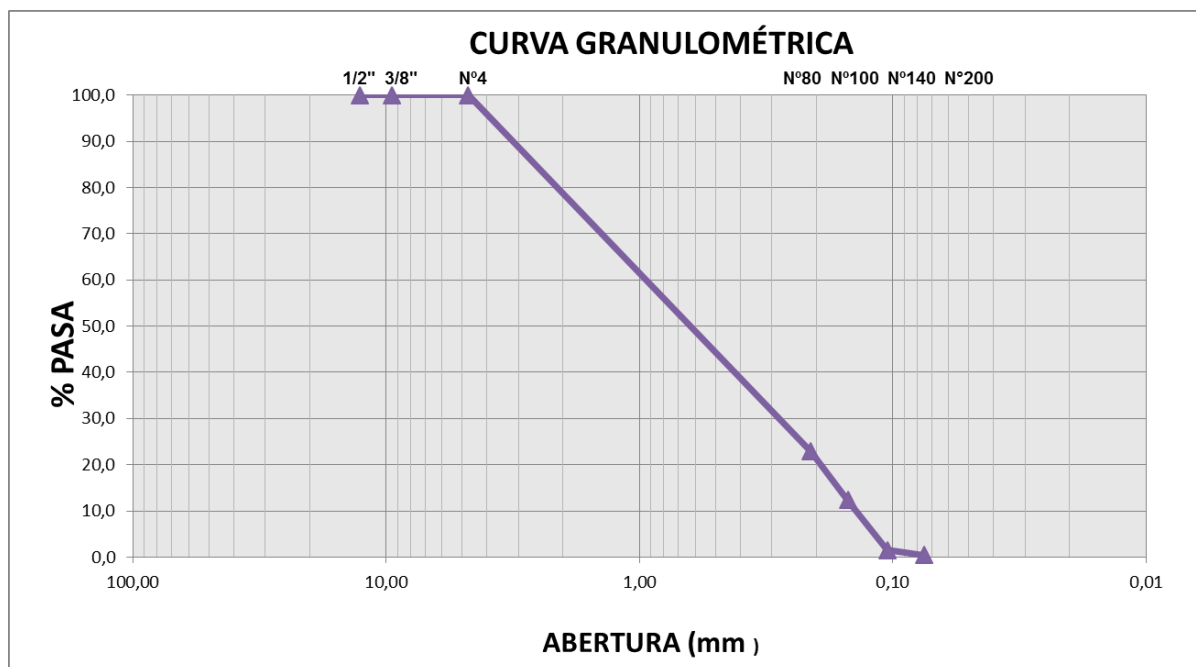
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL PVC.

Se realizó el ensayo al material de PVC y se graficó los resultados para poseer los datos de su uniformidad, en el ANEXO K se enseña los datos registrados para obtener la gráfica granulométrica del PVC.

Continuación en la gráfica dos (3) se muestra la curva granulométrica del agregado fino implementado en la investigación:

Gráfica 3. Curva granulométrica del PVC



Fuente: Propia

5.2 RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS.

5.2.1. Prueba Marshall. Se realizó el ensayo cumpliendo con las especificaciones planteadas por el Artículo 450 de la norma INVIAS 2013, se ejecutó por el método Marshall para poder evaluar la resistencia y el comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente, se evaluó mediante los resultados de la estabilidad y el flujo. Estos datos nos permiten concluir que mezcla tuvo mejor comportamiento entre las convencionales y modificadas. Ver (tabla 18) y ANEXO L. ¹⁵

Tabla 20. Resumen de los estudios a las briquetas convencionales y modificadas con el porcentaje óptimo de asfalto mediante el ensayo Marshall.

RESULTADOS METODO MARSHALL						
descripción	% de PVC	Relación de vacíos (%)	Vacíos agregados Mineral (%)	Estabilidad (N)	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9% convencional	0%	3,98	15,34	17891,68	147,54	3,15
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9% modificado con el 10% de PVC	10%	4,57	15,86	22710,70	146,64	3,13
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9% modificado con el 15% de PVC	15%	5,17	16,39	21467,51	145,71	3,19

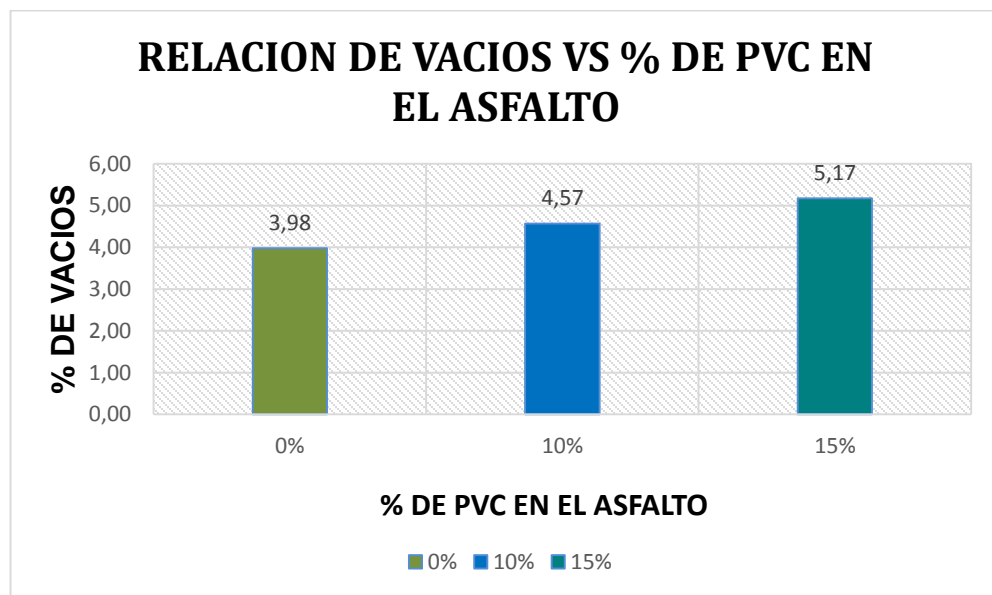
Fuente: Propia

Se analizó gráficamente cada uno de los factores técnicos representativos para el diseño de una mezcla asfáltica densa en caliente mediante el método Marshall, con el objetivo de realizar una comparación de la resistencia de una mezcla asfáltica

¹⁵ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013

convencional con respecto a dos mezclas asfálticas modificadas con PVC, cabe mencionar que la dosificación del PVC se hizo con relación al asfalto y el mecanismo de mezclado del PVC se realizó directamente con los agregados a una temperatura de 140° C.

Grafica 4. Resultados de la relación de vacíos mediante el uso del método Marshall

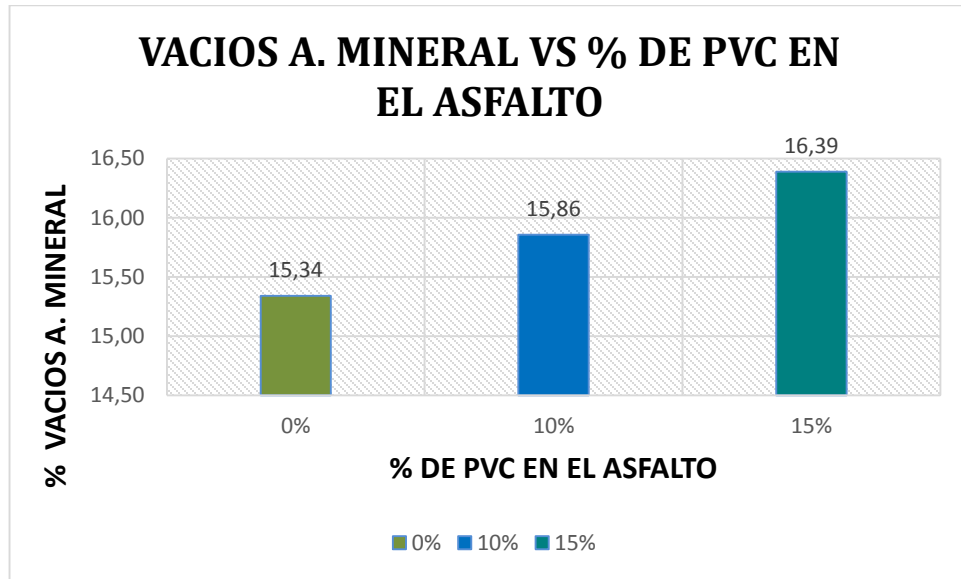


Fuente: Propia

Los resultados de los tres (3) especímenes que muestra la gráfica 4 con respecto a la relación de vacíos es viable ya que en el artículo 450, tabla 450-10, Estipula que para una mezcla densa en caliente MDC-19, el rango para el porcentaje de vacíos se encuentra entre tres (3) y seis (6) por ciento de vacíos. Por lo cual se observa que el porcentaje de PVC con mayor relación de vacíos permitido es la muestra el del 15% de contenido de PVC. ¹⁶

¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

Gráfica 5. Resultados de vacíos de los agregados minerales mediante el uso del método Marshall

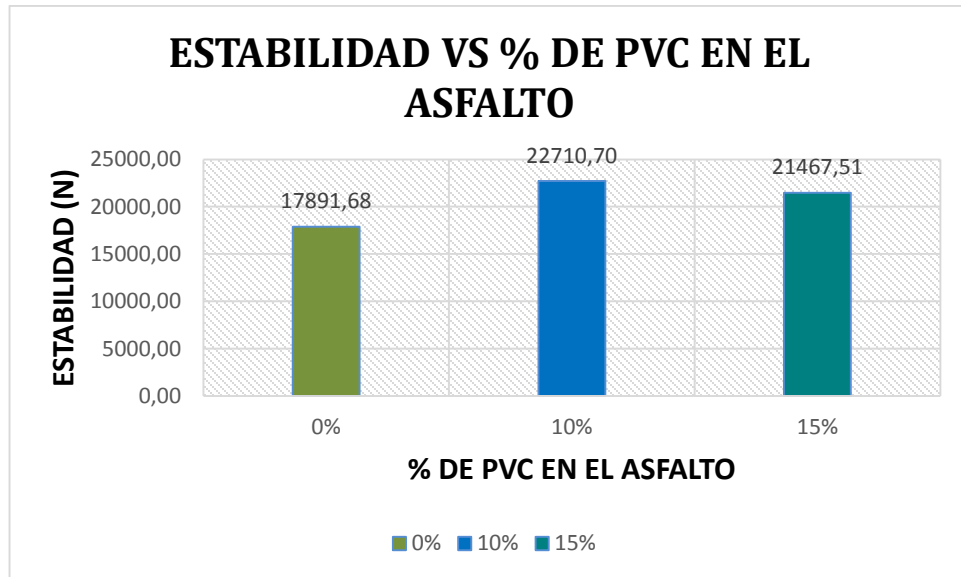


Fuente: Propia

El tamaño nominal del agregado que se utilizó es de 12,7 mm y el peso específico de los agregados son de suma importancia para determinar el porcentaje de vacíos de agregado mineral, estas características fueron las mismas para el desarrollo de todos los especímenes, es por esto que según la gráfica 5 se puede concluir que en el método de Marshall la muestra que arrojó mejor porcentaje es la modificada con el 15% de PVC según los parámetros que estipula la norma INVIAS en el artículo 450- tabla 450-10, la cual nos dice que el porcentaje de vacíos del agregado mineral para este tamaño nominal debe ser aproximadamente mayor al 16%. ¹⁶

¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

Gráfica 6. Resultados de la estabilidad mediante el uso del método Marshall

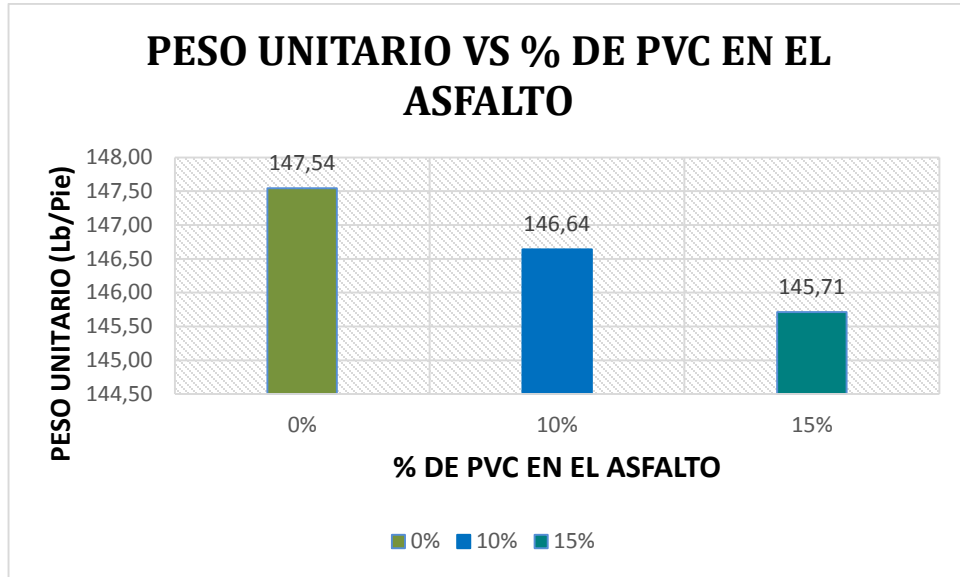


Fuente: Propia

Con respecto a la mezcla asfáltica convencional, los especímenes modificados arrojaron un incremento en la estabilidad como se observa en la gráfica 6, el espécimen que presento mejor estabilidad con el método Marshall modificado fue el de 10% de PVC, cumpliendo con lo estipulado en el Artículo 450 tabla 450-10 año 2013, la cual especifica la estabilidad mínima requerida para el cumplimiento del diseño de la mezcla asfáltica densa de categoría de transito NT2 es 16875 N. ¹⁶

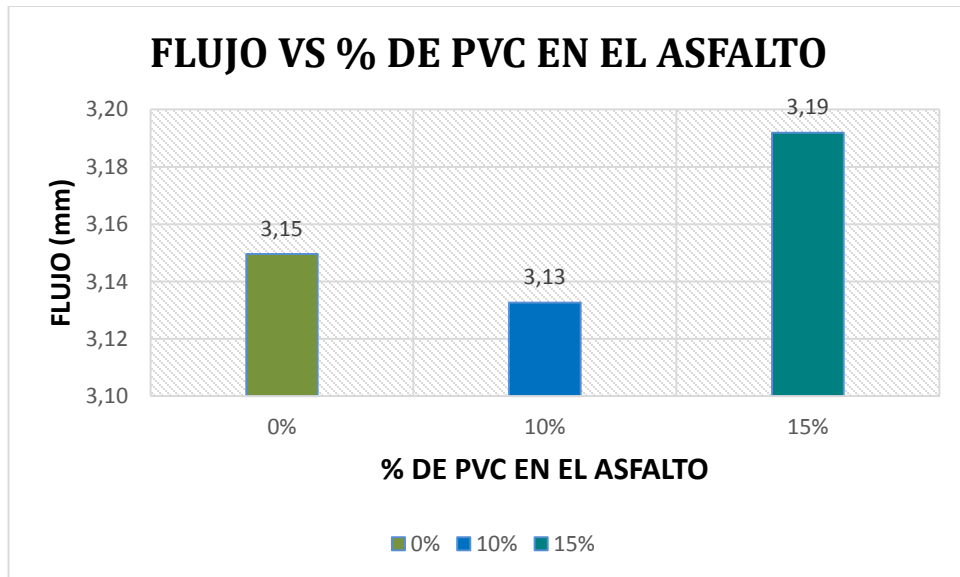
¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

Gráfica 7. Resultados del peso unitario mediante el uso del método Marshall



Fuente: Propia

Gráfica 8. Resultados del flujo mediante el uso del método Marshall



Fuente: Propia

En la gráfica 8 se observa que el flujo de cada espécimen con respecto a los otros no arroja un rango de diferencia significativo, pero de igual manera se determina que el espécimen que presentó mejor flujo en el método de Marshall, es el modificado con el 15% de PVC, en el Artículo 450, tabla 450-10, el rango para el flujo se encuentra entre tres (3) y seis (6) mm, para el diseño de una mezcla asfáltica densa de categoría de tránsito NT2.¹⁶

5.2.2. Prueba Roller Compacter. Se realizó el ensayo cumpliendo con las especificaciones planteadas por el Artículo 450 de la norma INVIAS 2013, el ensayo por medio del aparato Roller Compacter para poder evaluar la resistencia y el comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente, se evaluó mediante los resultados de la estabilidad y el flujo, estos datos nos permite concluir que mezcla tuvo mejor comportamiento entre las convencionales y modificadas. Ver tabla 18 y ANEXO L.

Tabla 21. Resumen del estudio a las briquetas convencionales y modificadas mediante el ensayo Roller Compacter.

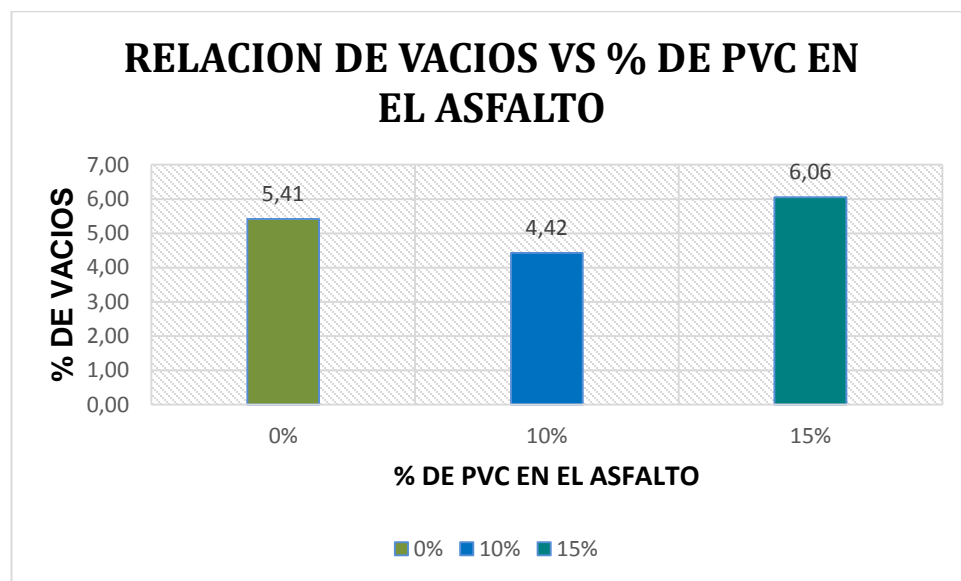
RESULTADOS METODO ROLLER COMPACTER						
descripción	% de PVC	Relación de vacíos (%)	Vacíos agregados Mineral (%)	Estabilidad (N)	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional Extraídas de la panela	0%	5,41	16,60	15260,10	141,31	5,37
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC Extraídas de la panela	10%	4,42	15,73	17320,04	142,79	5,51
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC Extraídas de la panela	15%	6,06	17,17	17136,44	140,35	5,91

Fuente: Propia

¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

Se analizó gráficamente cada uno de los factores técnicos representativos para el diseño de una mezcla asfáltica densa en caliente, mediante el uso mecánico de la maquina Roller Compacter, con el objetivo de realizar una comparación de la resistencia de una mezcla asfáltica convencional con respecto a dos mezclas asfálticas modificadas con PVC, cabe mencionar que la dosificación del PVC se hizo con relación al asfalto y el mecanismo de mezclado del PVC se realizó directamente con los agregados a una temperatura de 140° C. todo se realizó cumpliendo con las especificaciones mencionadas en el artículo 450 norma INVIAS de las especificaciones generales de las construcciones de carreteras.

Gráfica 9. Resultados de la relación de vacíos mediante el uso de la maquina Roller Compacter.

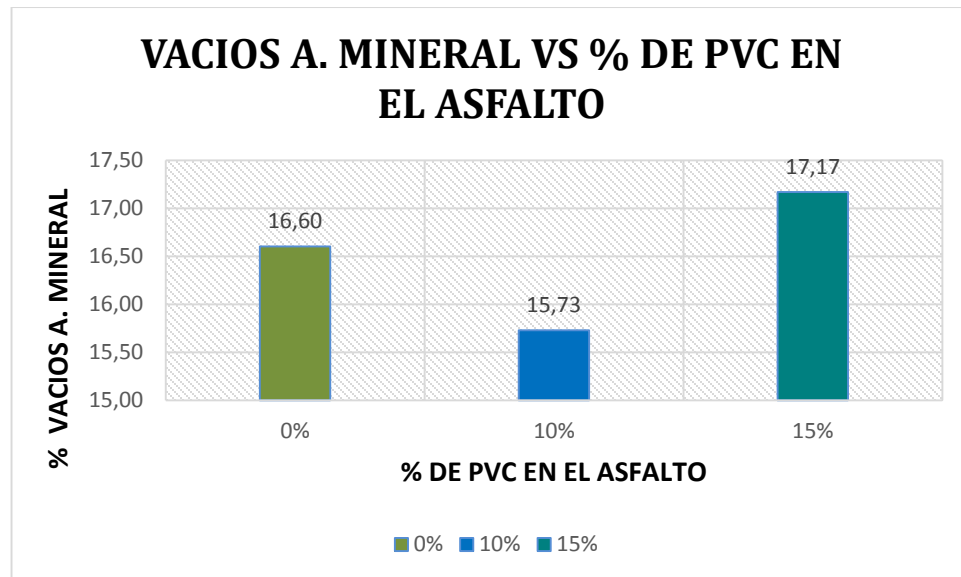


Fuente: Propia

Los resultados de los tres (3) especímenes que muestra la Grafica 9 con respecto a la relación de vacíos es viable ya que la norma INVIAS y artículo 450 tabla 450-10 estipula que para una mezcla densa en caliente MDC-19 NT2, el rango para el porcentaje de vacíos se encuentra entre tres (3) y seis (6) porcientos de vacíos, por

lo cual se observa que el porcentaje de PVC con mayor relación de vacíos permitido es una muestra cercana al 15% de contenido de PVC.

Gráfica 10. Resultados de vacíos en los agregados minerales mediante el uso de la maquina Roller Compacter.

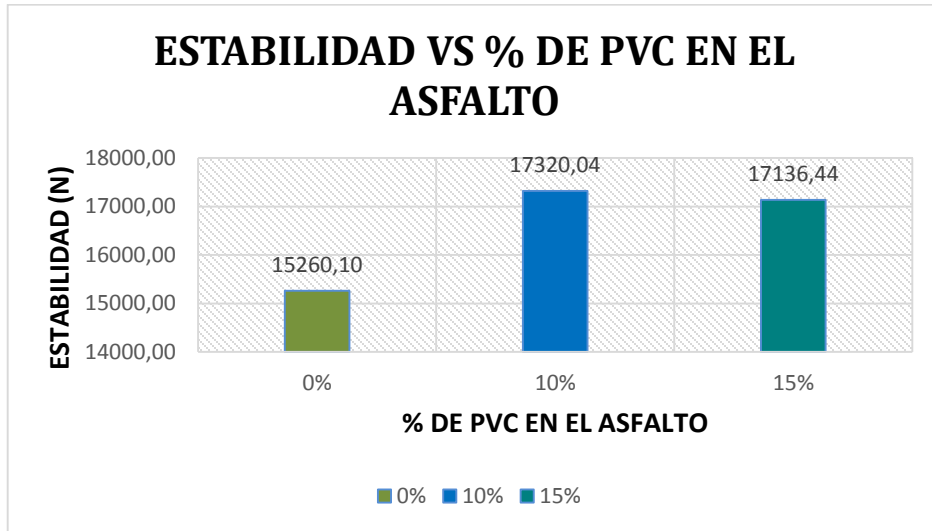


Fuente: Propia

El tamaño nominal del agregado que se utilizó es de 12,7 mm y el peso específico de los agregados son de suma importancia para determinar el porcentaje de vacíos de agregado mineral, estas características fueron las mismas para el desarrollo de todos los especímenes, es por esto que según la gráfica 10 se puede concluir que en la maquina Roller Compacter, la muestra que arrojó mejor porcentaje es la modificada con el 15% de PVC según los parámetros que estipula la norma INVIAS en el artículo 450-10, la cual nos dice que el porcentaje de vacíos del agregado mineral para este tamaño nominal debe ser aproximadamente mayor al 16%.¹⁶

¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

Gráfica 11. Resultados de la estabilidad mediante el uso de la maquina Roller Compacter.

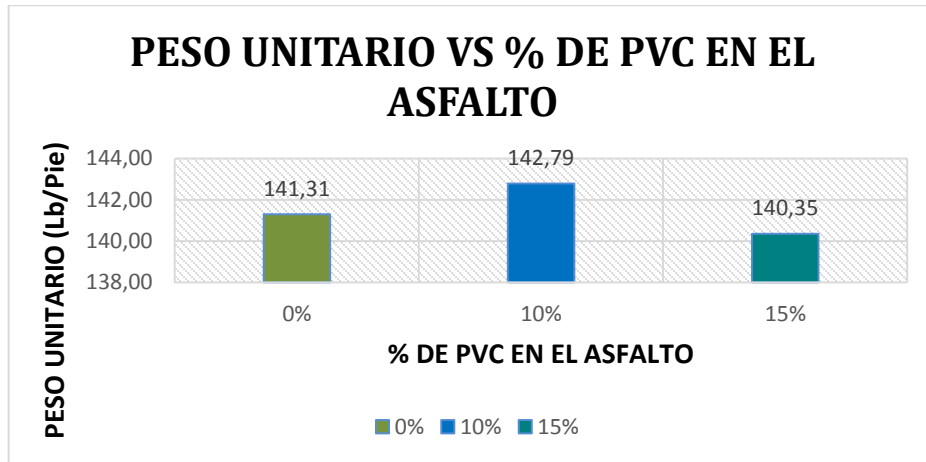


Fuente: Propia

Con respecto a la mezcla asfáltica convencional, los especímenes modificados arrojaron un incremento en la estabilidad como se observa en la Grafica 11, el espécimen que presento mejor estabilidad en el la maquina Roller Compacter, fue el modificado con el 10% de PVC, cumpliendo con lo estipulado en el Artículo 450 tabla 450-10 año 2013, la cual especifica la estabilidad mínima requerida para el cumplimiento del diseño de la mezcla asfáltica densa de categoría de transito NT2 es 16875 N. ¹⁶

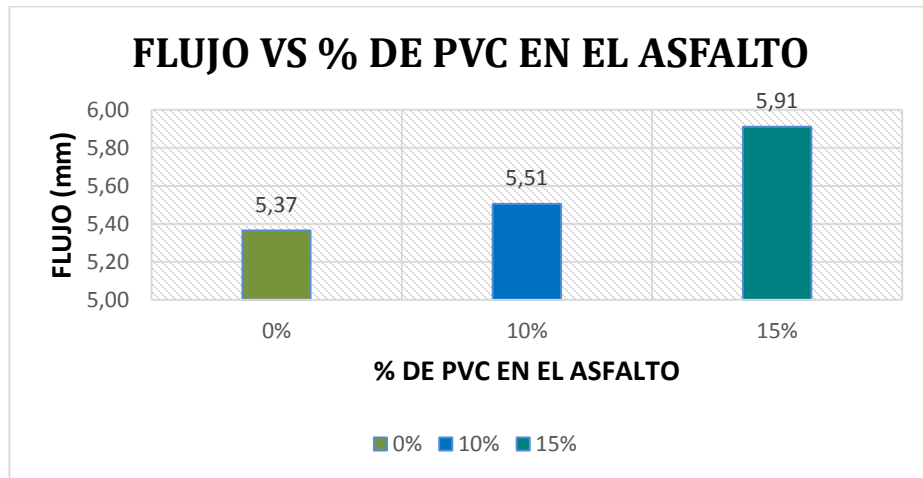
¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

Gráfica 12. Resultados del peso unitario mediante el uso de la maquina Roller Compacter.



Fuente: Propia

Gráfica 13. Resultados del flujo mediante el uso de la maquina Roller Compacter.



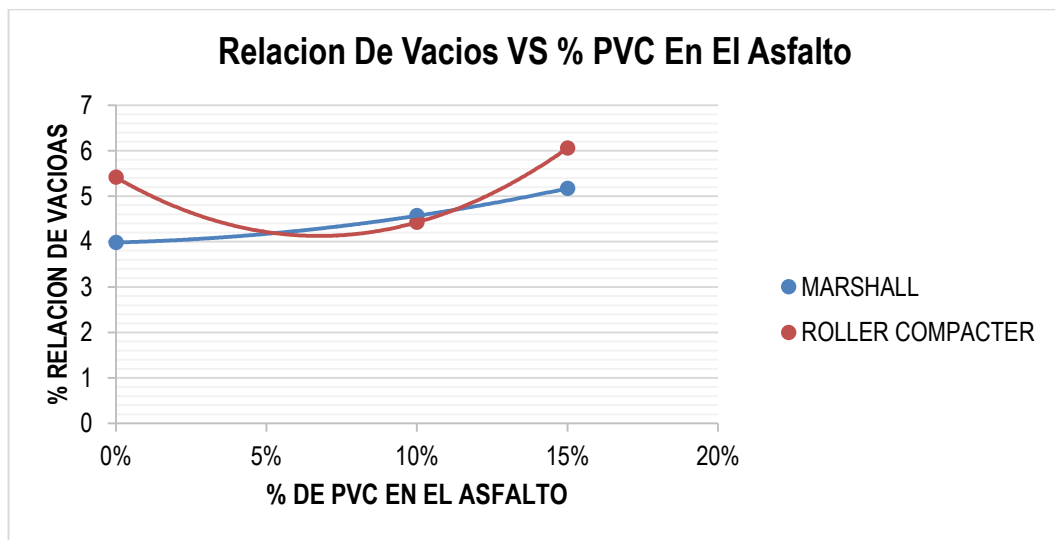
Fuente: Propia

En la gráfica 13 se observa que el flujo de cada espécimen con respecto a los otros no arrojo un rango de gran diferencia, pero de igual manera se determina que el espécimen que presento mejor flujo en la maquina Roller Compacter es el

modificado con el 15% de PVC. En el Artículo 450, tabla 450-10 año 2013 el rango para el flujo se encuentra entre tres (3) y seis (6) mm.

5.2.3. Comparación de resultados método Marshall VS Roller Compacter. En la presente investigación se realizó la comparación del método Marshall y el método con la máquina Roller Compacter, con el fin de obtener el porcentaje de PVC óptimo, para la mezcla asfáltica modificada en caliente MDC-19 Y Poder observar el comportamiento de cada parámetro requeridos para el diseño de una mezcla asfáltica como lo indica la norma INVIAS 2013.

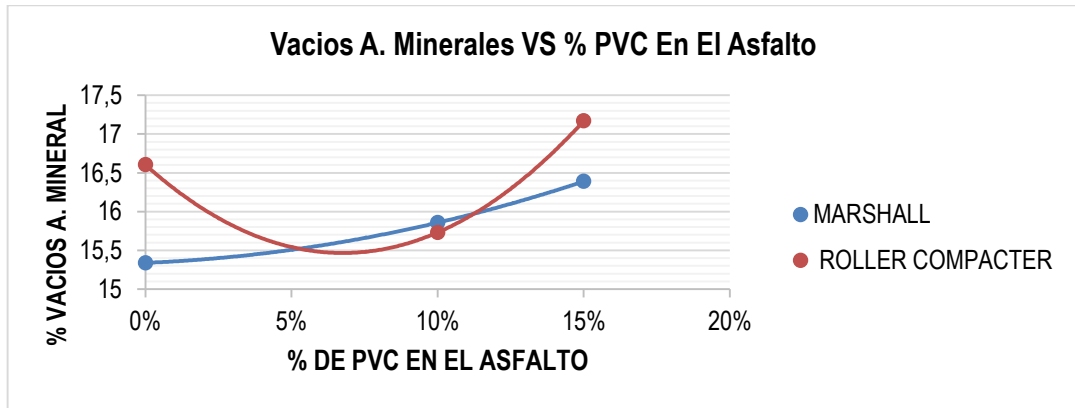
Gráfica 14. Relación de vacíos por el método Marshall vs Roller Compacter.



Fuente: Propia

En la gráfica 14 se evidencia los comportamientos de cada método con respecto a la relación de vacíos en el cual se observa que el método de la máquina Roller Compacter es más variable y en ciertos puntos arroja resultados más altos.

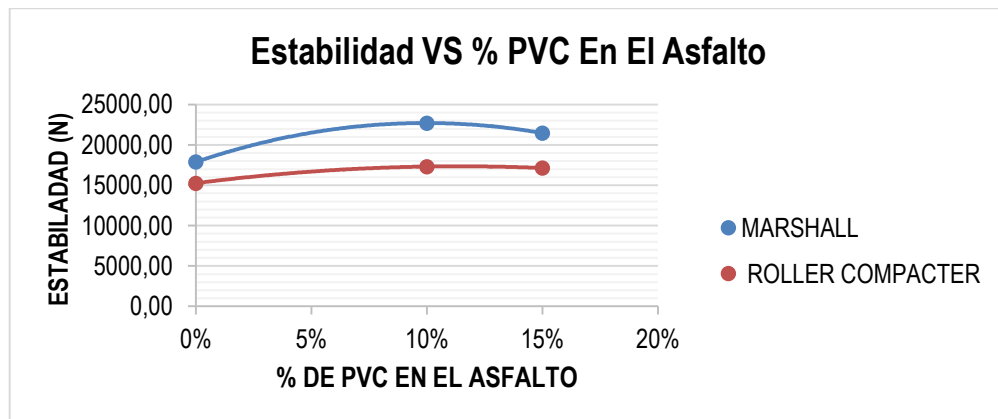
Gráfica 15. Relación de vacíos de agregados minerales por el método Marshall vs Roller Compacter.



Fuente: Propia

En la gráfica 15 se evidencia los comportamientos de cada método con respecto a los vacíos de agregados minerales, en el cual se observa que el método de la maquina Roller Compacter es más variable, pero se observa que con el mayor porcentaje de PVC se presenta más vacíos de agregado mineral por ambos métodos.

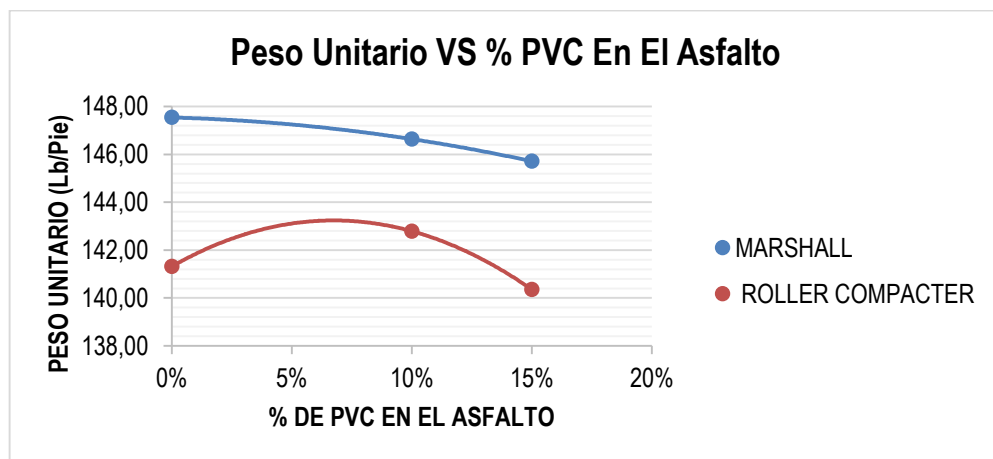
Gráfica 16. Resultados estabilidad por el método Marshall vs Roller Compacter.



Fuente: Propia

En la Grafica 16 se evidencia que el comportamiento del factor de estabilidad presenta la misma tendencia en los dos métodos, arrojando un porcentaje óptimo de PVC muy similar, a pesar que los especímenes del método de Marshall arrojan una mejor estabilidad, con respecto al método de la maquina Roller Compacter.

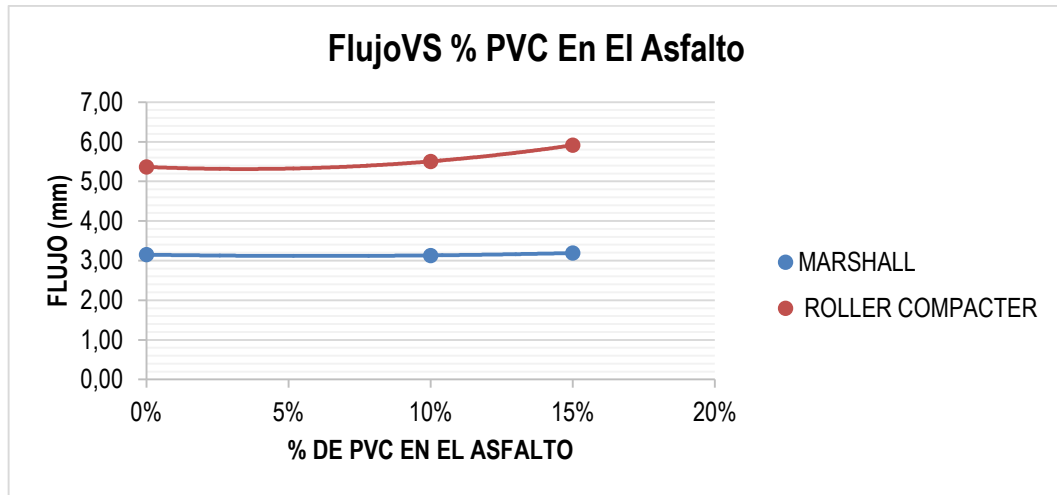
Grafica 17. Resultados peso unitarios por el método Marshall vs Roller Compacter.



Fuente: Propia

En la Grafica 17 se evidencia que el comportamiento del factor de peso unitario presentan un comportamiento similar en los dos métodos arrojando como resultado el mismo porcentaje de PVC Optimo, a pesar que los especímenes del método de Marshall arrojan una mejor estabilidad, con respecto al método de la maquina Roller Compacter.

Grafica18. Resultados del flujo por el método Marshall vs Roller Compacter.



Fuente: Propia

En la Grafica 18 se observa que el comportamiento del factor de flujo con respecto a los dos métodos generan el mismo comportamiento, pero se evidencia que el método de la maquina Roller Compacter brinda especímenes con el factor de flujos más altos.

5.2.4. Identificación del mejor porcentaje de PVC para modificar la mezcla. Se realizó el análisis de los datos mediante el método de regresión lineal estudiando los valores máximos de cada factor que evalúa la resistencia de las mezclas asfálticas, para determinar el porcentaje de PVC que genera mejor comportamiento mediante el uso de los métodos Marshall y Roller Compacter, los cuales se exponen en las Tablas 19 y Tabla 20.

Tabla 22. Porcentaje de PVC optimo en el asfalto por el método Marshall

PORCENTAJE DE PVC OPTIMO EN EL ASFALTO															
MEZCLA MODIFICADA CON PVC	PROPIEDAD	VALOR MAXIMO	PORCENTAJE DE PVC	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	
	RELACION DE VACIOS	5,17	15%												
	VACIOS AGREGADOS MINERALES	24,14	15%												
	ESTABILIDAD	22711,02	10%												
	PESO ESPECIFICO	146,64	10%												
	FLUJO	3,19	15%												
	RESULTADO		13%												

Fuente: Propia

Tabla 23. Porcentaje de PVC optimo en el asfalto por el método Roller Compacter.

PORCENTAJE DE PVC OPTIMO EN EL ASFALTO															
MEZCLA MODIFICADA CON PVC	PROPIEDAD	VALOR MAXIMO	PORCENTAJE DE PVC	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13,3	13,5	14	14,5	15	
	RELACION DE VACIOS	6,06	15%												
	VACIOS AGREGADOS MINERALES	17,17	15%												
	ESTABILIDAD	17349,78	11,5%												
	PESO ESPECIFICO	142,79	10%												
	FLUJO	5,912	15%												
	RESULTADO		13,3%												

Fuente: Propia

Al realizar la comparación de los dos métodos empleados para el diseño de mezcla asfáltica en caliente MDC-19, se puede observar que a pesar que los valores en los resultados son diferentes, el porcentaje de PVC que presento mejor

comportamiento en todos los parámetros fue del 13% en el método de Marshall y 13.3% de PVC con la maquina Roller Compacter.

Evaluando cada uno de los parámetros planteados en el artículo 450 tabla 450-10, se puede concluir que el porcentaje de PVC óptimo en el asfalto según los dos métodos realizados está en un valor entre el 13 y 13,3% de asfalto ya que es un valor que nos brinda alta estabilidad y alto porcentaje de vacíos del agregado mineral, cumpliendo con los rangos establecidos en la relación de vacíos y en el flujo para el diseño de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19 de categoría de transito NT 2. ¹⁶

¹⁶ Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450. 2013, Tabla 450-10

6. CONCLUSIONES

- El material granular fue suministrado de la empresa ASFALTAR S.A, y provino de la cantera ubicada en pescadero (Santander) junto al rio Chicamocha y el material Bituminoso fue proporcionado por la Universidad Pontificia Bolivariana, a estos materiales se les realizaron todos los estudios pertinentes de acuerdo a la I.N.V. E – 2013, en donde se observó que los resultados cumplen con cada factor estipulado para el desarrollo de un diseño de mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19.

El PVC fue proveniente de la empresa CRINO S.A ubicada en la ciudad de Bogotá, se evidencia que es un material que proporciona a la muestra altas resistencias, por tanto se concluye que podría contribuir al mejoramiento del pavimento y de igual forma beneficia al medio ambiente, al ser un material que puede ser reciclado.

Se realizó la unión uniforme del material Bituminoso y el material de PVC, sin embargo no se pudo realizar la caracterización técnica del asfalto modificado, debido que la emulsión asfáltica modificada con PVC sometida a calentamiento presento alta densidad y por tanto no fue posible disolverla. Según la investigación realizada, el factor que explica este resultado obtenido son las características Reológicas de los ligantes modificados, los cuales presentan altas durezas a grandes temperaturas.

- Se elaboraron nueve (9) briquetas empleando el método de Marshall, cumpliendo con todas las normas estipuladas por el instituto nacional de vías año 2013. Se determinó el porcentaje de asfalto con mejor comportamiento en la mezcla asfáltica convencional siendo del 4,9%, de acuerdo al análisis de los resultados en cada uno de los parámetros estipulados en el artículo- 450 INVIAS 2013.

- Para evaluar los parámetros de estabilidad, flujo, relación de vacíos, peso unitario y vacíos de agregado mineral, se construyó tres (3) panelas, una (1) de mezcla asfáltica convencional y dos (2) de mezcla asfáltica modificada con porcentajes de PVC del 10% y 15% respectivamente utilizando el método de la maquina Roller Compacter, posteriormente se obtuvieron ocho (8) briquetas, cuatro (4) de la parte superior y cuatro (4) de la parte inferior de la panelas. Entre los resultados obtenidos se evidenció que el procedimiento de compactación establecido para el método de la maquina Roller Compacter, no es el adecuado, ya que las briquetas superiores arrojaron casi el doble de resistencia en la estabilidad que las briquetas inferiores, debido a que la altura total de la muestra de la panela está sobredimensionada, por tanto la compactación no es homogénea, siendo éste el factor que explica por qué la maquina no alcanza a obtener la densidad estipulada.

Debido a que las muestras probadas por el método de la maquina Roller Compacter arrojaron dos comportamientos diferentes con respecto a la resistencia de estabilidad, se tomó la determinación de realizar tres (3) briquetas por cada diseño realizado anteriormente, con el objetivo de verificar la viabilidad de la mezcla asfáltica densa en caliente modificada con PVC molido, analizando cada uno de los parámetros estipulados para el diseño de una mezcla asfáltica según el artículo 450 de la norma INVIAS año 2013.

Las mezclas fueron desarrolladas con las mismas técnicas de preparación de los materiales y a las mismas temperaturas para no alterar los resultados, en los que podemos concluir que la mezcla asfáltica modificada con PVC (molido) brindó mejores comportamientos en estabilidad, flujo, relación de vacíos y vacíos de agregado mineral por tanto se comprueba su viabilidad.

- Mediante el método de regresión lineal se determinó que el porcentaje de PVC que ofrece mejor comportamiento en la mezcla asfáltica modificada densa en

caliente MDC-19 es el 13% de contenido de PVC en el asfalto, generando una mayor resistencia, sin llegar al límite permitido para la relación de vacíos.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un manual para el uso de la máquina Roller Compacter, ya que el método de compactación establecido arroja una variabilidad en sus resultados, debido a la altura total de la muestra para realizar la compactación.
- Con el fin de darle continuidad al proyecto de mezclas asfálticas modificadas con PVC (molido), se recomienda complementar la investigación incluyendo los ensayos de resistencia a la fatiga, envejecimiento sobre una mezcla asfáltica y durabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

Clasificación de las Mezclas Asfálticas. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas Septiembre 01 DEL 2015.

CRINO. Compañía dedicada a la producción y comercialización de insumos y materia prima para la industria plástica. En línea. 1995. Citado en línea 28-nov-2014. Disponible en internet: (<http://www.crino.com.co>). Junio 19 del 2015.

DELGADO GARNICA, Julieth, ARIZA MAHECHA, Johany Sneyder. Evaluación de una mezcla densa en caliente modificada con la adición de ceniza volante y caucho. Bucaramanga 2014 (Tesis de grado para optar el título de ingeniero). Universidad pontificia bolivariana, escuela de ingeniería civil.

DELGADO SALAZAR, Jorge. Evaluación de la factibilidad del uso en costa rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta., San José (Costa rica), 2008.

Infórmate sobre los riesgos del PVC. Disponible en: <http://www.grupotortuga.com/informate-sobre-los-riesgos-del>. Junio 15 del 2015.

MAILA PAUCAR Manuel Elias., (2013). Comportamiento De Una Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Etileno (Eva), universidad central del ecuador, quito (Ecuador).

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Instituto Nacional de Vías, (2013). especificaciones generales de las construcciones de carreteras. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), Artículo 450-13.

MONTEJO FONCECA, Alfonso. Ingeniera de pavimentos para carreteras: clasificación de pavimentos. Primera. Bogotá: panamericana, 1997

PRADA, Oscar; RONDON, Hugo; GONZALEZ, Gioconda y REYES, Freddy., (2010). Comportamiento de dos mezclas asfálticas venezolanas en caliente, modificadas con desecho de policloruro de vinilo. Artículo de investigación Revista Ciencia e ingeniería Vol. 31, VENEZUELA.

Propiedades, Procesamiento y Aplicaciones del PVC. Disponible en: <http://www.indesca.com/pvc.htm>. Julio 04 del 2015.

Propiedades. PVC (POLICLORURO DE VINILO) Disponible en: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PVC/PVCprop/propiedades.htm>. Julio 04 del 2015.

QUINTANA RONDON, Hugo Alexander, LIZCANO REYES, Fredy Alberto y OJEDA MARTINEZ Blanca Esperanza., (2008). Comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo (PVC). Ciencia e ingeniería Neogranadina., Vol. 18-2. Bogotá (Colombia).

REYES LIZCANO, Fredy Alverto. Diseño racional de pavimentos: tipo y usos de asfalto. Primera, Bogotá: escuela colombiana de ingeniera, 2003.

RODRÍGUEZ TALAVERA, Rogelio, castaño Meneses Víctor Manuel, Martínez Madrid Miguel. EMULSIONES ASFÁLTICAS, secretaria de comunicaciones y transporte instituto mexicano del transporte, documento técnico N° 23 sanfandila, Qro, 2001.

RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander, REYES LIZCANO, Fredy Alberto, OJEDA MARTÍNEZ, Blanca Esperanza, Comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de Policloruro de Vinilo (PVC) estudio de investigación, Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Diciembre de 2008.

RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexánder; RODRÍGUEZ RINCÓN, Edgar; MORENO ANSELMI, Luis Ángel. Resistencia mecánica evaluada en el ensayo MARSHALL de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS) Medellín. Año 2007

RUEDA GONZALES, Néstor Julio, GUTIERRES GONZALEZ, Wilson Alfonso, comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC2 modificada con limalla. Bucaramanga, 2012. (Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero). Universidad pontificia bolivariana, escuela de ingeniería civil.


SALAZAR DELGADO, Jorge. Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica. Año 2008.

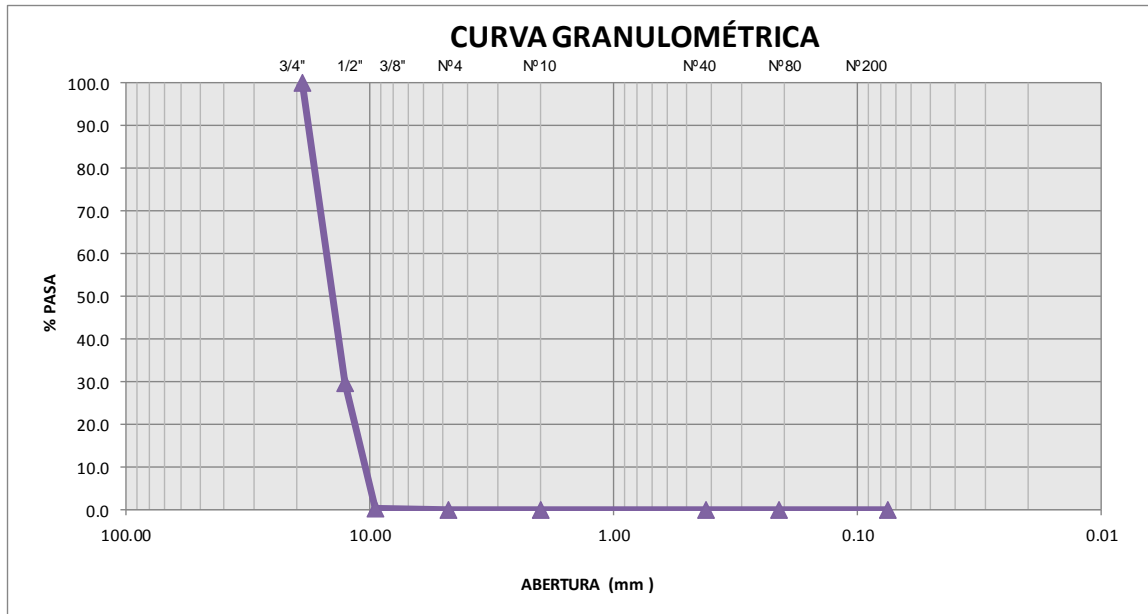
Tipos de pavimentos. Disponible en: <http://www.tiposde.org/construccion/659-tipos-de-pavimentos>. Julio 01 del 2015.

UVA. Universidad de Valladolid. En línea. 2010. Citado 27-nov-2014. Disponible en internet: (<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pvc/obtencion.html>) junio 25 del 2015.

ANEXOS

ANEXO A. Granulometría agregado grueso

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	Muestra N°	1	Fecha:	16/08/2015	
	DESCRIPCION: AGREGADO FINO		Redizó:	FABIAN PRADA - SERGIO GOMEZ	
ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO					
PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)				1510	
PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)				1500	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA TOTAL
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	1054.00	70.27	70.27	29.73
3/8"	9.52	441.40	29.43	99.69	0.31
N° 4	4.75	2.20	0.15	99.84	0.16
N° 10	2	0.50	0.03	99.87	0.13
N° 40	0.42	0.60	0.04	99.91	0.09
N° 80	0.21	0.70	0.05	99.96	0.04
N° 200	0.075	0.60	0.04	100.00	0.00
FONDO	0	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		
MODULO DE FINURA = % RETENIDO TOTAL/100					
MF= 5.70					

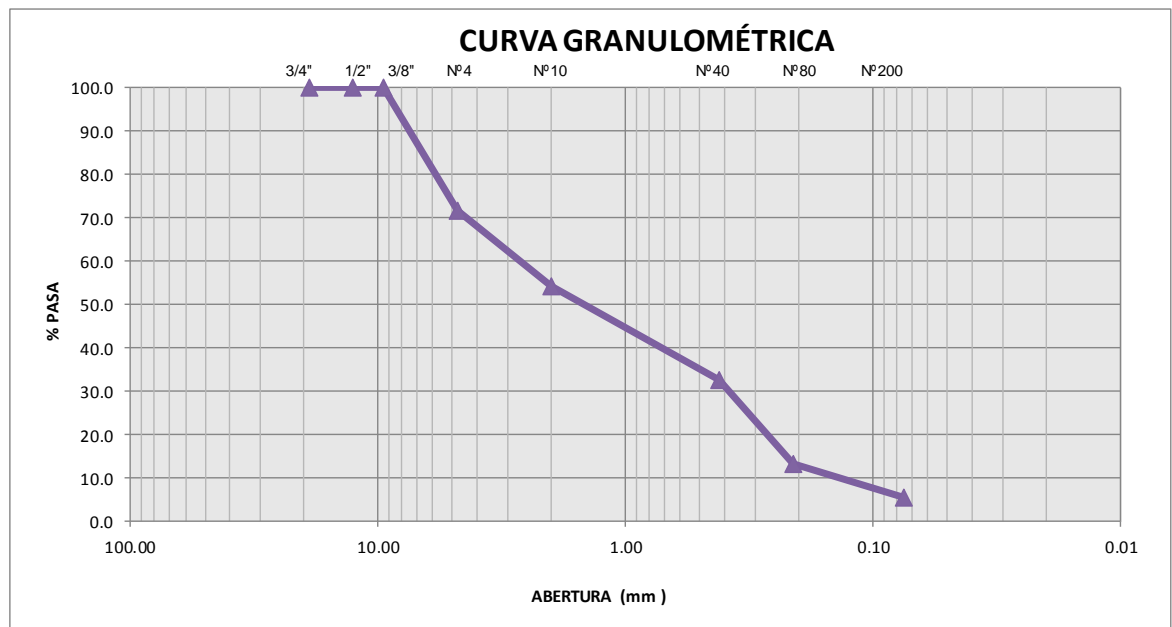


ANEXO B. Granulometría agregado fino


 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	Muestra N°	1	Fecha:	16/08/2015
	DESCRIPCION: AGREGADO FINO		Redizó:	FABIAN PRADA - SERGIO GOMEZ

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS FINOS

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)				2984.2	
PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)				2980.2	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA TOTAL
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.52	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.75	847.00	28.42	28.42	71.58
Nº 10	2	512.00	17.18	45.60	54.40
Nº 40	0.42	647.50	21.73	67.33	32.67
Nº 80	0.21	574.20	19.27	86.59	13.41
Nº 200	0.075	235.50	7.90	94.50	5.50
FONDO	0	164.00	5.50	100.00	0.00
TOTAL		2980.20	100.00		
MODULO DE FINURA = % RETENIDO TOTAL/100					
MF = <u>2.28</u>					




ANEXO C. Índice de aplanamiento y alargamiento

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>			INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO			
			INV E-230			
			FECHA:	16/06/2015	REALIZÓ	
			DESCRIPCION:			
			AGREGADO GRUESO			
ENSAYO 1						
Peso total muestra (gr)					1899,91	
Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	Aplanamiento		Alargamiento	
			Wpasa (Wapi) gr	Wretenido (Wail) gr	I. Aplanamiento	I. Alargamiento
1" - 3/4"	0	0,00%	0	0	0,00%	0,00%
3/4" - 1/2"	1085	57,11%	128,3	115,4	11,82%	10,64%
1/2" - 3/8"	496	26,11%	58,6	109,5	11,81%	22,08%
3/8" - N°4	318,91	16,79%	85,2	82,8	26,72%	25,96%
		100,00%				
Indice de Aplanamiento		14,32%	Indice de Alargamiento.		16,20%	


ANEXO D. Caras fracturadas en los agregados

		PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (I.N.V.E-227)			
		FECHA:	16/06/2015	REALIZÓ	
		DESCRIPCION: AGREGADO GRUESO		SERGIO GOMEZ - FABIAN PRADA	
ENSAYO 1					
TAMIZ		PESO INICIAL (gr)	PESO CARAS FRACTURADAS	PESO CARAS NO	% DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETENIDO				
3/4"	1/2"	400	282	118	70,50%
1/2"	3/8"	800	675	125	84,38%
ENSAYO 2					
TAMIZ		PESO INICIAL (gr)	PESO CARAS FRACTURADAS	PESO CARAS NO	% DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETENIDO				
3/4"	1/2"	400	289	111	72,25%
1/2"	3/8"	800	687	113	85,88%
PROMEDIO					
TAMIZ		% CARAS NOFRACTURADAS		% CARAS FRACTURADAS	
PASA	RETENIDO				
3/4"	1/2"	28,63%		71,38%	
1/2"	3/8"	14,88%		85,13%	


ANEXO E. Equivalente de arena

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>		ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA				
		FECHA:			REALIZADO	
						SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
MUESTRA1				MUESTRA2		
ARCILLA	5,15			ARCILLA	4,8	
ARENA	3,35			ARENA	3	
EQUIVALENTE DE ARENA MUESTRA 1		65%	EQUIVALENTE DE ARENA MUESTRA 2		63%	
EQUIVALENTE DE ARENA				64%		


ANEXO F Resistencia al desgaste de los agregados por medio De La máquina de los Ángeles

					RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES (I.N.V.E -		
					FECHA: 17/06/2015 REALIZADO		
					DESCRIPCION:		- FABIAN PRADA
TAMAÑO FRACCIÓN					PESO REAL GR	PESO Y GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA (GR)	
ENSAYO 1							
PASA TAMIZ		RETENIDO TAMIZ		TIPO GRANULOMETRIA			
mm	N°	mm	N°			A	B
19	3/4"	12,5	1/2"	2502			2500+/-10
12,5	1/2"	9,5	3/8"	2498			2500+/-10
PESO TOTAL DE LA MUESTRA				5000			5000+/-10
CARGA ABRASIVA		N° ESFERAS				11	
		PESO DE CARGA TOTAL (g)				4584+/-25	
		N°VUELTAS				500	
RESULTADOS							
TIPO DE GRANULOMETRIA							B
PESO INICIAL MUESTRA (g)							5000
PESO FINAL MUESTRA LAVADA EN TAMIZ 1,70 mm N°12 (g)							3849
PORCENTAJE DESGASTE (%)							23%
ENSAYO 2							
TAMAÑO FRACCIÓN					PESO REAL GR	PESO Y GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA (GR)	
PASA TAMIZ		RETENIDO TAMIZ		TIPO GRANULOMETRIA			
mm	N°	mm	N°			A	B
19	3/4"	12,5	1/2"	2503			2500+/-10
12,5	1/2"	9,5	3/8"	2502			2500+/-10
PESO TOTAL DE LA MUESTRA				5005			5000+/-10
CARGA ABRASIVA		N° ESFERAS				11	
		PESO DE CARGA TOTAL (g)				4584+/-25	
		N°VUELTAS				500	
RESULTADOS							
TIPO DE GRANULOMETRIA							B
PESO INICIAL MUESTRA (g)							5005
PESO FINAL MUESTRA LAVADA EN TAMIZ 1,70 mm N°12 (g)							3662
PORCENTAJE DESGASTE (%)							27%
PORCENTAJE DESGASTE (%)							25%


ANEXO G. Gravedad específica y absorción del agregado grueso


 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INVE-223	
	FECHA	REALIZADO
	14/06/2015	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
DESCRIPCION	PESO SIN PLATON	UND
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (B)	2504,8	g
PESO SUMERGIDO (C)	1577	g
PESO SECO AL HORNO (A)	2481	g
DESCRIPCION	RESULTADO	UNIDADES
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SECA AL HORNO (SH)	2,674	gr/cm3
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SUPERFICIALMENTE SECA	2,700	gr/cm3
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	2,744	gr/cm3
DENSIDAD EN CONDICION SECA AL HORNO (SH)	2667,38	Kg/m3
DENSIDAD EN CONDICION SECA AL HORNO (SH)	166,51	Lb/pie3
DENSIDAD EN CONDICION SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2692,97	Kg/m3
DENSIDAD EN CONDICION SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	168,11	Lb/pie3
DENSIDAD APARENTE	2737,61	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	170,90	Lb/pie3
ABSORCION, %	0,96	%


ANEXO H. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.


 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (INVE-222)	
	FECHA	REALIZADO
	14/06/2015	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS INVE-222		
NOMBRE		VALOR (GR)
Peso al aire de la muestra seca (A)		492,4
Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)		698
Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno		998,6
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (S)		500
DESCRIPCION	RESULTADO	UNIDADES
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA SH)	2,469	gr/cm3
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SUPERFICIALMENTE	2,508	gr/cm3
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	2,567	gr/cm3
DENSIDAD EN CONDICION SECA AL HORNO (SH)	2463,23	Kg/m3
DENSIDAD EN CONDICION SECA AL HORNO (SH)	153,77	Lb/pie3
DENSIDAD EN CONDICION SATURADA Y SUPERFICIALMENTE	2500,00	Kg/m3
DENSIDAD EN CONDICION SATURADA Y SUPERFICIALMENTE	156,14	Lb/pie3
DENSIDAD APARENTE	2560,84	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	159,86	Lb/pie3
ABSORCION, %	1,54	%

ANEXO I. Caracterización del material bituminoso

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	REALIZADO
	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
ENSAYO DE PENETRACIÓN	
PUNTOS	DATO OBTENIDO MM
1	6
2	6,3
3	5,7
4	6,3
5	6,5
6	6
7	6,2
8	5,9
9	6
10	6,2
11	6
12	5,8
13	6
14	6,3
15	6
16	5,9
17	5,5
18	6,5
19	6
PENETRACIÓN PROMEDIO	6,06

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	REALIZADO
	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
PUNTO DE IGNICION °C	PUNTO DE LLAMA °C
220°C	225°C

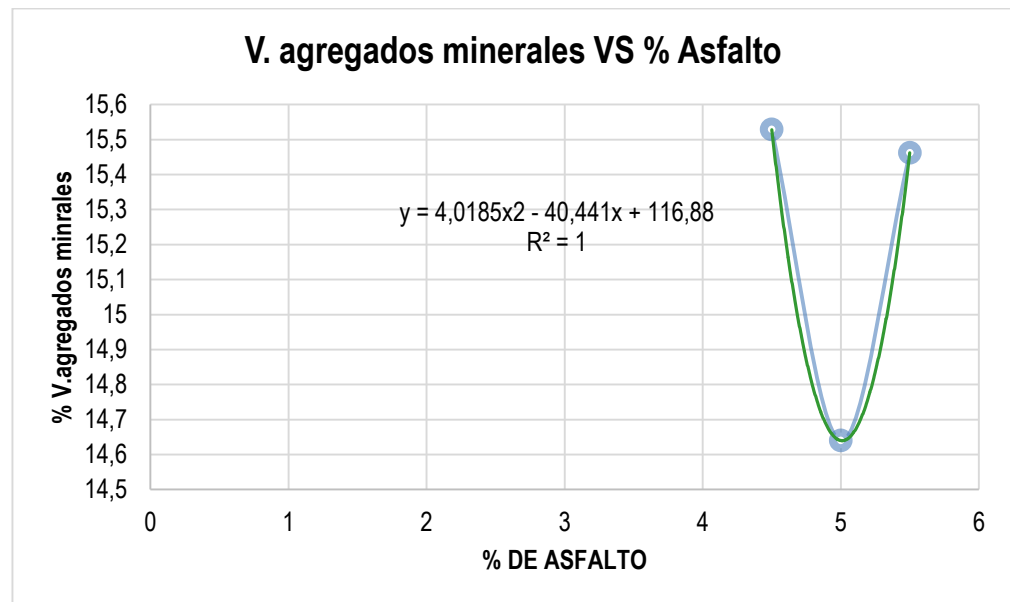
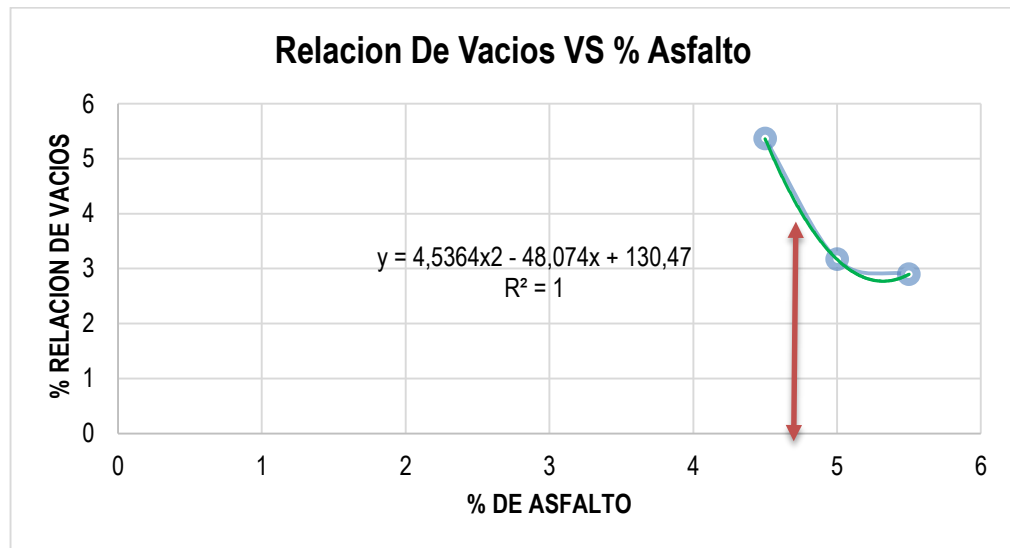
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	REALIZADO
	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	
ESFERA #1 (°C)	ESFERA #2 (°C)
52	54
PUNTO DE ABLANDAMIENTO PROMEDIO	
53	

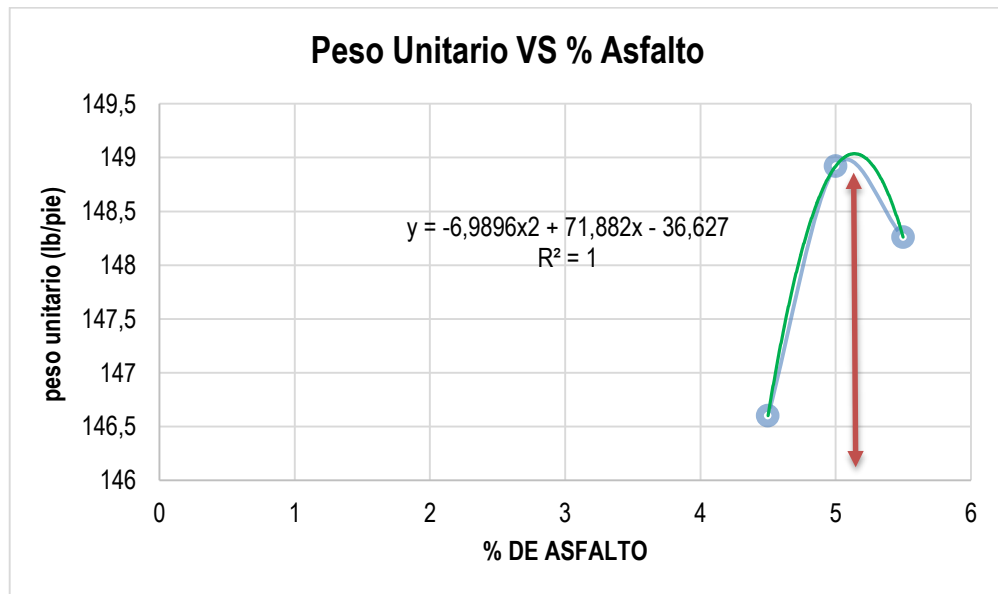
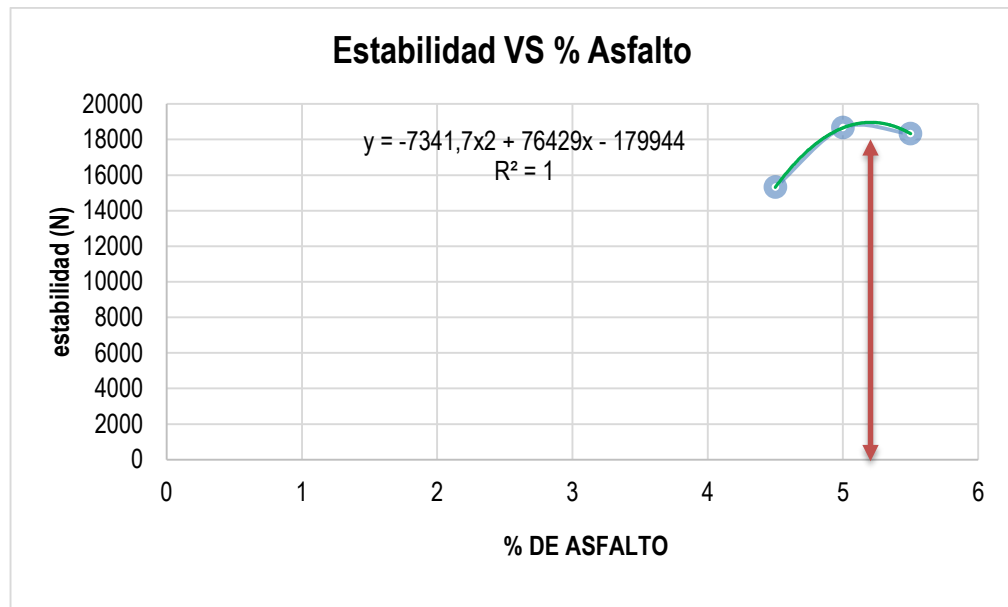
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	REALIZADO		
	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA		
PESO ESPECÍFICO			
MUESTRA	PESO (Gr)	VOLUMEN INICIAL (MI)	DENSIDAD
1	7,39	7	1,06
2	10,48	10,2	1,03
3	13,49	13,2	1,02
4	19,39	18,7	1,04
PESO ESPECÍFICO PROMEDIO			1,04

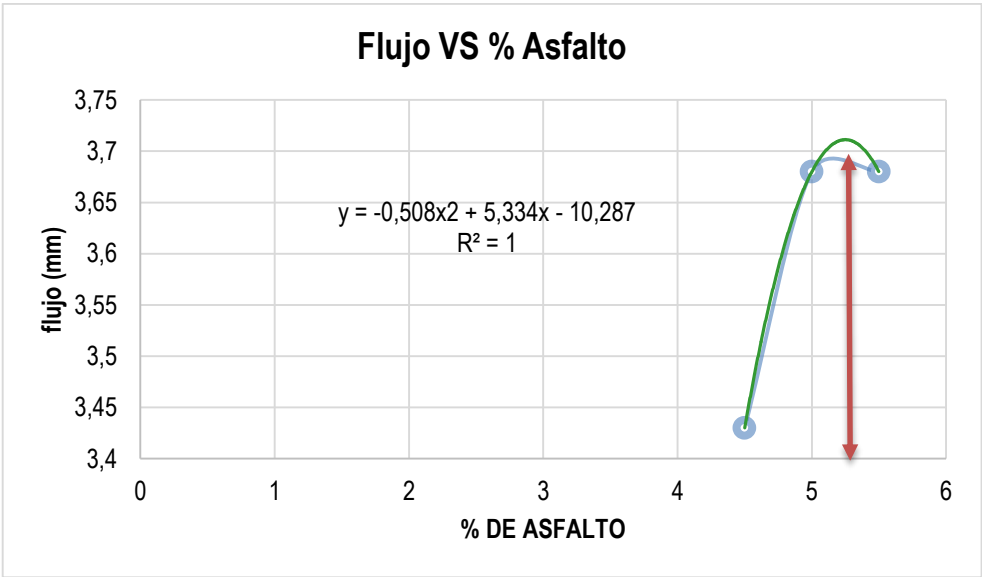
ANEXO J. Diseño Marshall convencional.


Especificaciones		Peso específico de																
Asfalto Convencional (PsAsF)		1,04																
Agregados PsAg		2,656																
Mezcla	% Asfalto	N de Briqueta	Espesor (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Volumen (cm3)	Peso Especifico		Volumen % Total			Vacios %			Peso unitario lb/pulg3	Estabilidad		Flujo 0,01" (mm)
				En Aire	En Agua		Bulk	Teorico	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agregado Mineral	Mezcla total	Llenos		Medida (N)	Corregida (N)	
9 Briquetas elaboradas con asfalto convencion al 60-70 sin modificar	4,5	1	62,40	1180,6	684,1	496,46	2,378								148,39	27334,19	28126,88	4,06
		2	64,33	1185,2	676	509,18	2,328								145,24	15106,09	14803,97	3,43
		3	63,73	1173,6	672,5	501,05	2,342								146,16	15906,76	15827,23	3,43
		promedio						2,349	2,482	10,165	84,472	5,363	15,528	5,363	65,464	146,60	15506,43	15315,60
	5	1	63,40	1180,8	686	494,77	2,387								148,92	18162,95	18217,44	3,56
		2	62,23	1171	680,1	490,96	2,385								148,83	18489,21	19136,33	3,94
		3	62,53	1181,8	686,8	494,93	2,388								149,00	18127,02	18616,45	3,56
		promedio						2,386	2,465	11,473	85,360	3,166	14,640	3,166	78,371	148,92	18259,73	18656,74
	5,5	1	62,63	1184,3	687	497,29	2,382								148,61	17721,63	18146,95	3,68
		2	63,47	1174,9	675,1	499,75	2,351								146,70	10577,82	10577,82	3,68
		3	62,80	1178,8	686,7	492,06	2,396								149,48	18162,00	18507,08	3,68
		promedio						2,376	2,447	12,565	84,538	2,896	15,462	2,896	81,269	148,26	17941,81	18327,01

% de asfalto	relación de vacíos (%)	Vacíos agregado Mineral	Estabilidad (N)	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
4,5	5,363	15,528	15315,6	146,6	3,43
5	3,166	14,64	18656,7	148,92	3,68
5,5	2,896	15,462	18327	148,26	3,68








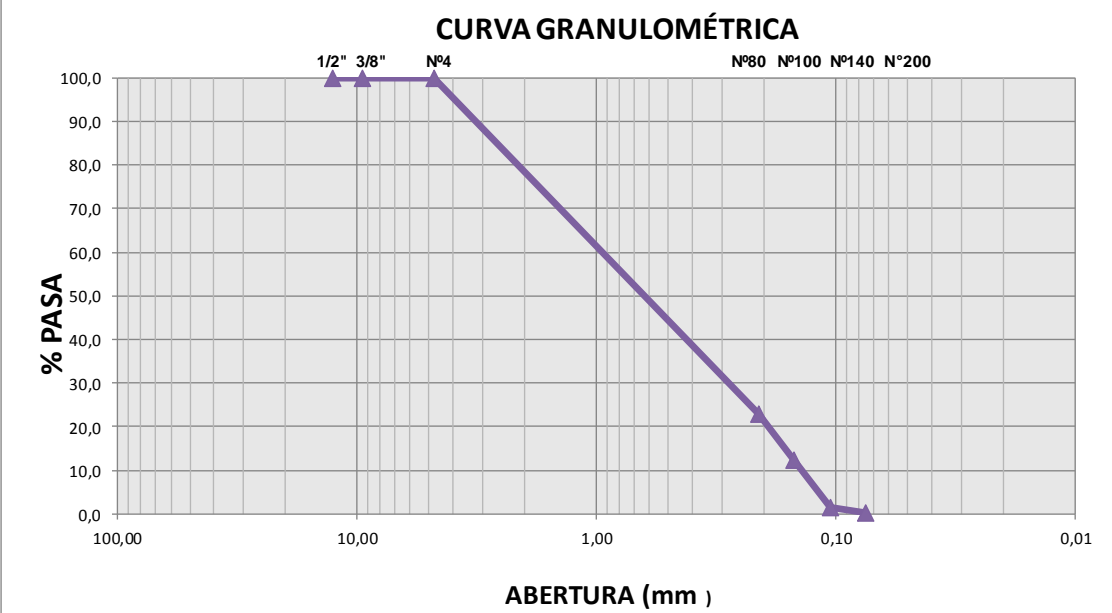
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>			Fecha:	16/08/2015	
			Realizó:	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA	
PORCENTAJE DE ASFATO OPTIMO					
% de asfalto	relación de vacíos	Vacíos agregado Mineral	Estabilidad	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
4,5	5,999	16,27	15317,1	145,3	3,429
4,55	5,648	16,066	15816,41	145,73	3,466
4,6	5,32	15,883	16279,03	146,13	3,5
4,65	5,014	15,719	16704,94	146,49	3,532
4,7	4,731	15,576	17094,15	146,82	3,561
4,75	4,471	15,453	17446,64	147,11	3,588
4,8	4,233	15,349	17762,43	147,37	3,612
4,85	4,019	15,266	18041,51	147,59	3,633
4,9	3,826	15,203	18283,88	147,77	3,653
4,95	3,657	15,16	18489,55	147,93	3,669
5	3,51	15,138	18658,5	148,04	3,683
5,05	3,386	15,135	18790,75	148,12	3,694
5,1	3,284	15,152	18886,28	148,17	3,703
5,15	3,206	15,19	18945,11	148,18	3,71
5,2	3,149	15,247	18967,23	148,16	3,713
5,25	3,116	15,325	18952,64	148,1	3,715
5,3	3,105	15,422	18901,35	148,01	3,713
5,35	3,117	15,54	18813,34	147,88	3,71
5,4	3,152	15,678	18688,63	147,72	3,703
5,45	3,209	15,836	18527,21	147,52	3,694
5,5	3,289	16,014	18329,08	147,29	3,683
VALOR MAXIMO	5,999	16,27	18967,23	148,18	3,715

PORCENTAJE DE ASFATO OPTIMO			
MEZCLA CONVENCIONAL	PROPIEDAD	VALOR MAXIMO	PORCENTAJE DE ASFALTO
	RELACION DE VACIOS	5.999	4.5
	VACIOS AGREGADOS MINERALES	16.270	4.5
	ESTABILIDAD	18967.23	5.2
	PESO ESPECIFICO	148.18	5.15
	FLUJO	3.715	5.25
	RESULADO		4.92
	RESULADO REDONDEADO		4.90

ANEXO K. Granulometría agregado PVC

	Muestra N°	1	Fecha:	12/06/2015	
	DESCRIPCION: PVC			Realizó:	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA
ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS PVC					
PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)			1000		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)			994		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA TOTAL
1/2"	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 80	0,21	771,00	77,10	77,10	22,90
N° 100	0,15	105,26	10,53	87,63	12,37
N° 140	0,105	108,30	10,83	98,46	1,54
N° 200	0,075	11,04	1,10	99,56	0,44
FONDO	0	4,40	0,44	100,00	0,00
TOTAL		1000,00	100,00		
MODULO DE FINURA = % RETENIDO TOTAL/100					
			MF= 2,63		

CURVA GRANULOMÉTRICA



The graph plots the percentage of material passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve size in millimeters on a logarithmic scale, and the y-axis represents the percentage of material passing. The curve shows that 100% of the sample passes through a 100 mm sieve, and 0% passes through a 0,075 mm sieve.

Abertura (mm)	% Pasa
100,00	100,00
12,7	100,00
9,52	100,00
4,75	100,00
0,21	22,90
0,15	12,37
0,105	1,54
0,075	0,44
0,075	0,00

ANEXO L. Diseño de mezclas asfáltica modificado mediante el uso de método de Marshall y maquina Roller Compacter

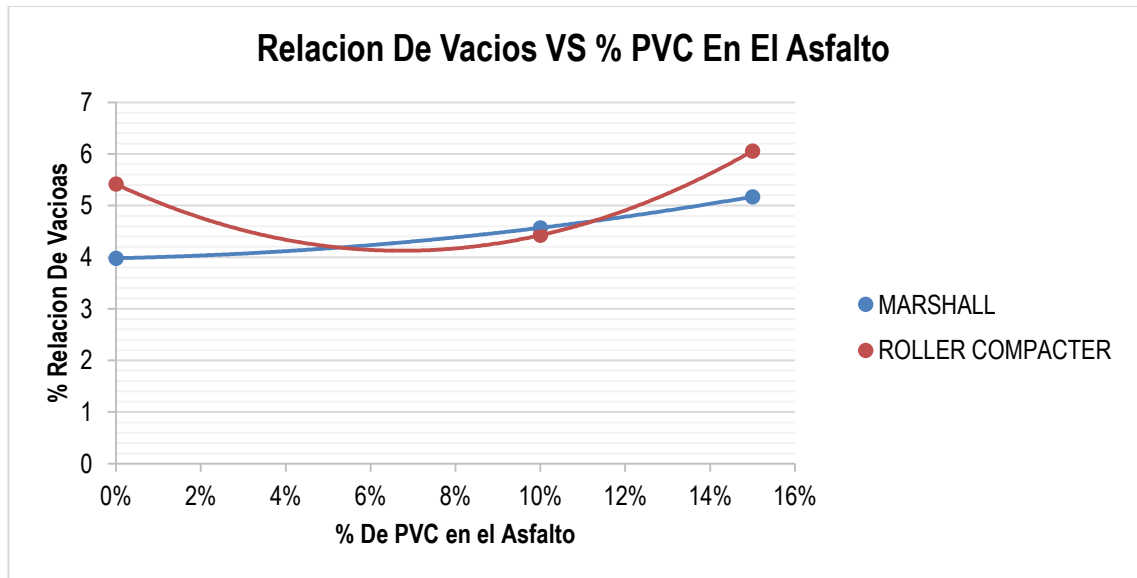
Especificaciones Peso especifico de																			
Asfalto Convencional (PsAsF)				1,02															
Agregados PsAg				2,656															
Mezcla	% Asfalto	N de Briqueta	Espesor (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Volumen (cm3)	Peso Especifico		Volumen % Total			Vacios %			Peso unitario lb/pulg3	Factor de Correccion	Estabilidad		Flujo 0,01" (mm)
				En Aire	En Agua		Bulk	Teorico	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agregado Mineral	Mezcla total	Llenos			Medida (N)	Corregida (N)	
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	4,9	1	6,34	1178	679,75	498,29	2,364								147,52	1,003	17539,25	17591,87	3,18
		2	6,22	1177,3	679,35	497,93	2,364								147,54	1,035	17472,53	18084,07	3,05
		3	6,25	1178,2	679,98	498,21	2,365								147,57	1,027	17525,91	17999,11	3,23
		promedio						2,364	2,462	11,359	84,661	3,980	15,339	3,980	74,051	147,54		17512,56	17891,68
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional Extraidas de la panela	4,9	1	6,24	2769,9	1541,4	1228,5	2,255								140,69	1,029	15312,28	15756,33	5,46
		2	6,40	2790,5	1562	1228,47	2,271								141,74	1,008	16570,38	16702,94	6,10
		3	6,32	2790,5	1562	1228,47	2,271								141,74	0,995	15037,78	14962,59	4,95
		4	6,41	2782,3	1554,7	1227,8	2,266								141,41	1,005	15184,18	15260,10	4,95
		5	6,37	2782,3	1554,5	1227,8	2,266								141,40	1,005	15184,18	15260,10	4,95
		6	6,17	2782,3	1554,5	1227,8	2,266								141,40	1,005	15184,18	15260,10	4,95
		7	6,33	2782,3	1554,5	1227,8	2,266								141,40	1,005	15184,18	15260,10	4,95
		8	6,30	2782,3	1554,5	1227,8	2,266								141,40	1,005	15184,18	15260,10	4,95
promedio						2,329	2,462	11,189	83,397	5,414	16,603	5,414	67,390	141,31		15184,18	15260,10	5,37	
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	4,9	1	6,37	1175,4	675,04	500,33	2,349								146,59	0,995	22725,85	22612,22	3,05
		2	6,35	1174,9	673,96	500,91	2,345								146,36	1	22725,85	22725,85	3,18
		3	6,32	1175,6	676,48	499,14	2,355								146,97	1,003	22725,85	22794,03	3,18
		promedio						2,350	2,462	11,289	84,143	4,568	15,857	4,568	71,193	146,64		22725,85	22710,70
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC Extraidas de la panela	4,9	1	6,42	2808,3	1585,5	1222,83	2,297								143,31	0,983	17892,53	17588,36	6,15
		2	6,41	2766,3	1557,6	1208,63	2,289								142,82	0,965	18180,75	17544,43	4,83
		3	6,49	2780,2	1561,9	1218,28	2,282								142,40	0,98	17228,75	16884,17	5,08
		4	6,21	2784,9	1566,6	1218,34	2,286								142,64	0,998	17297,79	17263,20	5,97
		5	6,43	2784,9	1566,6	1218,34	2,286								142,64	0,998	17297,79	17263,20	5,97
		6	6,42	2784,9	1566,6	1218,34	2,286								142,64	0,998	17297,79	17263,20	5,97
		7	6,36	2784,9	1566,6	1218,34	2,286								142,64	0,998	17297,79	17263,20	5,97
		8	6,51	2784,9	1566,6	1218,34	2,286								142,64	0,998	17297,79	17263,20	5,97
promedio						2,354	2,462	11,306	84,269	4,425	15,731	4,425	71,871	142,79		17649,96	17320,04	5,51	
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	4,9	1	10,23	1182,7	676,35	506,310	2,336								145,76	1,032	20822,02	21488,33	3,18
		2	10,20	1183,2	677,12	506,090	2,338								145,89	1,021	20822,02	21259,29	3,10
		3	10,27	1181,7	674,87	506,810	2,332								145,49	1,04	20822,02	21654,91	3,30
		promedio						2,335	2,462	11,218	83,611	5,171	16,389	5,171	68,447	145,71		20822,02	21467,51
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC Extraidas de la panela	4,9	1	6,40	2782	1544,2	1237,83	2,247								140,24	0,988	18981,37	18753,59	5,51
		2	6,37	2758,9	1532,1	1226,77	2,249								140,33	0,965	19013,39	18347,92	5,59
		3	6,49	2758,9	1532,1	1226,77	2,249								140,33	0,965	19013,39	18347,92	5,59
		4	6,49	2758,9	1532,1	1226,77	2,249								140,33	0,965	19013,39	18347,92	5,59
		5	6,45	2758,9	1532,1	1226,77	2,249								140,33	0,965	19013,39	18347,92	5,59
		6	6,40	2758,9	1532,1	1226,77	2,249								140,33	0,965	19013,39	18347,92	5,59
		7	6,31	2775,8	1543,2	1232,54	2,252								140,53	1,011	16282,16	16461,26	6,27
		8	6,41	2775,8	1543,2	1232,54	2,252								140,53	1,011	16282,16	16461,26	6,27
promedio						2,313	2,462	11,113	82,831	6,056	17,169	6,056	64,728	140,35		17411,02	17136,44	5,91	

RESULTADOS METODO MARSHALL						
descripción	% de PVC	Relación de vacíos (%)	Vacíos agregados Mineral (%)	Estabilidad (N)	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	0%	3,98	15,34	17891,68	147,54	3,15
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	10%	4,57	15,86	22710,70	146,64	3,13
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	15%	5,17	16,39	21467,51	145,71	3,19

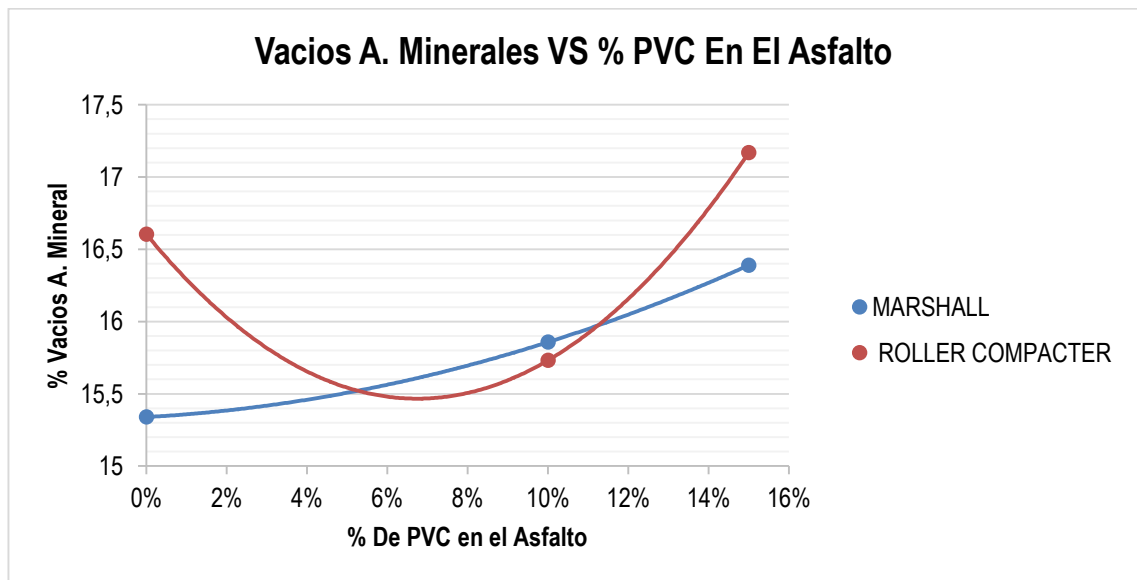
RESULTADOS METODO ROLLER COMPACTER						
descripción	% de PVC	Relación de vacíos (%)	Vacíos agregados Mineral (%)	Estabilidad (N)	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional Extraídas de la panela	0%	5,41	16,60	15260,10	141,31	5,37
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC Extraídas de la panela	10%	4,42	15,73	17320,04	142,79	5,51
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC Extraídas de la panela	15%	6,06	17,17	17136,44	140,35	5,91

ANEXO M. Comparación de resultados de obtenidos por los dos métodos de investigación.

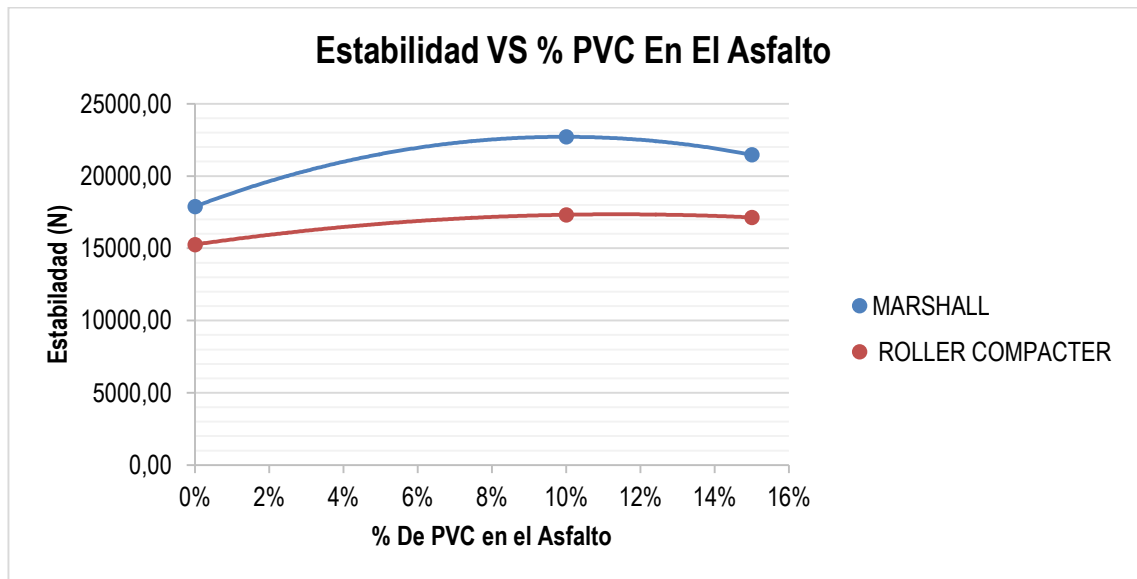
descripción	% de PVC	Relación de vacíos MARSHALL (%)	Relación de vacíos ROLLER COMPACTER (%)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	0%	3,980390825	5,414246747
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	10%	4,567986925	4,424942491
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	15%	5,171213365	6,055726411



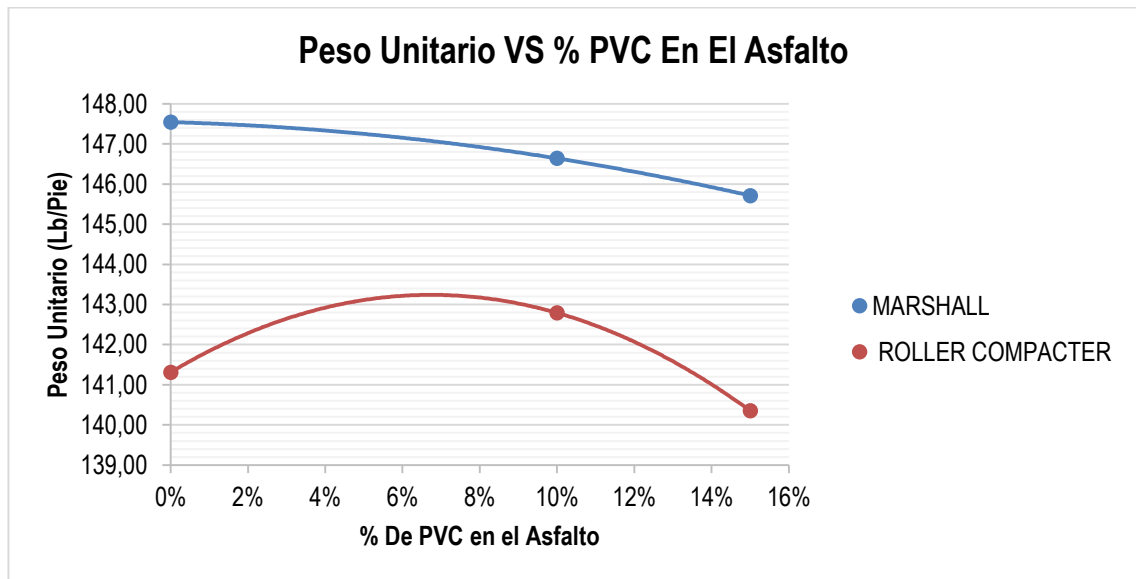
descripción	% de PCV	Vacíos agregados Mineral MARSHALL (%)	Vacíos agregados Mineral ROLLER COMPACTER (%)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	0%	15,33903919	16,60327699
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	10%	15,85712555	15,73100257
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	15%	16,38899327	17,16887276



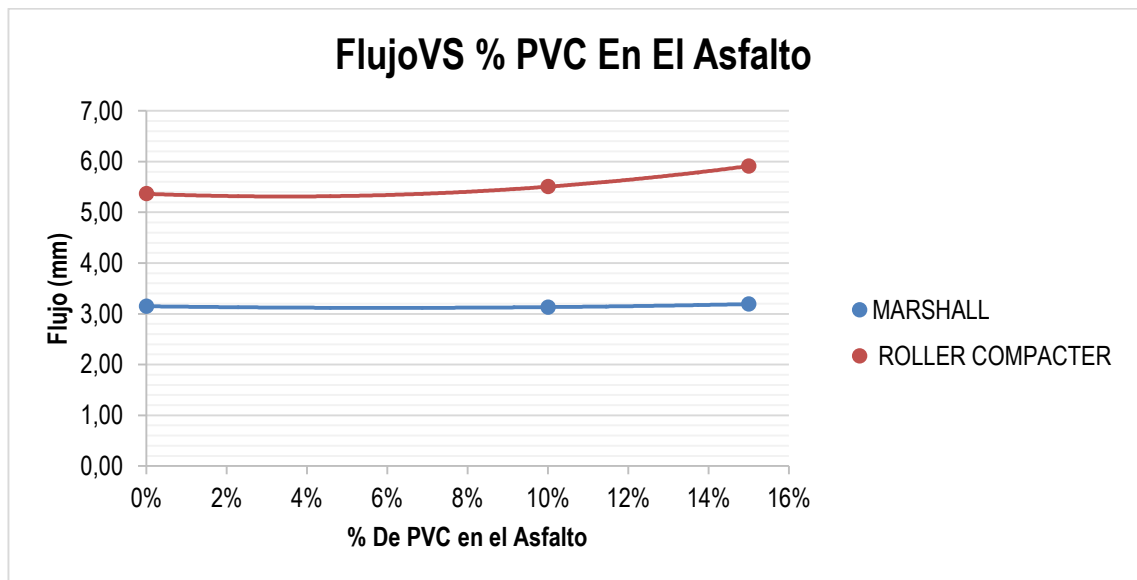
descripción	% de PVC	Estabilidad MARSHALL (N)	Estabilidad ROLLER COMPACTER (N)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	0%	17891,68	15260,10
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	10%	22710,70	17320,04
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	15%	21467,51	17136,44




descripción	% de PVC	Peso Unitario (lb/pie) MARSHALL	Peso Unitario (lb/pie) ROLLER COMPACTER
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	0%	147,54	141,31
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	10%	146,64	142,79
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	15%	145,71	140,35



descripción	% de PVC	Flujo MARSHALL (mm)	Flujo ROLLER COMPACTER (mm)
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % convencional	0%	3,15	5,37
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 10 % de PVC	10%	3,13	5,51
Briquetas elaboradas con asfalto del 4,9 % modificado con el 15 % de PVC	15%	3,19	5,91



ANEXO N. Resultado de porcentaje de PVC óptimo para el diseño de mezcla asfáltica modificada empleando los dos métodos de investigación.

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>		Fecha:	16/08/2015		
		Realizó:	SERGIO GOMEZ FABIAN PRADA		
PORCENTAJE PVC OPTIMO EN EL ASFATO					
% de PVC en el asfalto	relación de vacíos	Vacíos agregado Mineral	Estabilidad	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
0,1	4,57	22,75	22711,02	146,64	3,13
0,105	4,62	22,87	22696,28	146,56	3,14
0,11	4,67	22,99	22657,19	146,48	3,14
0,115	4,73	23,12	22593,75	146,39	3,15
0,12	4,78	23,25	22505,96	146,30	3,15
0,125	4,84	23,38	22393,81	146,21	3,16
0,13	4,91	23,52	22257,32	146,12	3,16
0,135	4,97	23,67	22096,47	146,02	3,17
0,14	5,03	23,82	21911,27	145,92	3,18
0,145	5,10	23,98	21701,72	145,82	3,18
0,15	5,17	24,14	21467,82	145,71	3,19
VALOR MAXIMO	5,17	24,14	22711,02	146,64	3,19

PORCENTAJE DE PVC OPTIMO EN EL ASFATO															
MEZCLA MODIFICADA CON PVC	PROPIEDAD	VALOR MAXIMO	PORCENTAJE DE PVC	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	
	RELACION DE VACIOS	5.17	15%												
	VACIOS AGREGADOS MINERALES	24.14	15%												
	ESTABILIDAD	22711.02	10%												
	PESO ESPECIFICO	146.64	10%												
	FLUJO	3.19	15%												
	RESULTADO		13%												



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

Fecha:

16/08/2015

Realizó:

SERGIO GOMEZ

FABIAN PRADA

PORCENTAJE PVC OPTIMO EN EL ASFATO

% de PVC en el asfalto	relación de vacíos	Vacíos agregado Mineral	Estabilidad	Peso Unitario (lb/pie)	Flujo (mm)
0,1	4,42	15,73	17319,91	142,79	5,51
0,105	4,52	15,82	17337,96	142,64	5,54
0,11	4,64	15,92	17347,91	142,47	5,57
0,115	4,77	16,03	17349,78	142,28	5,60
0,12	4,91	16,16	17343,55	142,07	5,64
0,125	5,06	16,29	17329,23	141,83	5,68
0,13	5,23	16,44	17306,83	141,58	5,72
0,135	5,42	16,61	17276,33	141,30	5,77
0,14	5,62	16,78	17237,74	141,01	5,81
0,145	5,83	16,97	17191,07	140,69	5,86
0,15	6,06	17,17	17136,30	140,35	5,91
VALOR MAXIMO	6,06	17,17	17349,78	142,79	5,91

PORCENTAJE DE PVC OPTIMO EN EL ASFATO

MEZCLA MODIFICADA CON PVC	PROPIEDAD	VALOR MAXIMO	PORCENTAJE DE PVC	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13,3	13,5	14	14,5	15
	RELACION DE VACIOS	6,06	15%											
VACIOS AGREGADOS MINERALES	17,17	15%												
ESTABILIDAD	17349,78	11,5%												
PESO ESPECIFICO	142,79	10%												
FLUJO	5,912	15%												
RESULTADO		13,3%												