



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Comportamiento mecánico de mezclas asfáltica drenante

Carol Patricia López Moreno

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia

2013

Comportamiento mecánico de mezcla asfáltica drenante

Carol Patricia López Moreno

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Geotecnia

Director (a):

Ph.D., Ingeniera Civil, Carol Andrea Murillo Feo

Línea de Investigación:

Relaciones constitutivas de suelos y rocas y materiales afines

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia

2013

Dedicatoria

A mis padres, hermanas, sobrinos y en especial a mi compañero de viaje.

Agradecimientos

Agradezco a las empresas patrocinadoras Concescol S.A, Incoasfaltos, a la Ingeniera Carol Murillo y a los Ingenieros Pedro Avellaneda y Oswaldo León por su asesoría y orientación en el proceso. A los laboratoristas de la planta Concescol S.A, Universidad Nacional y Universidad de los Andes por su colaboración y ayuda en el desarrollo de las campañas experimentales. A mi pareja y amigos que me brindaron su apoyo y finalmente a mis padres que fueron mi inspiración y motor para continuar con lo proyectado.

Mil Gracias...

Resumen

Una estrategia para el manejo de agua de escorrentía en vías es el uso de mezclas asfálticas drenantes o porosas con asfaltos modificados. Este tipo de mezclas han sido ampliamente usadas e investigadas en países como España, Estados Unidos, Francia y Argentina. En Colombia este tipo de mezclas han sido poco estudiados y por lo tanto su aplicación ha sido muy limitada. Tradicionalmente en nuestro país, las carpetas asfálticas densas son las más comunes en las estructuras de pavimentos así como la utilización de asfaltos convencionales.

Los pavimentos porosos han sido usados para reducir el área impermeable en zonas urbanas. La capacidad de infiltración y de almacenamiento de estos sistemas contribuyen al control hidrológico y ambiental de las aguas lluvias (Rivera et al., 2003). La mezcla asfáltica drenante hace parte de la estructura del sistema de pavimento poroso y tiene como característica una conductividad hidráulica mayor en comparación a las mezclas tradicionales, permitiendo que se filtren las aguas de escorrentía urbana que luego serán evacuadas a un sistema natural. En nuestro país, los sistemas de pavimento asfáltico poroso no son usados masivamente como mecanismo para el control de la escorrentía urbana

La falta de experiencia con el uso de mezclas asfálticas drenantes, asociadas a la caracterización de los materiales que la conforman, las particulares constructivas, los escasos tramos de prueba y los vacíos generados en las técnicas y en las normativas de aplicación requiere que se evalué la aplicabilidad de este tipo de material en condiciones locales.

Con el fin de evaluar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas drenantes se propone realizar ensayos convencionales tales como: estabilidad, flujo o deformabilidad, tracción indirecta, cántabro, conductividad hidráulica, escurrimiento y módulo dinámico, para establecer la viabilidad de su uso en vías rurales y urbanas en Colombia

Palabras claves:

Ciencia y tecnología: 1) Mezcla asfáltica drenante. 2) Asfalto tipo I. 3) Deformabilidad. 4) Permeabilidad. 5) Modulo dinámico

Abstract

A strategy for managing water runoff on city roads and highways is the use of draining porous asphalt mixtures built with modified asphalts. Such mixtures have been widely used and researched in countries like Spain, USA, France and Argentina. Colombia such mixture has not been studied, so far, and therefore its application has been limited. Traditionally in our country, dense asphalt layers are most common used as well as the use of conventional asphalts.

The porous pavements have been used to reduce the impervious area in urban areas. Infiltration capacity and storage of these systems contribute to environmental and hydrological control of rainwater (Rivera et al., 2003). The drainage asphalt is part of the structure of porous pavement system and is characterized by a larger hydraulic conductivity compared to traditional mixtures, allowing filtering urban runoff that will then be evacuated to a natural system. In our country, the porous asphalt pavement systems are not massively used as a mechanism to control urban runoff.

The lack of experience with the use of porous asphalt, associated with the characterization of the materials used, construction details, the few test sections and gaps generated in the techniques and rules of application requires assessing the applicability of this material to local conditions.

Therefore it is necessary to study the behavior of draining asphalt mixtures using modified asphalts, so as to establish the advantages and disadvantages of this type of mixtures compared with traditional asphalt mixes.

In order to evaluate the performance of the proposed drainage asphalt mixes conventional testing such as stability, flow or deformability, indirect tensile, Cantabria, hydraulic conductivity, runoff and dynamic module, to establish the feasibility of its use in rural roads and urban Colombia.

Keywords:

Ciencia y tecnología: 1) Asphalt drainage. 2) Asphalt Type I. 3) Deformability. 4) Permeability. 5) Dynamic Modules.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XV
Lista de tablas	XVII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIX
Introducción	1
Objetivos. Objetivo general	5
1. Marco Teórico y Antecedentes	6
1.1 Generalidades	6
1.2 Definición de la mezcla asfáltica drenante	7
1.2.1 Ventajas	8
1.2.2 Limitaciones	9
1.3 Especificaciones Generales.....	10
1.4 Experiencias locales e internacionales.	11
1.5 Caracterización de las mezclas drenantes.....	15
1.5.1 Caracterización mecánica	15
1.5.2 Caracterización hidráulica	18
2. Preparación del material	25
2.1 Selección del material granular	25
2.2 Selección del material asfáltico.....	32
2.3 Fabricación de probetas de mezcla asfáltica drenante.....	34
3. Caracterización mezclas drenante	43
3.1 Caracterización Mecánica.....	44
3.1.1 Propiedades básicas de las mezclas utilizadas	44
3.2 Caracterización hidráulica	51
4. Resultados y análisis	59
4.1 Especificaciones técnicas del material granular.....	59
4.2 Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas drenantes.	61
4.2.1 Respuesta a la deformación.	61
4.2.1.1 Porcentaje de asfalto de 3,5%.	63
4.2.1.2 Porcentaje de asfalto de 4,0%.	64
4.2.1.3 Porcentaje de vacíos de 4,5%	66

4.2.1.4 Porcentaje de asfalto de 5,0%.....	67
4.2.1.5 Porcentaje de asfalto de 5,5%.....	69
4.2.2 Comportamiento al desgaste (metodología cántabro)	79
4.2.3 Respuesta a la tracción indirecta	79
4.2.4 Escurrimiento.....	87
4.3 Respuesta Dinámica.....	90
4.3.1. Módulo Dinámico	90
4.4 Respuesta Hidráulica	94
4.4.1 Permeabilidad.....	94
4.4.1.1 Determinación del coeficiente de permeabilidad por el método de cabeza constante.....	97
5. Conclusiones y recomendaciones	103
5.1 Conclusiones.....	103
5.2 Recomendaciones.....	106
A. Anexo: Resultados de laboratorio caracterización granular	107
B. Anexo: Resultados de Módulo Dinámicos	125
C. Anexo: Resultados de laboratorio Marshall, Densidad, Vacíos, Raice, Cántabro, Tracción Indirecta, Escurrimiento	136
D. Anexo: Planos Equipo de Permeabilidad de cabeza constante.	153
Formato 1 Primer modelo.....	154
Formato 2 Segundo modelo.....	155
E. Anexo: CATEGORIAS DE TRANSITO NORMATIVA COLOMBIANA Y ESPAÑOLA.....	¡Error! Marcador no definido.7
Bibliografía	160

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1: Asfalto Drenante	3
Figura 1-2: Hidroplaneo	7
Figura 1-3: Mezcla porosa o drenante	8
Figura 1-4: Evolución del empleo de mezcla drenante	13
Figura 1-5: Localización del tramo de prueba	14
Figura 1-6: Bloques de concreto y Concreto asfáltico poroso	15
Figura 1-7: Modelos permeámetros de carga constante y carga variable	20
Figura 1-8: Permeámetro LCS. Dimensiones y equipo tipo	22
Figura 2-1: Curva Granulométrica de diseño	31
Figura 2-2: Distribución de golpes y peso por capa de mezcla asfáltica drenante	39
Figura 2-3: Pasos gráficos del Material granular, pesaje de la mezcla asfáltica	40
Figura 2-4: Probeta tipo Marshall	41
Figura 2-5: Probeta para modulo dinámico	42
Figura 2-6: Apariencia de las probetas	42
Figura 3-1: Procedimiento grafico en estado seco	45
Figura 3-2: Procedimiento grafico en estado de inmersión	46
Figura 3-3: Esquema base equipo escurrimiento	47
Figura 3-4: Pesaje de mezcla asfáltica, bandejas metálicas mas papel aluminio	48
Figura 3-5: Mezcla asfáltica en el horno	49
Figura 3-6: Tracción en inmersión	50
Figura 3-7: Equipo de permeabilidad	53
Figura 3-8: Primera alternativa impermeabilización frontera y montaje del ensayo	55
Figura 3-9: Procedimiento final montaje de permeabilidad	57
Figura 4-1: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (3,5%)	63
Figura 4-2: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (3,5%)	63
Figura 4-3: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (3,5%)	64
Figura 4-4: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (4,0%)	65
Figura 4-5: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (4,0%)	65
Figura 4-6: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (4,0%)	65
Figura 4-7: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (4,5%)	66
Figura 4-8: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (4,5%)	66
Figura 4-9: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (4,5%)	67
Figura 4-10: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (5,0%)	68
Figura 4-11: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (5,0%)	68
Figura 4-12: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (5,0%)	68

Figura 4-13:	Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (5,5%) ...	70
Figura 4-14:	Valores de flujo en función de la densidad geométrica (5,5%)	70
Figura 4-15:	Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (5,5%)	70
Figura 4-16:	Análisis del desgaste en seco y húmedo para porcentajes de asfalto	77
Figura 4-17:	Variación densidad geométrica en función relación de vacíos seco	77
Figura 4-18:	Densidad geométrica en función de la relación de vacíos inmersión	78
Figura 4-19:	Comparación densidad geométrica porcentaje de asfalto	78
Figura 4-20:	Resultados de tracción indirecta en estado de inmersión y en seco	86
Figura 4-21:	Grafica de proporcionalidad porcentaje de escurrimiento..	88
Figura 4-22:	Resultados para una temperatura de 5°C	91
Figura 4-23:	Resultados para una temperatura de 25°C	91
Figura 4-24:	Resultados para una temperatura de 40°C	92
Figura 4-25:	Módulos dinámicos mezclas MD-12, MD-20. y Mezcla Asfáltica Drenante	93
Figura 4-26:	Resultados permeabilidad Vrs. Porcentaje de asfalto	99
Figura 4-27:	Coeficiente de permeabilidad. (Mora. G y Cely G, 1998).....	100
Figura 4-28:	Relación de porosidad y permeabilidad	100

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1:	Características capas de rodadura drenante. 9
Tabla 1-2:	Especificaciones técnicas utilizadas 10
Tabla 1-3:	Criterios proyecto. Según tráfico, vacíos y condiciones del ensayo 17
Tabla 1-4:	Resumen métodos de determinación de la conductividad hidráulica 19
Tabla 2-1:	Caracterización del material granular para la mezcla asfáltica drenante... 27
Tabla 2-2:	Descripción Macroscópica Grava..... 29
Tabla 2-3:	Descripción Macroscópica Arena..... 30
Tabla 2-4:	Granulometrías recomendadas y gradación de diseño 31
Tabla 2-5:	Resultados de los ensayos de caracterización granular..... 32
Tabla 2-6:	Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros.
Artículo 400 – 07 33
Tabla 2-7:	Características del asfalto modificado tipo I..... 34
Tabla 2-8:	Ensayos programados y la cantidad de briquetas fabricadas para la caracterización mecánica e hidráulica 35
Tabla 2-9:	Identificación de las briquetas por porcentaje 37
Tabla 2-10:	Equivalencia de energía 39
Tabla 2-11:	Datos briquetas ensayo Módulo Dinámico 40
Tabla 3-0:	Campaña experimental..... 43
Tabla 4-1:	Comparaciones de la caracterización granular 60
Tabla 4-2:	Cantidad de probetas utilizadas por ensayo programado 61
Tabla 4-3:	Resumen resultados ensayo de estabilidad..... 62
Tabla 4-4:	Resultados del ensayo de desgaste para 3,5% de asfalto 73
Tabla 4-5:	Resultados del ensayo de desgaste para 4,0% de asfalto 74
Tabla 4-6:	Resultados del ensayo de desgaste para 4,5% de asfalto 75
Tabla 4-7:	Resultados del ensayo de desgaste para 5,0% de asfalto 75
Tabla 4-8:	Resultados del ensayo de desgaste para 5,5% de asfalto 76
Tabla 4-9:	Respuesta a la tracción indirecta para 3,5% de asfalto..... 80
Tabla 4-10:	Respuesta a la tracción indirecta para 4,0% de asfalto..... 81
Tabla 4-11:	Respuesta a la tracción indirecta para 4,5% de asfalto..... 82
Tabla 4-12:	Respuesta a la tracción indirecta para 5,0% de asfalto..... 83
Tabla 4-13:	Respuesta a la tracción indirecta para 5,5% de asfalto 84
Tabla 4-14:	Resultados ensayo a tracción en mezclas drenantes 85
Tabla 4-15:	Resultados del ensayo de escurrimiento por cabeza constante..... 87
Tabla 4-16:	Valores obtenidos por ensayo programado..... 89

Tabla 4-17:	Datos módulos dinámicos	90
Tabla 4-18:	Valores del Módulo dinámico para diferentes métodos	92
Tabla 4-19:	Módulos para mezclas tipo MD-12, MD-20 y drenantes	93
Tabla 4-20:	Usos de vía según velocidad de diseño	93
Tabla 4-21:	Datos básicos probetas permeabilidad para 3,5% de asfalto	95
Tabla 4-22:	Datos básicos probetas permeabilidad para 4,0% de asfalto	95
Tabla 4-23:	Datos básicos probetas permeabilidad para 4,5% de asfalto.....	96
Tabla 4-24:	Datos básicos probetas permeabilidad para 5,0% de asfalto	96
Tabla 4-25:	Datos básicos probetas permeabilidad para 5,5% de asfalto.....	97
Tabla 4-26:	Resultados de permeabilidad por el método de cabeza constante	98

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término
ρ	Densidad.
P	Presión.
q	Densidad de flujo hidrodinámico.
g	Aceleración de gravedad.
k	Permeabilidad.
μ	Viscosidad.
cl	Longitud característica.
n	<i>Porosidad</i>

Introducción

Una vía es una estructura constituida por capas de materiales dispuestos de forma horizontal que permiten disipar las sollicitaciones impuestas por el tráfico. Las capas de conformación, cuerpo y capa superficiales, serán diseñadas según sea la sollicitación de uso, repetición de carga, agentes climáticos y del tiempo que estará sometida la estructura.

Las estructuras tradicionales son conformadas por una capa de rodadura de mezcla asfáltica y son de tipo denso siendo impermeable, evitando el deterioro prematuro de la estructura. Por tanto hay que garantizar la evacuación de las aguas con sistemas de drenaje.

A nivel urbano, en Colombia, los efectos del crecimiento de la población y el desarrollo humano son notables. Los procesos de urbanización han ocasionado un cambio en la hidrología urbana. Algunos de los efectos de la urbanización son: la reducción de la capacidad de infiltración del suelo, aumento en los volúmenes de agua suministrados a la red de drenaje urbano, deterioro de la calidad del agua en las fuentes receptoras y disminución notoria de la capacidad de recarga de aguas subterráneas. Los efectos en el aumento de la escorrentía provocan daños por inundaciones incluso para eventos no extremos de precipitación; es decir, para condiciones de lluvia promedio.

En EEUU, en la década de los 80 nace un nuevo enfoque conocido como Mejores Prácticas de Manejo (BMP), por su sigla en inglés Best Management Practices, que consiste esencialmente en obras que permiten la infiltración y el almacenamiento de los excesos de precipitación. El principal objetivo es la construcción de obras que logren el tratamiento y la recolección de las aguas lluvias en el lugar de origen.

Posterior mente en los últimos años, se han implementado los sistemas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID), por su sigla en inglés Low Impact Development. La aplicación de

estas prácticas de manejo se fundamenta en el concepto de transparencia hidrológica. El enfoque LID considera los excesos de escorrentía como un problema que debe ser mitigado recreando las condiciones naturales de la cuenca (procesos de infiltración, usos del suelo, paisaje). Esto se logra mediante el uso de estructuras como celdas biológicas de retención y humedales artificiales e integrando las zonas verdes de forma armónica con los procesos de urbanización, permitiendo la captura, el almacenamiento y tratamiento de las aguas.

Al respecto, los pavimentos asfálticos porosos son un tipo de estructura de bajo impacto que disminuye las consecuencias ambientales al considerar las aguas de la escorrentía urbana como un recurso y no una molestia. Los pavimentos porosos han sido usados para reducir el área impermeable en zonas urbanas. La capacidad de infiltración y de almacenamiento de estos sistemas contribuyen al control hidrológico y ambiental de las aguas lluvias (Rivera et al., 2003). Se conocen algunos tipos de pavimentos porosos:

- Pavimento de concreto asfáltico poroso o drenante,
- Cemento portland poroso para pavimento de hormigón,
- Modular de bloques de hormigón,
- Modular de bloques de hormigón con celdas de drenaje externo.
- Entre otros.

La mezcla asfáltica drenante hace parte de la estructura del sistema de pavimento poroso y tiene como característica una conductividad hidráulica mayor en comparación a las mezclas tradicionales, permitiendo que se filtren las aguas de escorrentía urbana que luego sean evacuadas a un sistema natural. En nuestro país, los sistemas de pavimento asfáltico poroso no son usados masivamente como mecanismo para el control de la escorrentía urbana.

Una estrategia del manejo de agua de escorrentía son las mezclas asfálticas drenantes o porosas, desarrolladas inicialmente en U.S.A. En los años 50. Su aplicación y uso a nivel mundial fue posible por los adelantos obtenidos en las investigaciones realizadas en los años 70 y 80's debido a la incorporación de asfaltos modificados, obteniendo una mezcla asfáltica más duradera y resistente permitiendo mejorar la funcionalidad de una vía. Ver Figura 1-1.

Figura 1-1: Asfalto drenante. Typical OGFC (Tan et al 1997).



Con el fin de entender el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas porosas como alternativas de drenaje en una estructura de pavimento, es necesario estudiar diferentes tipos de mezclas en el laboratorio.

Las mezclas varían en función de la cantidad de material pétreo el tipo y porcentaje de ligante utilizado así como el grado de compactación utilizado en el laboratorio.

En esta investigación se realizará un análisis de sensibilidad para evaluar el comportamiento mecánico e hidráulico de los diferentes tipos de mezclas en función de ensayos tradicionales realizados a las mezclas asfálticas mediante:

- Diferentes opciones de diseño en función de la variación del porcentaje de asfalto
- Implementación de ensayos de laboratorio convencionales tales como:
 - Desgaste por el método del Cantabro en seco y en inmersión. Aplicando los principios aportados por las Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías), referida como I.N.V. E-760-07.

- Porcentaje (%) de escurrimiento. Aplicando la norma referida NLT 365.
- Estabilidad y flujo. Aplicando los principios aportados por las Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías), referida como I.N.V. E-748-07.
- Tracción indirecta. Aplicando los principios aportados por las Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías), referida como I.N.V. E-786-07.
- Módulo dinámico. Aplicando los principios aportados por las Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías), referida como I.N.V. E-754-07.
- Permeabilidad utilizando el método de cabeza constante. Aplicando los principios aportados por las Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías), referida como I.N.V. E-130-07.

Con los resultados obtenidos se analizaron las bondades y limitaciones de este tipo de mezcla con mezclas convencionales utilizadas en proyectos viales, con el fin de evaluar su aplicabilidad como capa de rodadura en una estructura de pavimento.

Objetivos. Objetivo general

Determinar el diseño óptimo de una mezcla asfáltica drenante, que pueda ser empleada como capa de rodadura y permita controlar el manejo de aguas de escorrentía.

Objetivos específicos:

- Evaluar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas drenantes obtenidas para diferentes porcentajes de asfalto modificado con los parámetros de diseño convencional tales como: estabilidad, flujo, desgaste por cántabro y tracción indirecta.
- Diseñar e Implementar el ensayo de escurrimiento como parámetro de identificación del porcentaje óptimo de asfalto en las mezclas asfálticas drenantes.
- Diseñar e implementar un sistema piloto en el laboratorio que permita determinar la conductividad hidráulica del medio poroso generado, utilizando el método de cabeza constante.
- Analizar el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica drenante para los diferentes porcentajes de diseño.
- Comparar los resultados obtenidos del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas drenantes con mezclas asfálticas densas tradicionales investigadas en Colombia.
- Evaluar la viabilidad de la implementación de la mezcla asfáltica drenante en Bogotá, D.C.

1. Marco Teórico y Antecedentes

1.1 Generalidades

La carretera es una estructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad vial y de confort.

Las irregularidades superficiales se evalúan en la capa de rodadura y están asociados a las características de los materiales utilizados y los aspectos constructivos principalmente. En una estructura de pavimento se debe garantizar que las irregularidades superficiales no afecten la seguridad del usuario.

El fenómeno del hidropilano, es una de las principales causas de deslizamiento y vuelco de vehículos en las carreteras; éste se presenta cuando la presencia del agua sobre el pavimento se dificulta de manera importante en el contacto de las llantas del vehículo con la superficie de rodadura, presentándose el deslizamiento y con mayor consecuencia el vuelco del vehículo si éste va alta velocidad.

En la Figura 1-2 se muestra el efecto del hidropilano cuando se pierde la adherencia entre el vehículo y la capa de rodadura en presencia de agua y sus diferentes transiciones desde su origen y el efecto del mismo ante diferentes velocidades.

Figura 1-2: Hidroplaneo.

www.Club-bajaj.com y www.vehiculosysiniestros.blogspot.com.

Las mezclas asfálticas drenantes fueron desarrolladas inicialmente en Estados Unidos en los años 50. Su aplicación a nivel mundial se vio limitada por la implementación de asfaltos modificados que hicieron viable su construcción y puesta en servicio. Hoy en día, la utilización de este tipo de material es cada vez más común debido a los avances obtenidos en las técnicas de fabricación y construcción en obra.

1.2 Definición de la mezcla asfáltica drenante

La mezcla asfáltica drenante puede ser utilizada en la estructura de pavimento como capa de rodadura y tiene como características:

- Materiales pétreos de diferentes tamaños no susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química. La mezcla asfáltica drenante dependerá de la granulometría de diseño.
- Ligante asfáltico modificado, con el fin de mejorar la consistencia e incrementar la cohesión y evitar problemas de escurrimiento.

- Alto contenido de vacíos interconectados entre sí. Se consideran mezclas drenantes cuando el contenido de vacíos está entre el 16% a 25%, característica que dependerá de su uso y de la calidad de los agregados usados.

En la Figura 1-3. Se observa la apariencia y la funcionalidad de la mezcla porosa y/o drenante.

Figura 1-3: Mezcla porosa y /o drenante



1.2.1 Ventajas

Algunas de las ventajas generales de las mezclas asfálticas drenantes son:

- Reducción del caudal máximo de escorrentía
- Incremento del tiempo de conducción de dicho caudal máximo.
- Incrementa la adherencia estructura pavimento - neumático.
- Disminuye los ruidos asociados al paso de los vehículos.
- Permiten la remoción de elementos contaminantes del agua, al filtrarlos a través de las capas inferiores y la reutilización del agua.

En la tabla 1-1, se reportan las características del comportamiento de las capas de rodadura drenantes establecidas por Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR) expuestas en el XX congreso Mundial de las Carreteras en Montreal. Se observa que las mezclas drenantes presentan un mejor desempeño para los siguientes parámetros:

- Adherencia para alta y baja velocidad
- Regularidad superficial
- Ruido

- Propiedades ópticas (seco y en húmedo).

Tabla 1-1: Características capas de rodadura drenante. (Miro, 2006).

		PROPIEDADES							APLICACIÓN PREFERENTE
		ADHERENCIA		REGULARIDAD	RUIDO	PROPIEDADES OPTICAS			
		BAJA VELOCIDAD	ALTA VELOCIDAD			SECO	MOJADO		
TECNICAS	TRATAMIENTOS	SUPERFICIALES CON MACROTEXTURA RUGOSA	★★★	★★★	(1)	★	★	★★	CARRETERAS ALTA VELOCIDAD
		ESPECIALES CON MICROTEXTURA	★★★	★★★	(1)	★★	★	★★	CARRETERAS URBANAS
	MEZCLAS BITUMINOSAS	SIN ENGRAVILLAR	★★	★	★★★	★★	★	●	TODOS LOS PAVIMENTOS, INCLUIDAS PISTAS DE AEROPUERTO
		DRENANTES	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	TODOS LOS PAVIMENTOS – ALTA VELOCIDAD EN AEROPUERTOS SOLO CALLES DE RODADURA
		ENGRAVILLADOS	★★★	★★★	★★★	★★	★ (3)	★★	TODOS PAVIMENTOS ALTA VELOCIDAD
		MICROAGLOMERADO Y ASFALTO FUNDIDO (2)	★★	●	(1)	★★	★	●●	VIAS URBANAS TRAFICO LENTO Y LIGERO
	HORMIGONES	SIN TEXTURA	★★	●	★★	★★	★★	●●	
		ESTRIADO TRANSVERSAL	★★★	★★★	★★	●	★★	★★	CARRETERAS
		ESTRIADO LONGITUDINAL	★★★	★	★★	★★	★★	★★	CARRETERAS
		ENGRAVILLADO	★★★	★★★	★★	●	★★	★★	CARRETERAS
	DENUDADO	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★★★	CARRETERAS	

(1) Depende de la regularidad del soporte.
 (2) Microaglomerados continuos, sin macrotextura
 (3) Muy bueno con engravillado con piedra de color claro.

★★★ Muy Buena ● Mala
 ★★ Buena ●● Muy Mala
 ★ Regular

1.2.2 Limitaciones

La mezcla asfáltica drenante, presenta dificultades en particular en el proceso constructivo y limitaciones en las actividades de mantenimiento. El seguimiento de algunas obras con estos materiales, han evidenciado que las mezclas drenantes fallan en su mayoría por disgregación, como consecuencia de la falta de cohesión de la mezcla para poder resistir adecuadamente a los esfuerzos de succión y tangenciales generados por el tráfico, en algunos casos, por la mala calidad del ligante asfáltico utilizado o por la porosidad del medio.

Por lo anterior en España se han diseñado este tipo de mezclas en función de su porosidad y resistencia al desgaste evaluada por el ensayo del Cántabro, el cual permite medir la adherencia ligante-agregado y el comportamiento de la misma en presencia de agua. Este mismo ensayo se ha adoptado por los países que en la actualidad utilizan las mezclas asfálticas drenantes.

Para obtener una mezcla estable se ha integrado los asfaltos modificados logrando suplir los problemas de adhesión y desintegración, en tanto la manipulación de la mezcla estará en función de las temperaturas de mezclado y compactado siendo temperaturas mayores que las utilizadas en las mezclas convencionales, factor que influye en un envejecimiento prematuro si no se tiene los controles respectivos. Al respecto la experiencia Belga demostró que se puede prolongar la vida útil de la mezcla mejorando las propiedades del ligante asfáltico. (Miro Rodrigo 2006), mientras que la experiencia francesa indica que la duración de las capas asfálticas drenantes están entre los 8-12 años.

En la vida útil es necesario realizar actividades de mantenimiento que eviten la colmatación de los vacíos generados por sedimentos u otros materiales que se puedan acumular utilizando aspiradoras tipo industrial.

1.3 Especificaciones Generales

Existen diferentes criterios para la caracterización mecánicas de las mezclas asfálticas drenantes. En la tabla 1-2, se presentan especificaciones técnicas utilizadas en Colombia y en otros países:

Tabla 1-2: Especificaciones técnicas utilizadas.

País	Institución	Norma
Colombia	Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías). Tomos I, II y V..	Artículo 453-07 Tabla 453.1
Colombia	Instituto de Desarrollo Urbano (I.D.U)	Sección 510-05
España	UNE	Artículo 452 del PG-3 aplica PA-12
México	Secretaría de comunicaciones y Transportes de México (S.C.T.)	N.CMT.4.05.003/08
Estados Unidos	Asphalt Institute. The Asphalt Handbook.	MS-4 7th. Edición

Para su diseño se puede encontrar diferentes metodologías, tales como:

- Cantabro (Origen España)
- Australiana (Open Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association).
- RP (Origen Chile)

- Tracción Indirecta (Origen Brasil)

Las metodologías española y australiana se basan en el parámetro de desgaste utilizando la máquina de los Ángeles, el cual permite analizar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y las cargas del tráfico. La metodología chilena determina la relación del esfuerzo de penetración para una temperatura establecida en 20°C y para un valor de velocidad controlada, en probetas de mezcla asfáltica drenante fabricadas con diferentes porcentajes de asfalto. Se establece que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo de penetración utilizando la prensa Marshall. La metodología brasilera utiliza el ensayo de tracción indirecta para evaluar la cohesión de la mezcla por el esfuerzo generado a tracción por una compresión diametral.

En Argentina y en Chile se emplea el ensayo de escurrimiento, el cual permite evaluar el porcentaje de escurrimiento de ligante asfáltico en una mezcla asfáltica abierta, determinando de manera sencilla cual es el porcentaje óptimo de asfalto en un diseño tal como lo indica (Rebollo, Gonzalez y Botasso, 2009).

1.4 Experiencias locales e internacionales.

En Colombia, escasas experiencias han sido reportadas en la literatura. Sin embargo se ha realizado estudios relacionados con mezclas asfálticas utilizando asfaltos modificados. Algunas de las conclusiones se presentan a continuación.

- Las mezclas asfálticas (MDC-2) modificadas, presentan un aumento de la estabilidad en un 29% con respecto a la mezcla convencional en el porcentaje óptimo de asfalto y aditivo, mientras que al adicionar caucho reciclado presenta una disminución en la estabilidad y un aumento en el flujo. Según (Diaz, y Ladino, 2004).
- Cambiar el llenante mineral de mezclas asfálticas por fino-cemento produce un aumento en la resistencia a la deformación permanente. (Candela, e Hincapié. 2001).

- Al realizar el ensayo de cántabro después de incorporar elastómero en mezclas drenantes se observó una significativa disminución del desgaste de la briqueta. Según (Riaño y Rivas, 2003).
- El asfalto modificado sigue mostrando un módulo complejo mayor que el del asfalto sin modificar. (Lozano, 2002).
- La resistencia al envejecimiento de asfaltos con adición de latex es superior al asfalto original. (Gutiérrez, 2004).
- La mezcla asfáltica con crudo modificado presenta una mejor susceptibilidad térmica y aumenta la resistencia al ahuellamiento a altas temperaturas en comparación a la mezcla sin aditivo. Según (Rojas, 1987).
- El módulo dinámico disminuye considerablemente a medida que se adiciona caucho a la mezcla asfáltica tipo MDC-2. En general, concluyen los autores que al incorporarse caucho como material granular fino a una mezcla tipo MDC-2 no se presentan ventajas con relación a las mezclas convencionales a temperaturas normales después de realizarse una caracterización dinámica que comprendió ensayos de módulos dinámicos, deformación permanente (ahuellamiento) y fatiga. Según (Camacho y Rojas, 2002).

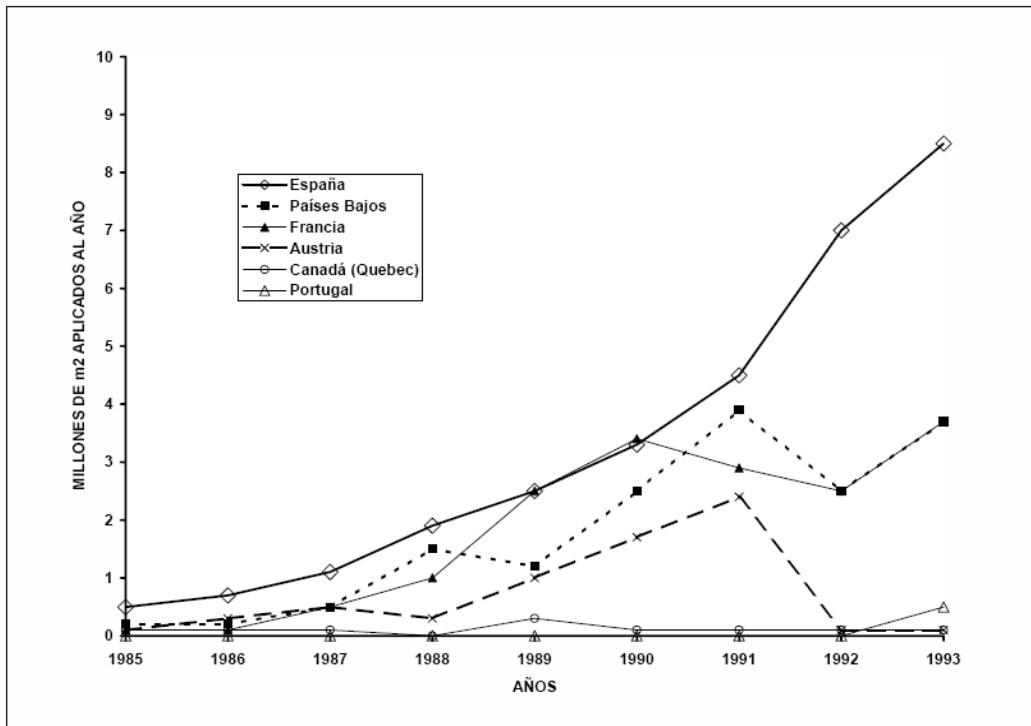
En cuanto a tramos de prueba con mezclas drenantes implementados en Colombia actualmente tenemos:

- 1). Concesión Autopistas del Café “Dosquebradas – Pereira y Club de Tiro – Pereira en una longitud de 2800 m. Se instaló mezcla asfáltica Drenante”, siguiendo el Art. 452-07- INVIAS como capa de rodadura.
- 2). Concesión Vial de los Andes Coviandes. Sector PR 50 + 00 – PR 55 + 100 en una longitud de 4900 m. En este tramo se construyó una mezcla asfáltica tipo microdiscontinuo en caliente bajo lineamientos del Art. 452-07 – del Instituto Nacional de Vías.

Las experiencias internacionales con mezclas asfálticas drenantes son múltiples, a continuación se presentan algunos casos que permiten deducir que su uso ha sido satisfactorio.

- El uso de mezcla drenante se ha incrementado, en la Figura 1-4 se presenta el uso de mezclas drenantes en diferentes países de acuerdo con los resultados presentado por la AIPCR. Se puede observar un incremento en este tipo de material en especial en países como España y Países Bajos.

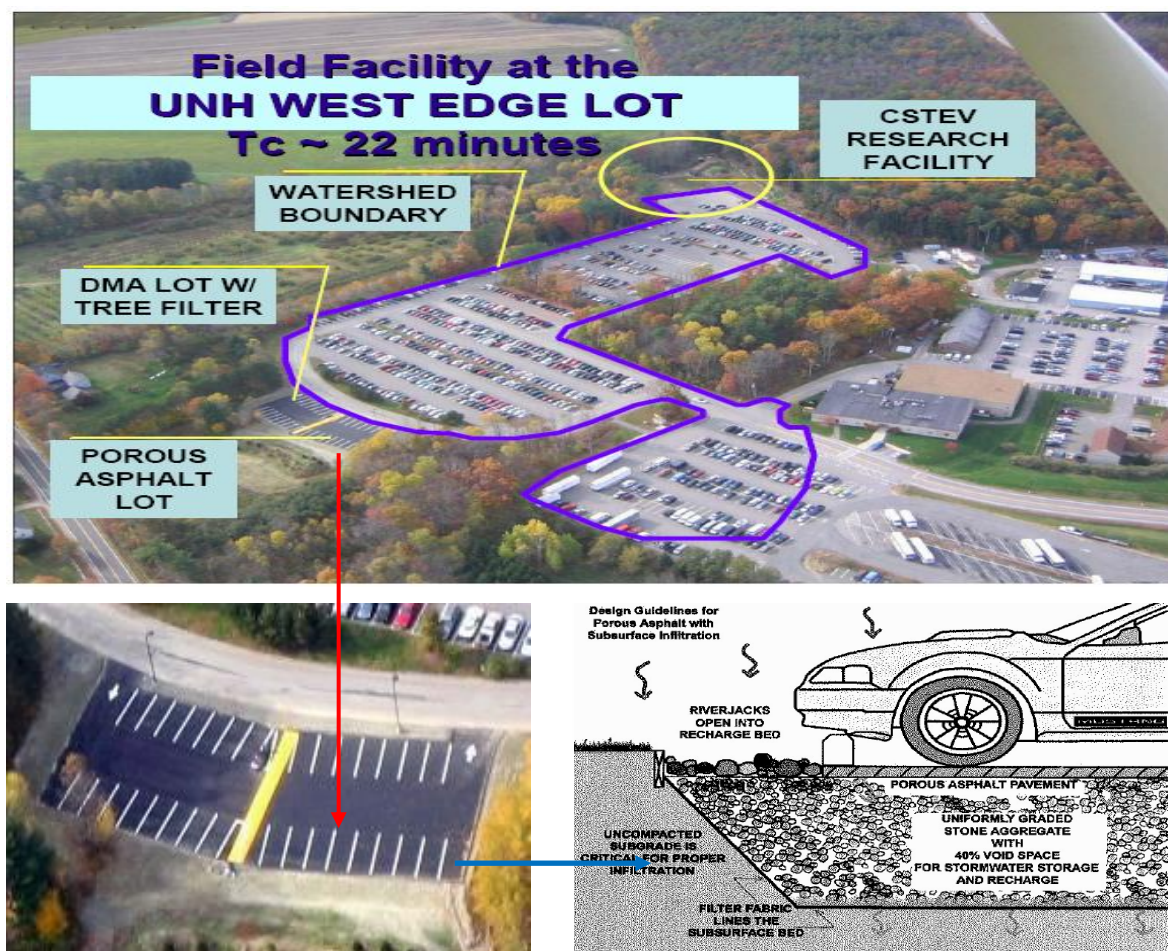
Figura 1-4: Evolución del empleo de mezclas drenantes (Miro, 2006).



- Estados Unidos ha realizado tramos de prueba que han permitido evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas drenantes para las diferentes estaciones climatológicas. En este caso en particular el uso de mezclas drenantes se implementó en zonas de parqueo permitiendo evaluar así las aguas provenientes de la lluvia.

La figura 1-5 permite observar el tipo de estructura implementado para recuperar las aguas y poder evacuarla fuera de la estructura de pavimento.

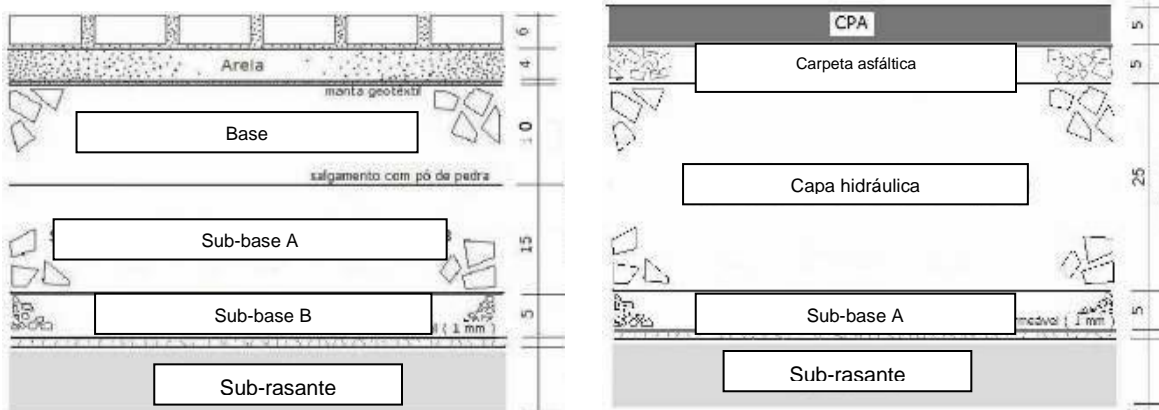
Figura 1-5: Localización del tramo de prueba. (Briggs, 2006).



TRAMO DE PRUEBA

TÍPICA P.A. (CAHILL ET AL. 2004.)

- En ciudad de México se ha desarrollado a gran escala la fabricación de mezclas drenantes utilizando materiales trabajados con ligantes hidráulicos.
- Brasil ha realizado tramos de prueba en el parqueadero del Centro de Investigación Hidráulica (Sao Paulo), utilizando mezclas asfálticas drenantes y capas de bloques de concreto hidráulico sobre camas de arena. Los estudios realizados por (López, 2010), demostraron que los asfaltos modificados incrementan la durabilidad de la mezcla. Las estructuras implementadas se presentan en las figura 1-6.

Figura 1-6: Bloques de concreto y Concreto asfáltico poroso

- En Argentina se concesionó en el año 2002 tramos de vías urbanas implementado mezclas asfálticas drenantes. Las cuales fueron diseñadas con asfaltos modificados con EVA (modificante con polímeros etil-vinil – acetato) y SBS (estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico. Se pudo evidenciar que luego de tres años de servicio la carpeta de rodadura del tramo no presentaba las fallas posibles en éste tipo de mezclas, como son desprendimientos de áridos, sellado etc. Los tramos construidos permitieron identificar que:
 - El tramo realizado con asfalto SBS la pérdida de huecos ha sido menos que en el tramo con asfalto EVA.
 - Se pudo observar que hasta esa fecha la recuperación elástica tuvo una caída, aun así, los asfaltos recuperados, especialmente el SBS, mantiene en buena forma sus propiedades elásticas ya que se considera importante

1.5 Caracterización de las mezclas drenantes.

Con el fin de evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica drenante es necesario realizar su caracterización mecánica e hidráulica a partir de una serie de ensayos que brevemente se relacionan a continuación.

1.5.1 Caracterización mecánica

La caracterización mecánica se realizó con la evaluación de los siguientes parámetros:

- Estabilidad y flujo
- Desgaste (cántabro)
- Escurrimiento
- Resistencia a la tracción indirecta

Como complemento a esta caracterización se estudiará el comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas generadas en laboratorio obteniendo así más información para su propia evaluación.

Relación estabilidad y flujo empleando el equipo Marshall (I.N.V. E – 748 - 07).

Una de las características buscadas en el diseño de la mezcla asfáltica es obtener una mezcla de buena estabilidad a la deformación plástica, siendo consecuente con la cohesión obtenida entre agregado-asfalto vinculo proporcionado por el ligante asfáltico y la fracción de agregado fino utilizado.

Este ensayo permite evaluar la estabilidad de las mezclas asfálticas obtenidas para los diferentes porcentajes de asfalto usando la prensa Marshall, este parámetro indica la resistencia a la deformación para una carga aplicada.

Desgaste de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste. (I.N.V. E – 760 – 07).

Con el fin de evaluar el desgaste y el proceso de disgregación de las mezclas se utiliza el equipo de la máquina de los ángeles, que simula los efectos de abrasión en obras generados por el paso de los vehículos. El ensayo consiste en introducir en la máquina de los Ángeles una probeta cilíndrica, fabricada con el equipo Marshall y someterla a 300 revoluciones del tambor. Durante el ensayo la probeta sufre desgaste y al final se da el porcentaje de peso perdido. La pérdida que sufre la briqueta por desgaste al utilizar la máquina de los Ángeles se divide en dos estados en seco a temperatura ambiente y en inmersión (en agua), según la norma española (quienes fueron los pioneros en utilizar esta técnica), el desgaste obtenido estará en función de la categoría de tráfico. A continuación se presenta en la tabla 1-3. Los criterios de proyecto utilizados en España desde los años 1989 y 2004.

Tabla 1-3. Criterios de proyecto. Según tráfico, vacíos y condiciones seco o inmersión. (Miro 2006).

Condiciones o Estados	Recomendaciones MOPU/89	Orden FOM 891/2004
Vacios en mezcla (%)	>20	>20
Pérdidas cántabro en seco, (%)	A 25 °C : < 25	A 25°C: < 20 (T00-T1) A 25 °C: < 25 (T2-T3)
Pérdidas cántabro en inmersión o húmedo, (%)	-----	A 25°C: < 35 (T00-T1) A 25 °C: < 40 (T2-T3)

Escurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas (NLT 365–93).

Es conveniente complementar la caracterización de las mezclas asfálticas drenantes con el ensayo de escurrimiento, aunque existen diferentes procedimientos para valorar el escurrimiento del ligante que se produce en una mezcla durante su transporte y puesta en obra (distintas temperaturas, distintos períodos de tiempo, con o sin vibración, etc.).

El ensayo de escurrimiento permite determinar cuantitativamente el escurrimiento de ligante de las diferentes mezclas generadas, garantizando el recubrimiento del ligante asfáltico en el agregado y por ende un ahorro de ligante.

El escurrimiento obtenido en una mezcla asfáltica drenante debe ser nulo, para evitar fallas en el proceso de extendido y problemas de excesos del ligante durante el servicio.

Resistencia a la tracción Indirecta. (I.N.V. E-725–07).

Con el fin de evaluar la resistencia a la fisuración de una mezcla asfáltica en particular de poco espesor (5 a 7 cm), es necesario analizar el comportamiento con el ensayo de tracción indirecta, con el objeto de caracterizar el comportamiento del material, no solo hasta el instante en que se inicia la rotura o máxima resistencia, sino también durante su rotura, a su vez en que se mide el efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta sobre probetas de asfalto.

Módulo dinámico de mezclas asfálticas. (I.N.V. E – 754 – 07).

Teniendo en cuenta que las cargas impuestas por el tránsito son dinámicas y que el comportamiento de los materiales bituminosos son elásticos, es decir, que dependen de la temperatura y el tiempo de aplicación de las cargas, con este ensayo se evalúa la

respuesta esfuerzo-deformación para temperaturas de 5, 25 y 40 °C y una frecuencia entre y 1 a 20 Hz que representa la velocidad de paso de los vehículos.

1.5.2 Caracterización hidráulica

Uno de los objetivos de las mezclas drenantes es permitir la evacuación del agua de escorrentía; es necesario determinar la conductividad hidráulica para la mezcla diseñada.

La conductividad, K , es la propiedad que controla el flujo, y depende fundamentalmente de rasgos geométricos y topológicos del medio tales como la conectividad del espacio conductor, la geometría, la disposición espacial de las partes que lo conforman y la proporción de volumen que ocupan.

En condiciones saturadas el valor de (K_s) es función además de la densidad, viscosidad del fluido (μ) constituyendo de esta manera a la permeabilidad intrínseca o física del medio (k). Tal como se expresa en la ecuación 1-1.

$$K_s = \frac{k\rho g}{\mu} \quad 1-1$$

Las unidades de la conductividad hidráulica son de velocidad y generalmente están dadas en cm/h. Los suelos con una alta porosidad y una pobre interconectividad entre los poros, tienen pequeños valores de K_s .

Para Young, 2009, la medición de la conductividad hidráulica sin tener en cuenta el método que se utilice busca obtener el valor representativo de flujo producido en un suelo por la condiciones de frontera del método utilizado. Este diferirá para cada condición. En la tabla 1-4. Se resume algunos de los métodos comúnmente utilizados para el cálculo de la conductividad hidráulica.

(Datta - Gupta, 1995), indica que la diferencia principal entre los métodos de laboratorio y campo, radica en que en el laboratorio la muestra se satura en un 95%, en cambio en el campo, esto no es posible y sólo se logra para una pequeña región adyacente a la zona de ensayo de la cual se obtiene el dato de la conductividad.

En este trabajo no se abordarán los métodos de campo ni los métodos indirectos o de correlaciones; para tal fin se utilizó el método directo de carga o cabeza constante, siendo uno de los métodos de laboratorio aplicable para suelos gruesos.

Tabla 1-4: Resumen métodos de determinación de la conductividad hidráulica

	TIPO DE MÉTODO	MÉTODO
A	Métodos de laboratorio K_s	Permeámetro de carga constante
		Permeámetro de carga variable
B	Métodos de campo K_{fs}	Con nivel freático presente
		Sin nivel freático presente -Doble anillo -Pozo de nivel variable o Porchet. -Pozo de nivel constante. -Tensión infiltrómetro
C	Métodos indirectos o de correlaciones K_g	A partir de la clase textural
		A partir de la granulometría

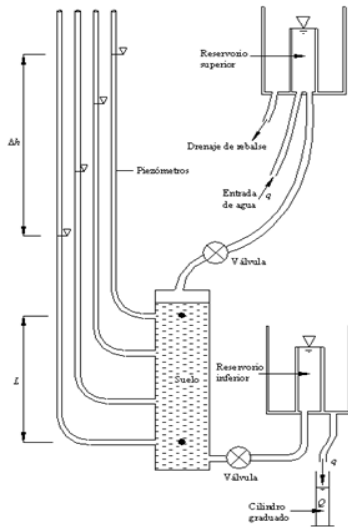
Métodos de laboratorio

Existen dos pruebas estándar de laboratorio para determinar la permeabilidad hidráulica del suelo: la prueba de carga constante y la prueba de carga variable. La primera se usa para suelos gruesos y la prueba de carga variable se usa preferiblemente para suelos finos, en la Figura 1-7. Se muestra los esquemas de instalaciones utilizadas para el cálculo de la conductividad hidráulica, (izquierda) se muestra el permeámetro de carga constante, (derecha) permeámetro de carga variable.

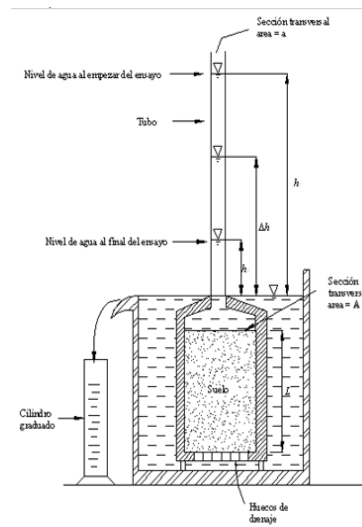
Prueba de carga constante (I.N.V. E – 130-07)

La prueba de carga constante se usa para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos de granos gruesos, tales como gravas y arenas. En este ensayo, el suministro del agua se debe mantener de tal manera que la diferencia de carga en la entrada y la salida del sistema permanezca constante durante el periodo de la prueba. Después de establecer el valor de la carga en el sistema, se recolecta un volumen de agua en una probeta graduada en un tiempo determinado. (Das, 2006).

Figura 1-7: Modelos de permeámetros carga constante y carga variable. (Coduto, 1999).



Permeámetro carga constante.



Permeámetro carga variable

El volumen total del agua se expresa según la ecuación (1-2), que a su vez se puede estimar con la ecuación de la ley fundamental de Darcy así:

$$q = Avt = -K(A) \frac{h}{L} t \quad (1-2)$$

Donde;

- K es la conductividad hidráulica (cm/día)
- A es el área de la sección transversal de la muestra o probeta (cm²)
- t es la duración de la recolección del agua
- $\frac{h}{L}$ es la variación de la carga hidráulica con la longitud del espécimen
- h es la carga hidráulica (en cm) y
- L es la longitud del espécimen (cm).

Despejando de la ecuación (1-2), se determina la conductividad hidráulica (k) para cada espécimen según la ecuación (1-1)

$$K = \frac{qL}{Aht} \quad (1-3)$$

Prueba de carga variable

Según (Das, 2006). La prueba de carga variable se usa para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos finos, tales como arenas finas, limos y arcillas. La prueba es llevada a cabo, llenando una columna con agua y permitiendo que esta fluya a través de la muestra. En un ensayo de carga variable, la conductividad hidráulica se puede calcular mediante la ecuación (1-4)

$$K = 2.303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (1-4)$$

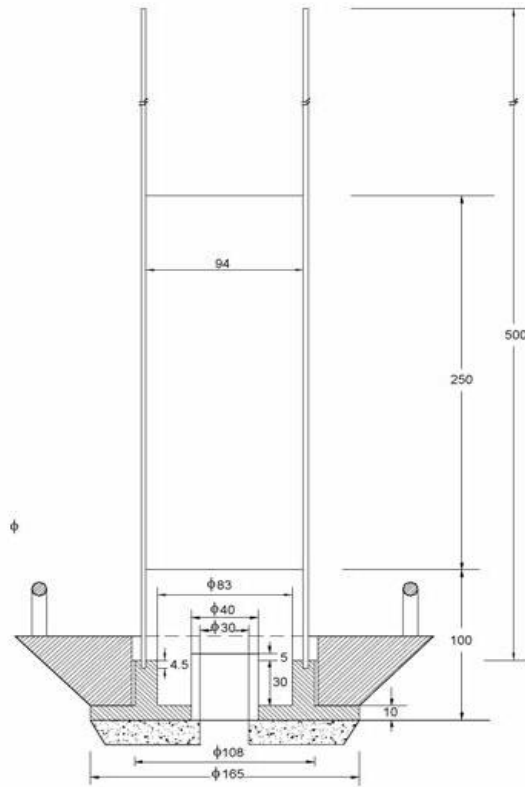
Dónde:

- K es la conductividad hidráulica (cm/día)
- A es el área de la sección transversal de la muestra o probeta (cm²)
- t intervalo de tiempo
- L es la longitud del espécimen (cm)
- a es el área de la sección transversal de la columna
- h1 y h2 representan las alturas de lámina de agua tomadas en diferentes instantes de tiempo.

Métodos de campo

Uno de los métodos de campo más utilizados es el realizado con el permeámetro LCS de las Norma de ensayos de materiales de construcción de carreteras (I.N.V. E – 796-07) , el cual tiene como objetivo realizar medidas de permeabilidad in situ en las mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y bermas según sea el caso. En la figura 1-8 Se observa las dimensiones del equipo y un equipo a escala.

Figura 1-8: Permeámetro LCS. Dimensiones y equipo tipo



Métodos indirectos para la estimación de la conductividad hidráulica

Existen varias relaciones que permiten estimar la conductividad hidráulica de forma indirecta (Kuang, 2011). Estas relaciones dependen del tamaño de los poros o el tamaño de las partículas. Los modelos basados en el tamaño de los poros incluyen supuestos sobre la estructura del poro, la forma, y la conectividad. Estos modelos requieren parámetros como la porosidad total y el diámetro de partícula.

Los modelos para el cálculo de k se expresan generalmente por ecuaciones potenciales (Kuang, 2011), establece que la conductividad hidráulica es directamente proporcional a una constante multiplicada por la porosidad elevado a un exponente.

Unas de la ecuaciones de permeabilidad más simples y conocidas son la ley de Kozeny, Kuang, Das, Terzaghi, Slichter, Fair-Hatch, kruger entre otras, que tratan de estimar la conductividad hidráulica mediante ecuaciones lineales que involucran variables como la porosidad, la forma y tamaño de las partículas, el tamaño y forma de los canales intersticiales

Con todos los ensayos anteriormente escritos se puede obtener buenos criterios de aceptación en el momento de evaluar un medio poroso, siempre y cuando se tenga claro cuál es la condición crítica del mismo, es de gran importancia identificar uno de los mayores problemas que se tiene en el momento de evaluar un medio y es el flujo preferencial que se genera por la frontera.

2. Preparación del material

Con el fin de evaluar las propiedades mecánicas e hidráulicas de los diferentes tipos de mezclas drenantes preparadas en esta investigación, es necesario realizar pruebas de laboratorio que permitan evidenciar como influye el alto contenido de vacíos en su estabilidad, desgaste y permeabilidad del medio poroso; al mismo tiempo cuantificar la adherencia lograda entre el agregado mineral y el ligante asfáltico utilizado. La selección del material pétreo, ligante asfáltico y los niveles de compactación deberán satisfacer las especificaciones establecidas por diferentes normatividades.

La fabricación de las probetas para este estudio se basó principalmente en lo estipulado en las Normas de ensayos de materiales de construcción de carreteras (del Instituto Nacional de Vías) el cual se identificará en el texto como INVIAS o INV, Instituto de desarrollo Urbano (IDU) y Orden circular 24/2008 sobre el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Artículo 543 – Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas (UNE).

2.1 Selección del material granular

De acuerdo con lo exigido en la normatividad el material granular utilizado debe ser de alta calidad; no será susceptible de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable. En la tabla 2-1 se reportan las especificaciones establecidas para el uso de este tipo de material.

Las normas que se relacionan son:

- Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías). INVIAS Artículo 400-07 tablas 1(a)(b)(c).

- Especificaciones Técnicas de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y espacio público en Bogotá D.C (Instituto de Desarrollo Urbano I.D.U.). Sección 510-2005.
- Orden circular 24/2008 sobre el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Artículo 543 – Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas tipo PA-12. (UNE).
- Norma Chilena para capa de rodadura.

Es importante anotar que el ensayo de caras fracturas es uno de los parámetros de caracterización granular que más diferencia marca entre las normas estipuladas; pasando de un 98% para las especificaciones española y chilena a un 90% para las normas del Instituto de desarrollo urbano (IDU ET-2005) y Normas de ensayos de materiales de construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías), lo que significa que este parámetro influirá de manera importante en la adherencia agregado-ligante. Este parámetro también podrá repercutir en los resultados de desgaste por el método de cántabro debido a que hay una mayor trabazón entre los agregados y el asfalto que compone la mezcla.

TABLA 2-1: Caracterización del material granular para la mezcla asfáltica drenante.

ENSAYOS TRAFICO TIPO	Desgaste L.A (100 rev. 500 rev. Y 500 rev. Inme.)	Microdeval	10 % finos (kn)		Perdida ensayo solidez		Caras Fracturadas		Angularidad Metodo A	Indices		IP	Equivalente de Arena	contenido de impurezas agregado grueso	Azul metileno
			Seco	Relación humedo /seco	Sulfato sodio	Sulfato Magnesio	1 cara	2 caras		Alargamiento	Aplanamiento				
ARTICULO 400 INV-2007 TABLA N°400 (1a-1b-1c)															
NT-1	35% MAX.	SD	SD	SD	12% MAX	18% MAX	60% MIN	60% MIN	SD	SD	SD	NP	SD	0.5%MAX.	SD
NT-2	25% MAX	20% MAX	110 MIN	75% MIN	12% MAX	18% MAX	85% MIN	70% MIN	SD	SD	SD	NP	50% MIN.	0.5%MAX.	SD
NT-3	25% MAX	20% MAX.	110 MIN	75% MIN	12% MAX	18% MAX	85% MIN	70% MIN	SD	SD	SD	NP	50% MIN.	0.5%MAX.	SD
IDU-ET-SECCIÓN 510-2005.															
T0-T1	6,30,50(%)	25% MAX.	75	75% MIN	NA	18% MAX	75% MIN	50% MIN	45% MIN	25% MAX	25% MAX	NP	40% MIN	NA	8 max
T2-T3	6,30,50(%)	25% MAX.	75	75% MIN	NA	18% MAX	75% MIN	60% MIN	45% MIN	25% MAX	25% MAX	NP	40% MIN	NA	8 max
T4-T5	5,25,49(%)	20% MAX.	110	75% MIN	NA	18% MAX	90% MIN	75% MIN	45% MIN	20% MAX	20% MAX	NP	40% MIN	NA	8 max
NORMA CHILENA CAPA DE RODADURA Lnv															
GENERAL	20% MAX	SD	SD	SD	3% MAX		98% MIN	98% MIN	SD	10% MAX	25% MAX	NP	50% MIN.	SD	SD
NORMA ESPAÑOLA UNE ARTÍCULO 542 DEL PG-3 PA-12															
T3	25% MAX	SD	SD	SD	SD		98% MIN	98% MIN	SD	25% MAX	25% MAX	NP	50% MIN.	SD	10 max
T1 Y T2	20% MAX	SD	SD	SD	SD		98% MIN	98% MIN	SD	25% MAX	25% MAX	NP	50% MIN.	SD	10 max
T00 Y T0	15% MAX	SD	SD	SD	SD		98% MIN	98% MIN	SD	20% MAX	20% MAX	NP	50% MIN.	SD	10 max

SD: sin dato reportado por norma.

Para la selección del material granular se utilizó la fuente o proveedor Proymat S.A. Grava y arenas provenientes de la cantera del rio Coello-Tolima las cuales se clasifican según el Informe de petrografía por el método de Análisis macroscópico como:

- Grava: Corresponde a una grava media de color gris claro, suelta de buena selección en donde el 42.5% son de origen Ígneo volcánico con tamaños entre 1 a 2.5 cm de forma angular y sub-angular, esféricos, en la mayoría de los fragmentos se presentan superficies rugosas: Un 57.5% la integra clastos de rocas plutónicas (26%), de forma angular y sub-angular con tamaños entre 1.5 a 2.5 cm, clastos se rocas metamórficas (21.5%) de esquistos y metarenitas por último tenemos rocas sedimentarias (10%) como calizas fosíferas de color negro y limolitas rojizas de tamaño 2 y 2.5 cm de forma sub-angulares y esféricos es de recalcar que la textura en general de la grava es rugosa. Las características están en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Descripción Macroscópica Grava

Fragmentos de Roca Ígnea Volcánica	%	Fragmentos de Roca Ígnea Plutónica	%	Fragmentos de Roca Ígnea Metamórfica	%	Fragmentos de Roca Ígnea Sedimentaria	%
Andesita	22.5	Diorita	3.0	Metarenitas	19.5	Calizas	5.5
Basalto	16.0	Cuarzodiorita	5.5	Esquistos	2.0	Limolitas	4.5
Basalto Adesítico	4.0	Granodiorita	6.0				
		Granito	5.0				
		Diques aplíticos	2.0				
		Cuarzo pegmatíticos	4.5				

- Arena: Identificada como Arena media de color gris clara. Con un 42% por fragmentos de cristales, integradas por cuarzo, plagioclasas, biotita y anfíbol con tamaños entre 2.00 mm y 88 um de forma angular, subesférico a elongado. El resto corresponde a un 58% integrada por: Rocas volcánicas (25.5%), rocas ígneas plutónicas (15.3%) de tamaño entre 2.5 a 2 cm de forma angular y subangular, fragmentos de rocas sedimentarias (15%) compuesta de caliza y limolitas rojizas, por últimos Fragmentos de roca metamórfica (2.2%) compuesto por esquistos. Las características están en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Descripción Macroscópica Arena.

Fragmentos de Minerales	%	Fragmentos de Roca Ígnea Volcánica	%	Fragmentos de Roca Ígnea Plutónica	%	Fragmentos de Roca Sedimentaria	%	Fragmentos de Roca Metamórfica	%
Cuarzo	23.0	Basaltos	8.0	Granito	2.2	Calizas	5.1	Esquistos	2.2
Plagiocasa	10.2	Basaltos Andesíticos	3.3	Cuarzodiorit.	6.5	Limolitas	9.9		
Anfibol	5.5	Andesítas	14.2	Granodiorita	4.0				
	3.3			Dioritas	2.6				

De acuerdo con análisis macroscópico el material escogido no es susceptible de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable.

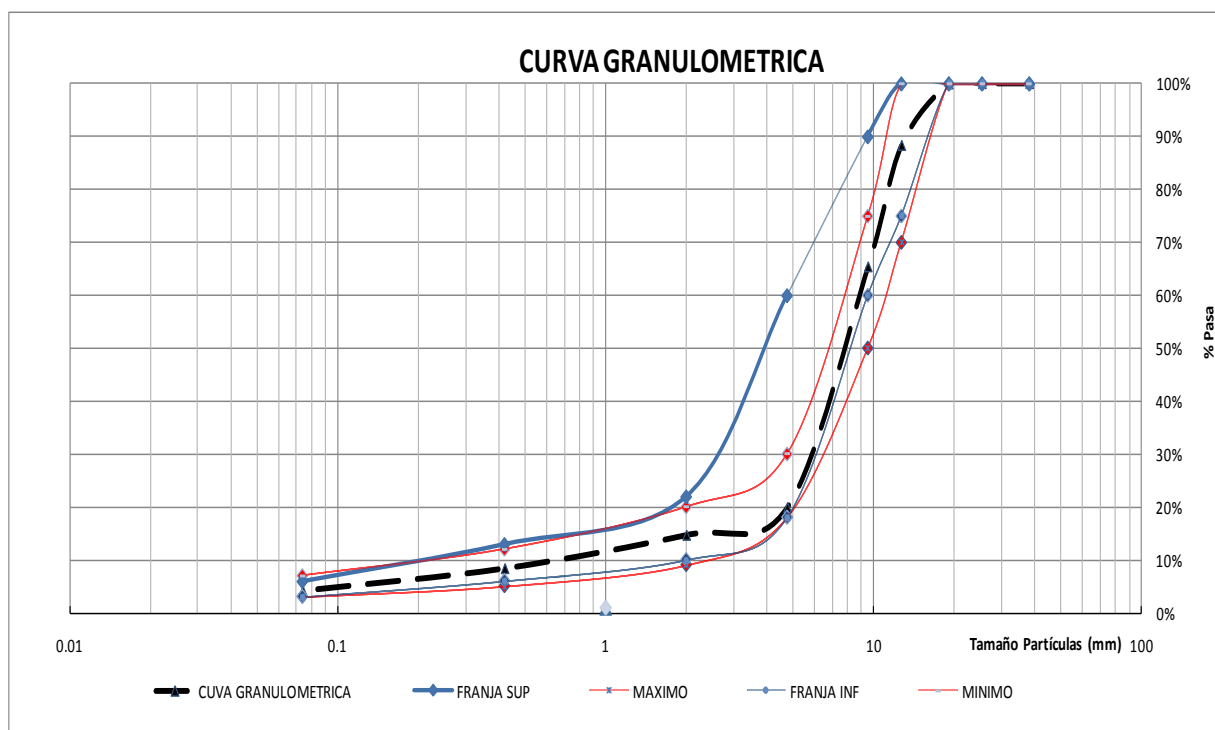
Para determinar la granulometría de diseño se utilizó los límites de las franjas de las Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías) y el Artículo 543 – Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas tipo PA-12. (UNE) de la Orden circular 24/2008 sobre el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Obteniendo una granulometría promedio cumpliendo con los límites estipulados.

En la Figura 2-1. Se presenta las curvas granulométricas anteriormente expuestas y en la tabla 2-4. Se reportan las granulometrías recomendadas para obtener la gradación de diseño.

Tabla 2-4: Granulometrías recomendadas y gradación de diseño.

Tamiz		% Pasa especificación		% Pasa gradación diseño	% Pasa Franja especificación	
(mm)	(pulg)	INV.E 453		Diseño	PA-12	
		Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
38.1	1 1/2"	100	100	100.0	100.0	100.0
25.4	1"	100	100	100.0	100.0	100.0
19.1	3/4"	100	100	99.9	100.0	100.0
12.7	1/2"	100	70	88.3	100.0	75.0
9.52	3/8"	75	50	65.4	90.0	60.0
4.76	No. 4	30	18	20.0	60.0	18.0
2.00	No. 10	20	9	14.7	22.0	10.0
0.42	No. 40	12	5	8.5	13.0	6.0
0.074	No. 200	7	3	4.2	6.0	3.0
PASA 200						

Figura 2-1: Curva Granulométrica de diseño.



En la tabla 2-5, se presenta un resumen de todos los resultados de los ensayos de caracterización granular realizados a la mezcla de material grueso, fino y filler (referido al 50% del tamiz pasa #200 del material granular), se aclara que el otro 50% del material fino se completó con cal deshidratada para mejorar la adherencia entre agregado y

ligante. En el anexo A se encuentran los resultados de laboratorio de la caracterización granular realizada.

Tabla 2-5: Resultados de los ensayos de caracterización granular.

Ensayos realizados	Resultados	Cumple
Desgaste en la máquina de los Ángeles (%):		
100 revoluciones en seco	5,1%	✓
500 revoluciones en seco	24,9%	✓
500 revoluciones en inmersión	27,6%	✓
Micro Deval (%)	12%	✓
10% de Finos (kN)		
En estado seco	215,6%	✓
Relación Inm/seco	94,4%	✓
Perdida ensayo de solidez		
% Fracción gruesa	10,5%	✓
% Fracción fina	1,4%	✓
Caras fracturadas (%):		
A una (1) cara	93%	✓
A dos (2) caras	86%	X
Angularidad. Método A.	44,9%	✓
Índices de forma (%)		
Alargamiento	18%	X
Aplanamiento	11%	✓
Índice de Plasticidad	NP	✓
Equivalente de arena (%)	60%	✓
Contenido de impurezas agregado grueso (%)	0,36%	✓
Azul de Metileno (gr)	5,3	✓

2.2 Selección del material asfáltico

El tipo de ligante asfáltico utilizado para las mezclas asfálticas drenantes es modificado, y según la definición aportada por el Instituto Nacional de Vías donde: “Los cementos asfálticos modificados con polímeros son ligantes hidrocarbonados resultantes de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico. Siendo el asfalto convencional modificado con polietileno o EVA de acuerdo con lo estandarizado en el Artículo 400 – 07 del Instituto Nacional de Vías”. Este tipo de ligante tiene como finalidad mejorar la cohesión y la adhesividad para evitar escurrimientos o disminuirlos tal sea el caso, además mejora la resistencia a la deformación plástica. En la tabla 2-6 se puede observar las especificaciones de cementos asfálticos modificados.

Tabla 2-6: Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros. Artículo 400 – 07 del INVIAS 2007.

CARACTERÍSTICA		Norma de ensayo INV	Tipo I		Tipo II	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<i>Asfalto original</i>						
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	55	70	55	70
Punto de ablandamiento anillo y bola	°C	E-712	58	-	58	-
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702			15	-
Recuperación elástica por torsión a 25°C	%	E-727	15	-	40	-
Estabilidad al almacenamiento (*) Diferencia punto de ablandamiento	°C	E-726 E-712	-	5	-	5
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante copa abierta Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-
<i>Residuo de película fina</i>						
Pérdida de masa	%	E-721	-	1	-	1
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento en película delgada, % de la penetración original	%	E-706	65		65	
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702	-	-	8	-

El ligante asfáltico seleccionado para la investigación se clasifica como Tipo I y se basa en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con EVA o polietileno. El asfalto fue suministrado por la empresa Inco-Asfaltos (Industria colombiana de asfaltos S.A.) y según certificado de calidad del material presento las siguientes características. Ver tabla 2-7.

De la carta de viscosidad obtenemos las temperaturas de trabajo las cuales fueron:

- Temperatura de mezcla de 173,2 – 176,4°C
- Temperatura de compactación de 159,1 -162,0°C.

Con estos resultados se cumple con los parámetros descritos en el Artículo 400 del Instituto Nacional de Vías.

Tabla 2-7: Características del asfalto modificado Tipo I.

Ensayo / Análisis	Unida	Norma Ensayo INV	Especificación		Resultado
			Min.	Máx.	
Penetración (25°C, 100g, 5s)	0.1mm	E-706	55	70	60
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	°C	E-712	58	-	61,4
Ductilidad (5°C, 5cm/min)	cm	E-702	-	-	61,00
Recuperación elástica por torsión a 25°C	%	E-727	15	-	55,3
Estabilidad al almacenamiento (*)	°C	E-726	-	5	2,8
Diferencia en el punto de ablandamiento	%	E-712	-	5	2,8
Pérdida de masa en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento (INV E-720) y ensayos sobre el residuo.					
Contenido de agua	°C	E-704	-	0,2	0,0
Punto de ignición mediante la copa abierta Cleveland	°C	E-709	230	-	300,4
Pérdida de masa	%	E-720	-	1	0,5302
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento, (%) de la penetración original	%	E-706	65	-	67,4
Ductilidad (5°C, cm/min)	cm	E-702	-	-	28,75

2.3 Fabricación de probetas de mezcla asfáltica drenante.

Con el fin de analizar opciones de mezclas asfálticas drenantes se fabricaron probetas con variación en el porcentaje de asfalto; en total fueron (5) porcentajes de asfaltos que varían entre 3,5 con incrementos de 0.5% hasta llegar a 5,5%.

Para realizar la validación de los resultados de los ensayos programados en la campaña experimental, se optó por:

- Trabajar con un rango promedio de valores entre 20+-3% para los porcentajes de vacíos.
- La densidad geométrica de trabajo fue de 1.940 g/cm³ +- 0,1. Obteniendo un rango para las densidades 1,870 a 2,020 g/cm³ cumpliendo con lo descrito en la norma I.N.V. E-760-07 y el inciso 5.2.4 del Artículo 453-07 del Instituto Nacional de Vías. Referido a la calidad de la mezcla.

Con base a los anteriores criterios se fabricaron total de 145 probetas, las cuales se ensayarán en el laboratorio (en la propuesta se programó 48 probetas sin tener en cuenta los ensayos de módulo dinámico), siendo 135 probetas tipo Marshall destinadas a la caracterización mecánica e hidráulica y 10 probetas para ensayos de módulo. En la tabla 2-8, se relaciona la cantidad de briquetas fabricadas por ensayo programado.

Tabla 2-8: Ensayos programados y la cantidad de briquetas fabricadas para la caracterización mecánica e hidráulica.

Ensayo	Norma	% Asfalto	# Probetas por % de asfalto	Total
Estabilidad y Flujo, % vacíos, Densidad Bulk	INV E-748/07 INV E -736/07	3,5%, 4.0%, 4,5%, 5.0% y 5.5%	6	30
Cántabro en seco	INV E – 760/07		6	30
Cántabro en húmedo	INV E – 760/07		6	30
Escurrimiento*	NLT 365-93		3*	15*
Tracción indirecta	INV E – 725/07		6	30
Permeabilidad	Por cabeza constante		5	15
Modulo dinámico	INV E- 754/07		2	10
TOTAL(Briquetas)				145

*Para el ensayo de escurrimiento se pesaron 1100 g de mezcla por ensayo para cada porcentaje de asfalto.

Preparación de la mezcla asfáltica drenante.

- Para cada fracción de material pétreo de la muestra, se pesan en platones de aluminio (previamente tarados) la cantidad correspondiente al peso de la mezcla total de cada porción de agregados y llenante mineral.
- Se lleva el platón con el material pétreo al horno hasta alcanzar los 190°C lo que equivale a unos 15°C por encima de la temperatura de mezclado (173.2 –

176,4°C). Se transfieren los agregados al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco, creando un cráter en el centro donde se vierte la cantidad de asfalto (el cual ha sido previamente calentado a 175°C aproximadamente). Sin disminuir la temperatura de mezclado. Se mezclan los materiales hasta tener una mezcla homogénea.

- Para conseguir la altura adecuada de las probetas para el ensayo, se realizó cinco probetas de prueba tomando inicialmente 1200 g, de mezcla asfáltica, corrigiéndose el peso para obtener una altura de 63,5 mm (2 ½ "). Se continuó con un peso de 1180 g observando una altura de la briqueta muy variable, con tendencia a quedar con una altura de 0,5 cm por fuera del molde. El peso ideal para obtener la altura específica fue de 1150 g.
- Se mantiene la mezcla en un horno a temperatura constante de 160°C mientras se prepara los equipos de compactación.

Compactación de las probetas:

- Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y base del martillo de compactación previamente limpio se calientan en el horno a la misma temperatura de mezclado.
- El montaje, manipulación del equipo y compactación de la mezcla asfáltica se ejecutó manteniendo las observaciones del inciso 4.6 de la norma I.N.V. E-748-07.
- Para cada una de las briquetas se aplicó 50 golpes por cara
- Se dejan en reposo durante una noche al desencofrar se deberá tener especial cuidado de no dañar la probeta.

Este procedimiento se realizó para todos los porcentajes de asfalto a evaluar que van desde 3.5% (incrementando en 0,5%), hasta llegar a 5.5%. Para identificar cada porcentaje de trabajo se propuso utilizar diferentes colores, se marcó cada probeta una vez se desencofra la broqueta del molde, como se indica en la tabla 2-9.

Tabla 2-9: Identificación de las briquetas por porcentaje.

Color briqueta según porcentaje de asfalto	Porcentaje de asfalto (%)
Blanco	3,5
Azul	4,0
Naranja	4,5
Verde	5,0
Rojo	5,5

Una vez identificada cada probeta se toman los datos bases de cada probeta como son;

-Altura promedio (cm).

-Diámetro promedio (cm).

-Peso en el aire en seco (g).

Los datos anteriores fueron fundamentales para identificar propiedades similares entre probetas referidas a la densidad geométrica y porcentajes (%) de vacíos. Siendo fundamental para la caracterización en la evaluación del comportamiento mecánico de la mezcla asfálticas drenante.

Para esta investigación se prepararon dos tipos de probetas la primera diseñada por metodología Marshall a las cuales se realizaron ensayos de estabilidad, flujo, densidad geométrica, desgaste por el cántabro y tracción indirecta y la segunda por equivalencias de energías a las que se les realizó el ensayo de módulo dinámico. Para cumplir con la norma I.N.V. E- 754-07 del Instituto Nacional de Vías y mantener una relación altura diámetro de 1:2, se fabricaron dos moldes de acero inoxidable obteniendo muestras con unas dimensiones promedio de:

Altura = 23,00 cm.

Diámetro = 10.16 cm.

Fabricación de las probetas para los módulos

Para la ejecución de este ensayo se fabricaron dos briquetas por porcentaje de asfalto obteniendo un total de diez (10), teniendo en cuenta que la relación altura / diámetro

debe ser 1:2 se compacto las probetas utilizando la equivalencia de energías de compactación (E_c) utilizando la ecuación 2-1. Se tomó como punto de partida la energía de compactación obtenida por la metodología Marshall. En la tabla 2-10. Se hace la correlación de las dos energías de compactación obtenidas.

$$E_c = \frac{n \cdot N \cdot W \cdot h}{V} \quad (2-1)$$

Dónde:

n=Número de golpes

N=Número de capas

W=Peso del pistón del martillo peso total

h=Altura de Caída

De esta ecuación tenemos como constantes el peso del pistón del martillo, la altura de caída del martillo y el volumen del molde. Utilizando ensayo y error se realizaron más de diez pruebas variando el número de capas y el número de golpes con el fin de obtener:

- Una distribución uniforme de la mezcla a lo largo de briqueta.
- Eliminar planos de falla entre capas.
- Segregación del material.
- Consistencia de la briqueta.
- Evitar enfriamiento prematuro de la mezcla en el proceso de compactación.

En consecuencia las condiciones de compactación más favorables que cumplieron las observaciones descritas anteriormente fueron:

- Se compacta a tres (3) capas, cada una con un peso de 1225 g.
- El número de golpes en total fueron 117 distribuidos 20, 40 y 57 para la primera, segunda y tercera capa respectivamente las cuales están localizadas en el molde de abajo hacia arriba.
- Se mantiene la misma temperatura de mezclado y de compactación utilizada por la metodología Marshall

Tabla 2-10: Equivalencia de energía. Metodología Marshall y probetas para el ensayo de módulo dinámico.

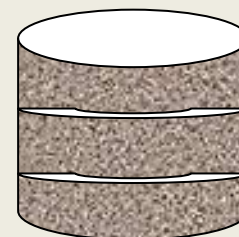
EQUIVALENCIA DE ENERGÍAS	n	N	W (kg)	h (mm)	$V = \pi*(r^2)*h$ (mm ³)	EC
Briqueta Marshall (altura de 63,5mm diámetros de 101,6mm en valores promedio)	100	1	4,54	457,20	514814,8	0,4032
Briqueta módulo dinámico (altura de 220mm diámetro de 101,6mm en valores promedio)	117	3	4,54	457,20	1783610,3	0,4085

En la figura 2-2 se observa la distribución entre capas de los golpes y el peso de la mezcla drenante por capa.

Figura 2-2: Distribución de golpes y peso por capa de mezcla drenante.

N=117 Golpes en total y un peso de 3675 gr aproximado los cuales se repartieron de la siguiente manera:

Capa N°	N° Golpes	Peso (g)
1	20	1225
2	40	1225
3	57	1225



En las briquetas de Módulo se obtuvo una densidad promedio de: 1.921 gr /cm³. En la tabla 2-11 está resumido los datos de las briquetas para módulo dinámico.

Tabla 2-11: Datos briquetas ensayo Módulo Dinámico.

Volume (cm ³) $V = \pi \cdot (r^2) \cdot h$	h (cm)	Diámetro (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm ³)	% Asfalto
1879,80	22,30	10,36	3675,30	1,96	3,50
1881,00	22,40	10,34	3672,50	1,95	4,00
1935,10	23,00	10,35	3676,10	1,90	4,50
1935,10	23,00	10,35	3676,60	1,90	5,00
1938,80	23,00	10,36	3675,90	1,90	5,50

En consecuencia se tuvieron probetas de módulo dinámico con energía de compactación equivalente a la metodología Marshall y con densidades que están en el mismo rango de trabajo que las obtenidas por Marshall.

En la Figura 2-3. Se observa de manera gráfica la selección del material granular, llenante y pesaje de la mezcla asfáltica.

Figura 2-3: Material granular, pesaje de la mezcla asfáltica



- a) Peso de filler- Cal b) Peso del material granular c) Mezcla asfáltica d) Peso de la mezcla



En las figuras 2-4 y 2-5 se muestran los dos tipos de probetas usados. Tipo Marshall y módulo dinámico.

Como ya se había mencionado en el capítulo 2 inciso 2.3, la primera identificación de cada probeta compactada en laboratorio fue el color asignado por porcentaje de asfalto, una vez terminada la campaña de compactación.

Posteriormente de cada probeta se calculó la densidad y para ello, se tuvo en cuenta las observaciones presentadas en la norma I.N.V. E – 736 -07 del Instituto Nacional de Vías. Inciso 5.2. Está aplica para mezclas asfálticas abiertas, determinando la densidad geométrica de una probeta, a partir de su masa seca (en g) y de su volumen (en cm^3), midiendo la altura y diámetro de la briqueta en cuatro sitios diferentes. Para los cálculos solo se trabajó con la densidad geométrica. Una vez identificados estos parámetros se separan por ensayo las probetas con valores semejantes para minimizar errores en los cálculos. En los anexos se detalla los valores anteriormente descritos seccionados por porcentaje de asfalto y por ensayo.

Figura 2-4: Probeta tipo Marshall.



Figura 2-5: Probeta para módulo dinámico.



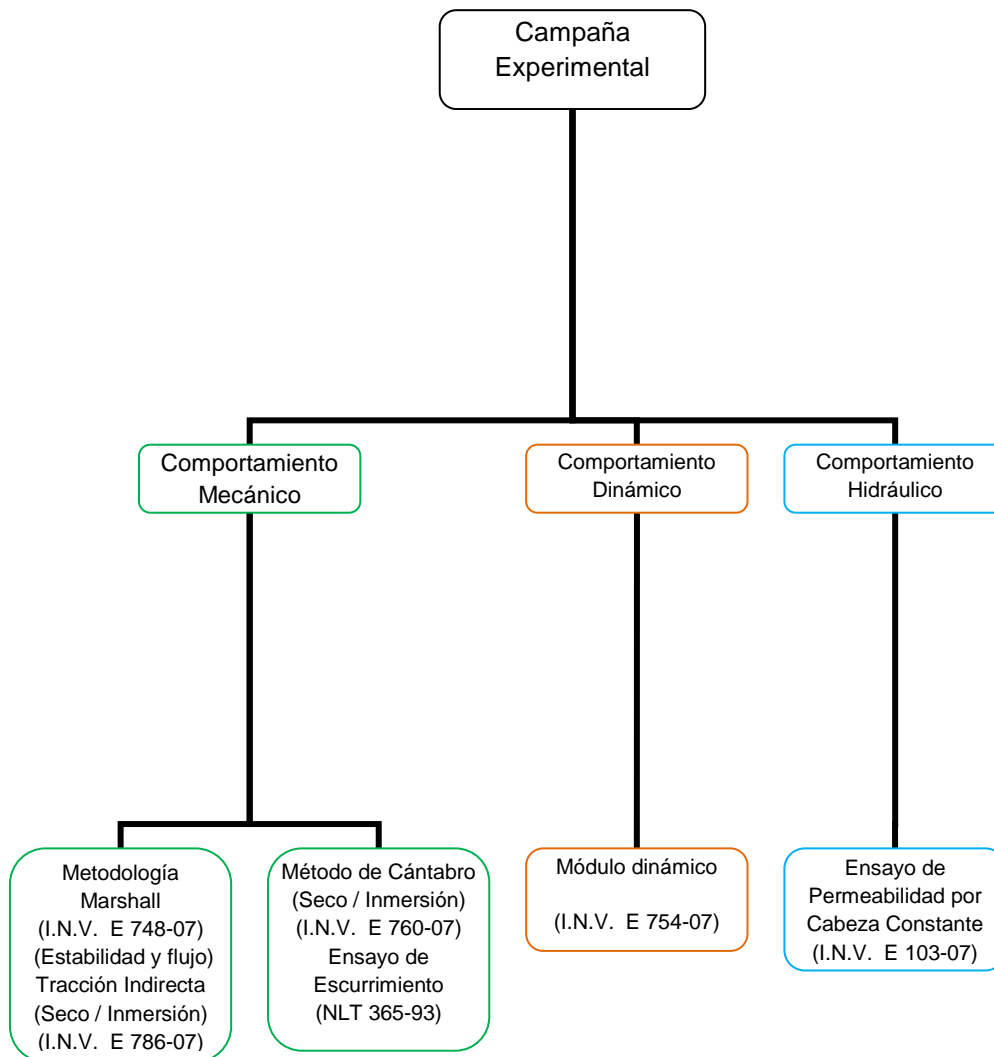
La apariencia de las probetas es abierta tal como se puede apreciar en la Figura 2-6.

Figura 2-6: Apariencia de las probetas.



3. Caracterización mezclas drenante

Con el fin de determinar el comportamiento mecánico e hidráulico de los diferentes tipos de mezcla con variación del porcentaje de asfalto de 3,5 % a 5,5% se realizó la campaña experimental que se presenta a continuación



3.1 Caracterización Mecánica.

Teniendo en cuenta que en Colombia no hay una normativa clara relacionada con la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas drenantes se realizaron los ensayos tradicionales aplicados a las mezclas asfálticas convencionales con el fin de comparar las bondades de este tipo de mezclas con las mezclas tradicionales usadas en capa de rodadura.

3.1.1 Propiedades básicas de las mezclas utilizadas

Estabilidad y flujo utilizando el equipo Marshall. (I.N.V. E- 748-07).

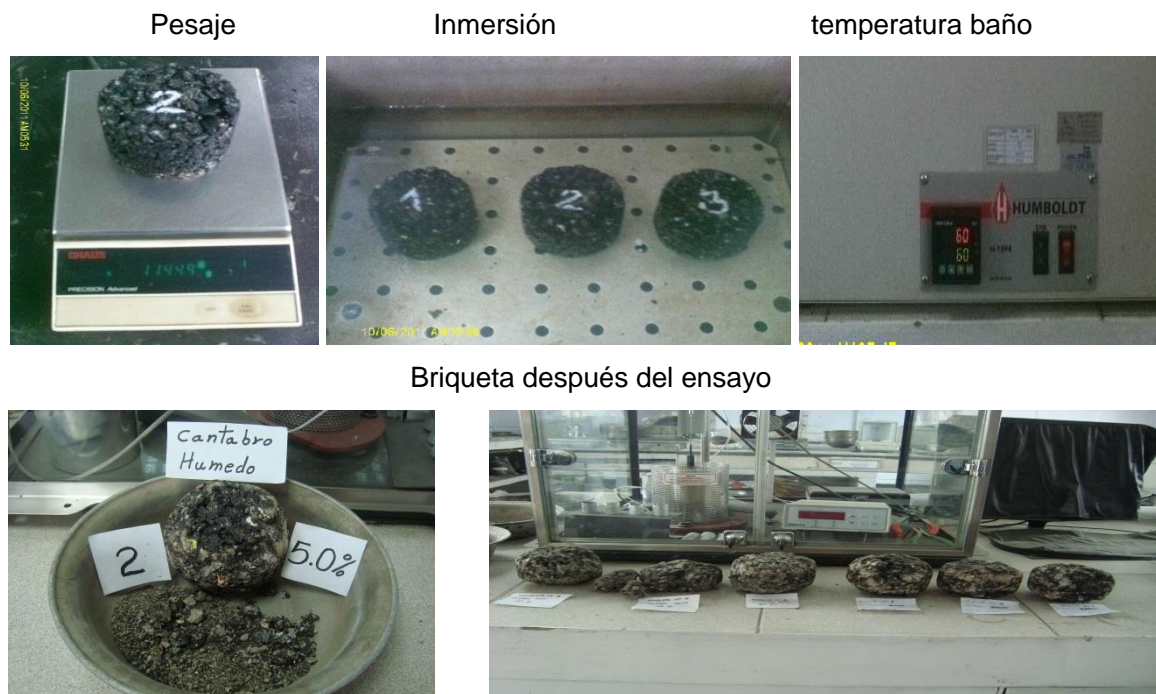
Para cada porcentaje de asfalto, se evaluó la estabilidad y flujo teniendo especial cuidado en la caracterización inicial de cada probeta donde la densidad geométrica y el porcentaje de vacíos deberán estar entre en los parámetros establecidos en el capítulo 2.

En los primeros ensayos realizados para el cálculo de la estabilidad y flujo correspondientes a los porcentajes de asfaltos de 3,5% y 4,0%, en las probetas se obtuvo porcentajes de vacíos por debajo del 20%, con el fin de garantizar un rango de trabajo de 20+-3% para los porcentaje de vacíos, en las probetas obtenidas para todos los porcentajes de asfalto, fue necesario un ajuste en la granulometría, aumentando el porcentaje pasa en un 10% para los tamices 1/2" y 3/8". Generado la necesidad de fabricar otro juego de briquetas y realizar nuevamente el ensayo: Inicialmente se trabajó con un juego de seis (6) probetas denominadas como 1, 2, 3, 4, 5 y 6 al no cumplir con los porcentajes de vacíos, se generó un nuevo juego de cuatro (4) probetas nombradas como 1', 2', 3', 4', cumpliendo con las dos condiciones especificadas en el capítulo 2, con este ajuste en la granulometría se fabricaron para los otros porcentajes de asfalto (4,5%, 5,0% y 5,5%), un juego de seis (6) probetas. Para este ensayo se analizó un total de 26 probetas.

Desgaste (cántabro), utilizando la máquina de Los Ángeles. (I.N.V. E- 760-07)

El ensayo fue realizado sin ninguna variación de la norma. Previo a cada ensayo se determinó la temperatura del medio (tambor de la máquina de Los Ángeles), midiendo la temperatura antes y después del ensayo, manteniendo la temperatura entre 25+-2°C. Evitando un incremento adicional en el desgaste de la probeta, cumpliendo con la condición de la norma INVIAS I.N.V. E-760-07 del Instituto Nacional de Vías, la cual

Figura 3-2: Procedimiento grafico en estado de inmersión



Ensayo de escurrimiento de ligante en mezclas drenantes. (NLT 365-93).

Es importante aclarar que este ensayo no es conocido en nuestro país, por lo tanto, fue necesario construir el primer equipo piloto de esta serie para la implementación y estudio en la presente investigación dado que éste aplica para mezclas asfálticas drenantes.

Según las normas españolas, las cuales utilizan el método del canasto de escurrimiento en donde, el ensayo permite estudiar una mezcla, colocada sin compactar, en recipientes circulares de vidrio en una estufa a 130-150°C durante 1 o más horas, determinando la cantidad de ligante que queda adherido en el fondo del recipiente tras verter rápidamente su contenido. (Miro, 2006).

Las especificaciones del ensayo y del equipo se encuentran escritas en la norma NLT - 365-93 de la norma técnicas Española. A continuación se presentan los aspectos más importantes del equipo y el ensayo desarrollado:

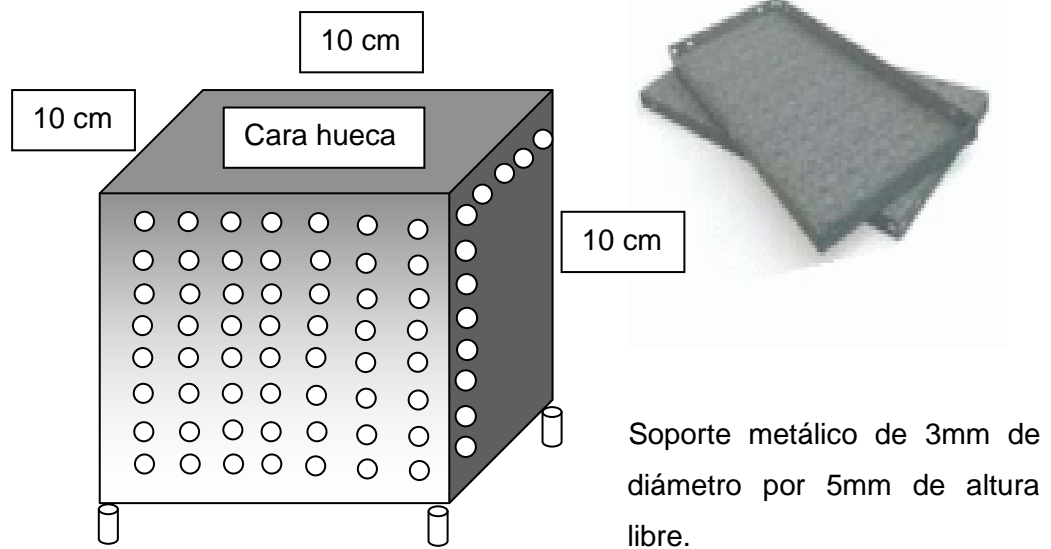
- **Características de la bandeja metálica;** deberán ser cuadrada de 15 X 15 cm de lado por 1 cm de profundidad. Se construyeron tres (3) unidades. De acero

inoxidable cumpliendo con esta especificación puesto que las temperaturas a las que estará sometida las bandejas serán superiores a 150°C evitando así una alteración geométrica del equipo.

- **Caja metálica cúbica;** Donde se introduce la mezcla drenante deberá tener: 10cm de arista, la caja será de cinco (5) caras de un espesor de 2mm de acero inoxidable. Cada cara estará perforada con agujeros de diámetro de 3,1 +- 0.1 mm ocupando un área del recipiente de 38+-2% de la superficie total del recipiente, en la cara inferior dispondrá de cuatro (4) soportes metálicos de dimensiones de 3mm de diámetro por 5mm de altura libre. Se construyeron tres (3) unidades de este tipo, teniendo especial cuidado de la repartición de los agujeros de cada superficie por cara a saber:

Cada cara estará perforada con agujeros de 3mm de diámetro estas perforaciones cubrirán un 38+-2% del área total nos dan 57 agujeros por cara generando una reglilla de 7 columnas por 8 filas repartidas por cara. En la figura 3.-3 se puede observar todas las observaciones descritas.

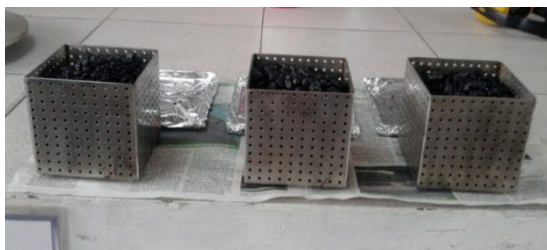
Figura 3-3: Esquema base equipo escurrimiento



Para el desarrollo del ensayo se programó realizar por cada porcentaje de asfalto tres mediciones de escurrimiento, al no encontrar una variación significativa entre ensayos, se dio por terminado con los tres valores obtenidos por porcentaje de asfalto.

Para esta investigación se pesó 1100 gr de mezcla drenante (este proceso fue el mismo para cada porcentaje de asfalto analizado), vertiéndolo en la caja metálica, la cual se coloca sobre su respectiva bandeja metálica siendo previamente forrada con papel aluminio, se pesarán inicialmente bandeja metálica más papel aluminio, después se lleva el conjunto al horno a una temperatura de 175°C durante 3 horas, pasado este tiempo se retira cada conjunto del horno una vez frío se pesa la bandeja más papel de aluminio y se continua con el cálculo del escurrimiento. En las figuras 3-4 y 3-5 se presenta el procedimiento de manera gráfica.

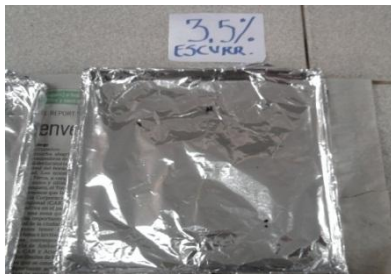
Figura 3-4. Pesaje de mezcla en cada una de las cajas a ensayar. Bandejas metálicas más papel aluminio.



Una vez transcurrido el tiempo en el horno se determina la cantidad de ligante escurrido de la mezcla sobre la caja metálica perforada, pesando lo que retiene en la bandeja metálica.

Figura 3-5. Mezcla asfáltica en el horno

Porcentaje de asfalto escurrido y mezcla retenida en la bandeja despues del ensayo.



Tracción Indirecta TSR. (I.N.V. E -725/07)

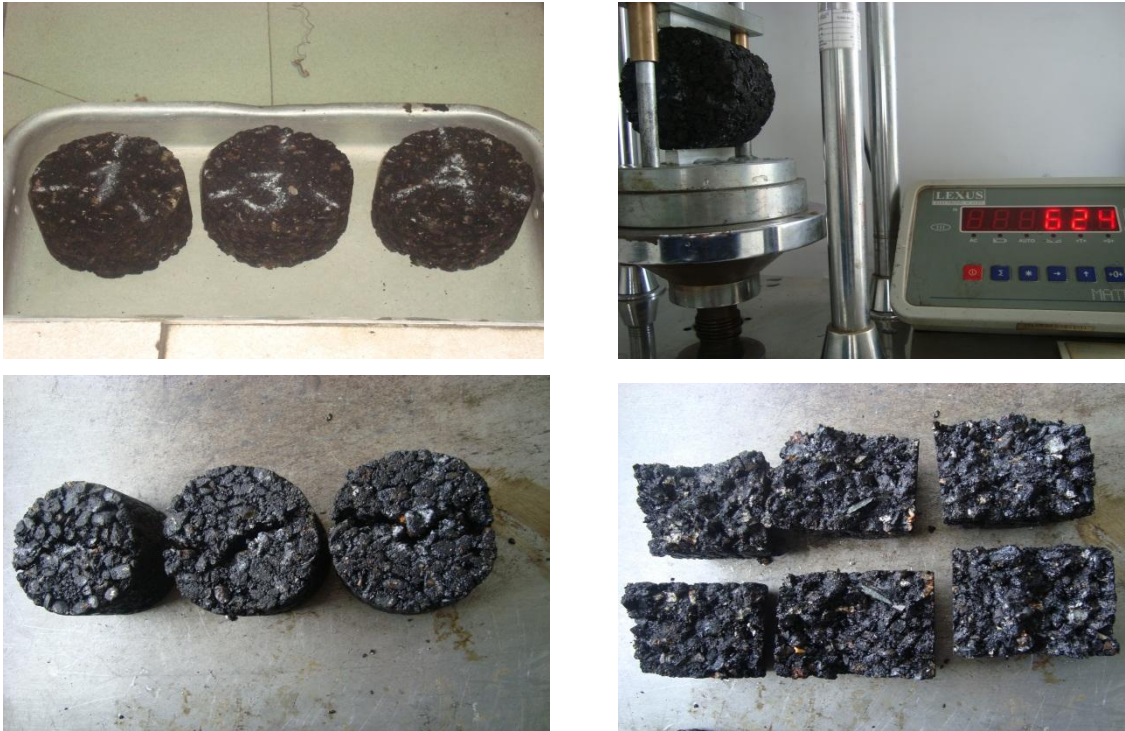
Aunque la normativa Colombiana el ensayo de tracción indirecta no se contempla en el diseño de mezclas drenantes, se decidió utilizar este ensayo para observar su aplicabilidad. Según (Rebollo; Gonzales; Botasso, 2002), este ensayo permite obtener el porcentaje de ligante óptimo para una mezcla drenante de manera simple y rápida). Previamente al ensayo se clasificaron las probetas en dos grupos, cada uno deberá tener un juego de briquetas de seis unidades donde los valores de las densidades y porcentajes de vacíos sean semejantes. El ensayo se dividió en dos condiciones. La primera fue en estado seco al aire a una temperatura promedio de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y la segunda en estado de inmersión.

Se dejan las briquetas de la segunda condición en un baño María por 24 horas a 60°C , evaluando de manera específica que cambios presento la probeta ante la presencia del agua a una temperatura mayor que la ambiente; en cuanto a hinchamiento evidenciados en la geometría de la briqueta y la reacción de la mezcla referido a la adherencia ligante - agregado, si se presenta disgregación de la mezcla y/o perdida de la compacidad de la mezcla.

A pesar de seguir la normatividad se encontró dificultad al saturar la briqueta, mantenerla saturada en un 100% no es posible por el porcentaje de vacíos tan altos ($20 \pm 0,3\%$), valor que influirá según el procedimiento descrito en INV E- 725-07 del Instituto Nacional de Vías, por el hinchamiento generado en la probeta al ser sometida a inmersión, en tanto es indispensable tener en cuenta esta observación para ser evaluada con mayor precisión en una futura tesis de grado. Sin embargo, este ensayo permite de manera indirecta hacer un chequeo del diseño en cuanto a porcentaje de asfalto óptimo se refiere, evaluando el comportamiento de la mezcla a diferentes condiciones,

Para las briquetas obtenidas se logró tener unos vacíos de aire (esto referido según norma I.N.V. E – 736-07 inciso 2.1), del 18 al 20%. En la Figura 3-6. Se muestra el procedimiento de manera gráfica y la forma de falla de las briquetas para tracción en inmersión.

Figura 3-6: Tracción en inmersión. Se observa una falla orientada éntrelos agregados



Modulo dinámico. (I.N. V. E – 754-07)

Los parámetros de ensayo utilizados para módulo dinámico según norma INV E- 754/07 fueron; temperaturas de 5°C, 25°C y 40°C para unas frecuencias de 1, 4, 10 y 16 Hz por briqueta por porcentaje de asfalto.

La finalidad de estos parámetros es poder analizar el comportamiento de la mezcla a diferentes porcentajes de asfalto, temperaturas y frecuencias para luego compararlas con datos obtenidos de mezclas densas realizadas en Colombia para capa de rodadura.

El comportamiento de las mezclas drenantes para diferentes frecuencias y temperaturas permitirán evaluar las ventajas y desventajas de este tipo de mezclas en capa de rodadura

3.2 Caracterización hidráulica

Con el fin de analizar la permeabilidad de las muestras de mezclas asfálticas se diseñó e implemento un equipo de permeabilidad de cabeza constante

Determinando previamente el porcentaje de vacíos, se escogieron cinco (5) briquetas disponibles por cada porcentaje de asfalto, tres (3) de ellas, con un porcentaje de vacíos semejante, dejando un stock para ensayos de verificación. En esta investigación solo se reporta el análisis del medio poroso utilizando el ensayo de permeabilidad de cabeza constante el cual aplica para gravas y arenas tal como lo indica Das (2006).

Características del equipo

El equipo diseñado para este ensayo fue construido específicamente para esta investigación, puesto que no existía en el laboratorio de la Universidad Nacional un equipo que se adaptara para el medio poroso a evaluar.

El equipo consiste en:

- (3) Celdas de acrílico transparente con un diámetro interno de: 12,00 cm esta dimensión final corresponde al diámetro obtenido por el tipo de acrílico que se pudo encontrar en el mercado, siendo un centímetro mayor que el diseño final.
- Piezómetros (6); dos por celda, el primero registra la carga hidráulica de la entrada del agua al medio poroso y el piezómetro de salida registra la pérdida generada en el medio. Diámetro interno de ½"
- (1) Tanque que surte el agua al sistema. Capacidad de 5 litros.
- (1) Probeta de 1000ml graduada.
- (1) Reglilla medidora metálica hasta una altura de 2.5m
- (1) Base de soporte en acero para todo el sistema.
- (1) Cronómetro.

En la Figura 3-7. Se muestra el equipo de permeabilidad. En el anexo D se encuentran los dos planos diseñados a lo largo de la investigación donde:

- Formato 1 corresponde al primer modelo diseñado este modelo vario de acuerdo a los ajustes obtenidos por materiales disponibles en el mercado como es el caso del acrílico utilizado en las celda.
- Formato 2 corresponde al último modelo diseñado para montaje del ensayo de permeabilidad.

En estos planos se puede detallar sus dimensiones y observaciones respectivas, en la figura 3-7 se puede observar el equipo de permeabilidad final que se utilizó.

Figura 3-7: Equipo de permeabilidad.



Se aclara que este equipo fue utilizado por el estudiante Luis Orlando Terreros quien adelanta la tesis de grado que lleva por título “Evaluación de modelos para el cálculo de la conductividad hidráulica en mezclas asfálticas drenantes fabricadas en laboratorio”, quien en compañía de la autora de esta investigación formo parte del equipo de apoyo en la ejecución de los montajes y funcionamiento del ensayo.

Método de cabeza constante

Este método consiste en someter el medio poroso a una carga hidráulica constante, tomando como referente el tiempo que demore en pasar a través del mismo. Para efectos del ensayo se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones y cuidados.

- Para evitar el problema de flujo en la interferencia muestra-molde o zona de frontera, se impermeabilizaron las caras laterales de la briqueta con parafina y sobre esta se adecuo según su grosor una membrana de látex,
- En los bordes de confinamiento del medio poroso se instaló según fuera el caso, un sello tanto en la entrada como en la salida del mismo, forrándolo con la membrana de látex, por último se adecua una capa de plastilina entre el borde de la briqueta y la pared de la celda acrílica para garantizar de esta forma que el

agua pase por el medio poroso y no por el contacto celda - molde, este procedimiento se optó para el desarrollo del ensayo de permeabilidad, después de generar varias formas de impermeabilización de frontera y de montaje fallidas.

Para cada mezcla drenante obtenida en laboratorio se fabricaron 5 probetas escogiendo tres con especificaciones geométricas y porcentajes de vacíos semejantes a las que se les programó el ensayo de permeabilidad por el método de cabeza o carga constante, con este ensayo, se logra medir la conductividad hidráulica y estimar de esta forma la permeabilidad del medio poroso.

Para el montaje y ejecución del ensayo se realizaron diferentes alternativas a saber:

- **Las primeras alternativas de impermeabilización de frontera y de montaje del ensayo.** Se utilizaron diferentes epóxicos, geotextiles y membranas de latex de diferente espesor para la impermeabilización de la cara lateral de la probeta, pero con los dos primeros no fueron efectivos porque no se encuentra una compatibilidad con la mezcla asfáltica por lo tanto fueron rechazados del procedimiento; la tercera alternativa que si mantiene la impermeabilización es embeber la cara lateral en parafina liquida dejándola secar cada vez que se introduce generando una capa alrededor de la cara lateral con un espesor variable dado que este dependerá de las cavidades entre granos. Además en los montajes iniciales de la probeta en la celda acrílica se utilizaron canicas de vidrio como soporte de la misma con el fin de repartir de manera homogénea el agua en el medio, pero después de varios ensayos se optó por quitarlas dado que los resultados no varían en grandes proporciones. Para poder hacer el montaje de la briqueta en la celda se tiene primero que desarmar cada celda e introducir la briqueta impermeabilizada, una vez centrada entre los piezómetros de entrada y salida del agua se instala en los bordes laterales una capa de plastilina, ayudando a impermeabilizar más las fronteras. En la Figura 3-8 se muestra las primeras alternativas

Figura 3-8: Primeras alternativas de impermeabilización de frontera y montaje del ensayo



Última alternativa para el montaje y la impermeabilización de frontera del medio poroso.

- a) Para la impermeabilización de frontera se mantiene la parafina de los laterales de la briqueta con un espeso variable tal como se indicó en la primera alternativa.
- b) Se envuelve la frontera con una membrana de látex de 1mm y se instala sellos en la entrada y en la salida de la briqueta forrándolos con la membrana de látex, se envuelve con cinta transparente para dejar fijo los sellos y la membrana.

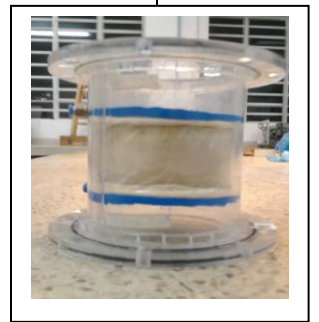
- c) Para introducir la briqueta se aplica una pequeña película de vaselina en el forro de los sellos, evitando así forzar el montaje de impermeabilización.
- d) Una vez centrado el medio poroso en la celda se introduce una capa de plastilina entre la celda y la briqueta logrando la impermeabilización de los laterales entre la briqueta y la celda.
- e) Se abren la entrada del agua para saturar la muestra, se considera saturada una vez que los piezómetros quedan con lecturas constantes, este se logra en un tiempo de 3 a 4 horas.

NOTA: Al sistema no se le instalo vacío con el fin de evitar problemas de confinamiento en las fronteras de la briqueta y la impermeabilización de los laterales. Se deberá tener en cuenta la importancia del presente equipo; éste fue diseñado como parte de este trabajo de investigación.

En la Figura 3-9. Se puede observar el procedimiento final del montaje de las briquetas su impermeabilización en la celda acrílica del ensayo de permeabilidad.

Los resultados de los ensayos programados para cabeza constante se pueden observar en el Capítulo 4, y en el anexo C se puede identificar los formatos generados y utilizados por porcentaje de asfalto.

Figura 3-9: Procedimiento final montaje de permeabilidad.



4. Resultados y análisis

4.1 Especificaciones técnicas del material granular.

El material granular seleccionado para el diseño de las mezclas fue suministrado por la planta Concescol y, cumple con las especificaciones asociadas a materiales empleados como mezclas asfálticas para capa de rodadura.

En esta investigación se realizó la caracterización mecánica del mismo material granular para verificar su comportamiento en mezclas asfálticas drenantes.

A continuación se presentan observaciones relacionadas con especificaciones técnicas nacionales e internacionales:

- De acuerdo con las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías 2007, el material granular cumple con la mayoría de las especificaciones, excepto con los índices de alargamiento y aplanamiento para los tráficos NT2 y NT3 siendo 10% el valor máximo y, el obtenido fue de 19% para alargamiento y 14% para aplanamiento.
- El material granular cumple los requerimientos establecidos en la especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público, para Bogotá D.C. 2011. D.C del Instituto de Desarrollo Urbano IDU.
- Al comparar los valores obtenidos de la caracterización granular con las normas Españolas (N CMT 4-05-003/08. Características de los materiales) y chilenas se observó que no cumple con los porcentajes de caras fracturadas y desgaste en la máquina de los Ángeles aclarando que en estas normas solo se reporta para el ensayo de desgaste una sola condición y es en seco generando incertidumbre en el momento de evaluar estos parámetros.

Es importante anotar que los parámetros relacionados con la forma del material granular, tales como Índices de alargamiento, aplanamiento caras fracturadas y desgaste, pueden influir en el desgaste que sufre la muestra al ser sometida a una carga cíclica lo cual será proporcional a la rigidez y resistencia a la deformación permanente (García, Rojo, 2005).

En la tabla 4-1 presenta un resumen de la caracterización del material granulara para las diferentes normatividades.

Tabla 4-1: Comparaciones de la caracterización granular.

Norma	Tráfico*	Observaciones
INVIAS Tabla 400 (1-2-3) del Artículo 400.	NT-1	C cumple con las especificaciones descritas
	NT2	No cumple (NC) especificación de Índices de alargamiento y aplanamiento.
	NT-3	
IDU-ET-2007	T0-T1	C cumple con las especificaciones descritas
	T2-T3	C cumple con las especificaciones descritas
	T4-T5	C cumple con las especificaciones descritas
CHILENA	GENERAL	No cumple (NC) , Desgaste en la máquina de los Ángeles, caras fracturadas. En esta norma solo reporta una condición para desgaste no tiene en cuenta condición de inmersión. Las otras condiciones si las cumple.
ESPAÑOLA Norma 6.1.1C.	T3	No cumple (NC) , caras fracturadas
	T1-T2	No cumple (NC) , Desgaste en la máquina de los Ángeles, caras fracturadas. En esta norma solo reporta una condición para desgaste no tiene en cuenta condición de inmersión
	TOO Y TO	No cumple (NC) , Desgaste en la máquina de los Ángeles, caras fracturadas. En esta norma solo reporta una condición para desgaste no tiene en cuenta condición de inmersión

*En el Anexo E. Se especifican por norma la categorías de transito según normas.

4.2 Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas drenantes.

De las 135 probetas tipo Marshall fabricadas, se utilizaron 103 probetas para el análisis individual de cada porcentaje de asfalto. Las probetas se fabricaron con un porcentajes de vacíos entre 20+-3% y una densidad geométrica comprendida en el rango de 1,94 +- 0,1 g/cm³.

En la tabla 4-2 se resume cuantas briquetas se utilizó por ensayo y en el Anexo C, se puede identificar todas las muestras generadas en la campaña y a su vez se encuentran consignados los valores obtenidos en los ensayos programados.

Tabla 4-2. Cantidad de probetas utilizadas por ensayo programado.

Ensayo	Norma	% Asfalto	# Probetas por % de Asfalto	Total
Estabilidad y Flujo, % vacíos, Densidad Bulk	INV E-748/07 INV E -736/07	3,5%, 4.0%, 4,5%, 5.0% y 5.5%	6*	24
Cantabro en seco	INV E – 760/07		3**	17
Cantabro en húmedo	INV E – 760/07		3**	17
Tracción indirecta	INV E – 725/07		6	30
Permeabilidad	Por cabeza constante		3	15
TOTAL(Briquetas)				103

* Para los porcentajes 3,5% y 4,0% se trabajó con 4 probetas por ajuste en la gradación. Ver inciso 4.2.1

** Se utilizó cuatro probetas más para chequeo de la respuesta de las probetas al desgaste en los porcentajes de 4,5 y 5,0%.

4.2.1 Respuesta a la deformación.

Los datos de las probetas y los valores obtenidos de los ensayos de estabilidad, flujo y rícese se presentan en la tabla 4-3.

Tabla N 4-3 Resumen resultados ensayo de estabilidad

BRIQUETA	PORCENTAJE DE ASFALTO (3,5%)				PORCENTAJE DE ASFALTO (4,0%)				PORCENTAJE DE ASFALTO (4,5%)						PORCENTAJE DE ASFALTO (5,0%)						PORCENTAJE DE ASFALTO (5,5%)					
	1'	2'	3'	4'	1'	2'	3'	4'	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Estabilidad correctiva Kgf	926	805	877	924	741	1074	973	898	775	960	707	766	969	957	845	811	856	825	782	973	995	734	702	934	731	803
Flujo 0,01"	11	12	10	11	13	14	11	13	10	12,5	14	12	13	13	16	15	12	14	13	14	12	15	10	13	17	16
Flujo mm	2,8	3,0	2,5	2,8	3,2	3,6	2,8	3,3	2,5	3,2	3,6	3,0	3,3	3,2	4,1	3,8	3,0	3,6	3,2	3,4	3,0	3,8	2,5	3,3	4,3	4,1
Rice g/cm ³	2,445	2,445	2,445	2,445	2,442	2,442	2,442	2,442	2,427	2,427	2,427	2,427	2,427	2,427	2,393	2,393	2,393	2,393	2,393	2,393	2,361	2,361	2,361	2,361	2,361	2,361
Densidad Geometri. g/cm ³	1,910	1,902	1,891	1,946	1,879	1,930	1,891	1,927	1,902	1,950	1,873	1,917	1,992	1,959	1,906	1,912	1,917	1,915	1,928	1,979	1,929	1,920	1,897	1,897	1,892	1,901
Vacios (Va)%	22	22	23	20	23	21	23	21	22	20	23	21	18	19	20	20	20	20	19	17	18	19	20	20	20	19

Para cada probeta se analizó el comportamiento de la mezcla en función de las dos condiciones de diseño (densidad geométrica y porcentajes de vacíos) a continuación se presentan las figuras generadas y posteriormente el análisis respectivo por porcentaje de asfalto:

4.2.1.1 Porcentaje de asfalto de 3,5%.

En las figuras 4-1, 4-2 y 4-3 se presentan los valores obtenidos de la estabilidad correctiva y flujo en función de los porcentajes de vacíos y las densidades geométricas obtenidas por briqueta para un porcentaje de asfalto de 3,5%.

Figura 4-1: Estabilidad correctiva (Kg en función del porcentaje de vacíos (3,5%).

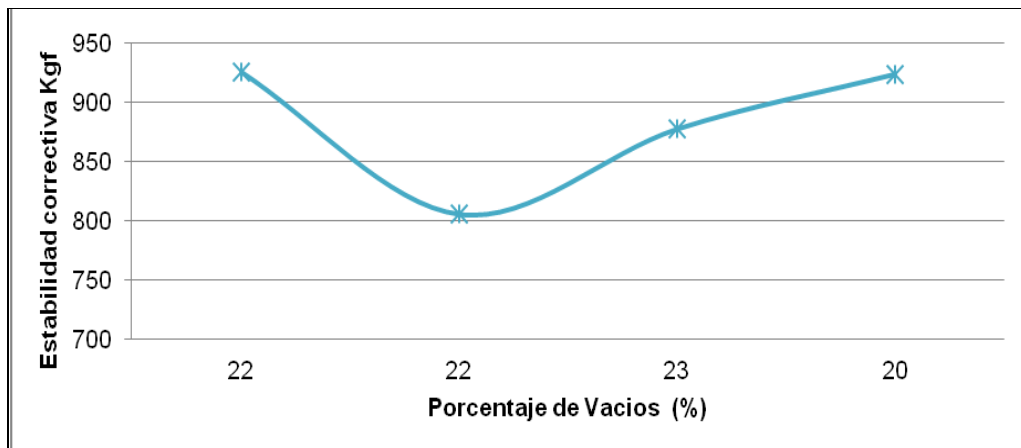


Figura 4-2: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (3,5%).

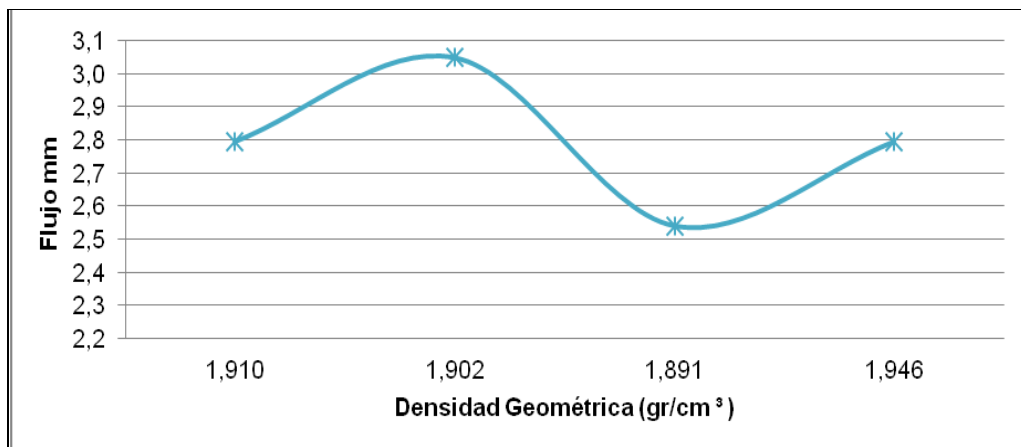
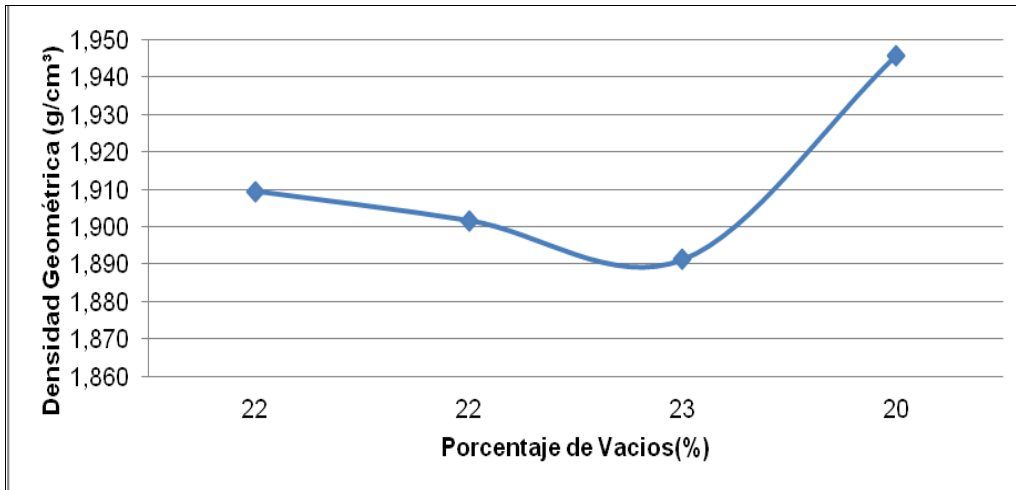


Figura 4-3: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (3,5%).



De las figuras anteriores podemos indicar lo siguiente:

- Para el mayor porcentaje de vacíos (23%), se obtuvo la menor densidad geométrica.
- No se identifica claramente cuál es la respuesta de las probetas ante el ensayo de estabilidad, como se puede evidenciar en las probetas 1' y 2' a pesar de registrar porcentajes de vacíos del 22% y densidades geométricas muy similares la variación de la estabilidad es significativa pasando de 926 kg a 805 kg.
- La respuesta de las probetas referidas al ensayo de flujo presentaron un comportamiento diferente al esperado, a mayor porcentaje de vacíos se registra el menor flujo.
- La variación presentada en el comportamiento de las probetas puede ser causada por el bajo porcentaje de asfalto. Esta afirmación se chequeará con los resultados obtenidos de los porcentajes de asfalto de 4,0% al 5,5% que se muestran a continuación.

4.2.1.2 Porcentaje de asfalto de 4,0%.

En las figuras 4-4, 4-5 y 4-6 se presentan los valores obtenidos de la estabilidad correctiva y flujo en función de los porcentajes de vacíos y las densidades geométricas obtenidas por briqueta para un porcentaje de asfalto de 4,0%.

Figura 4-4: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (4,0%).

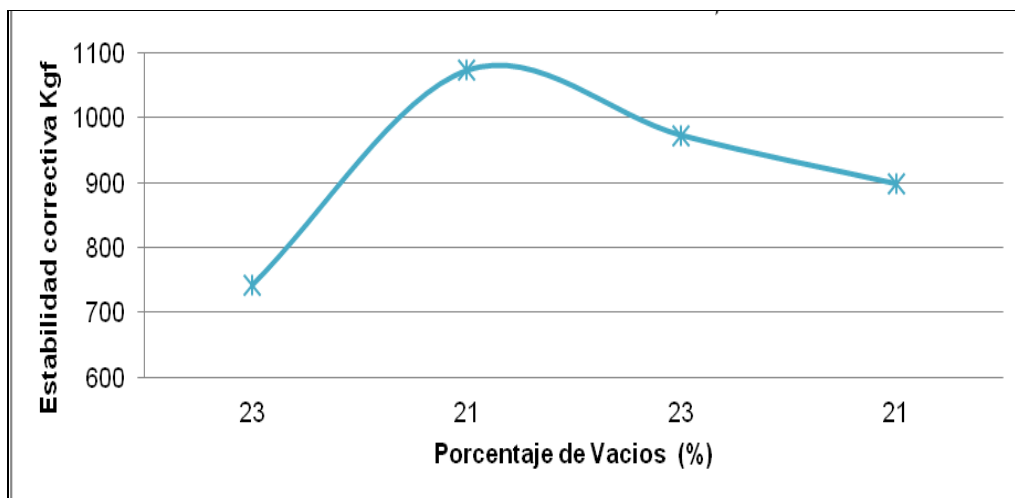


Figura 4-5: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (4,0%).

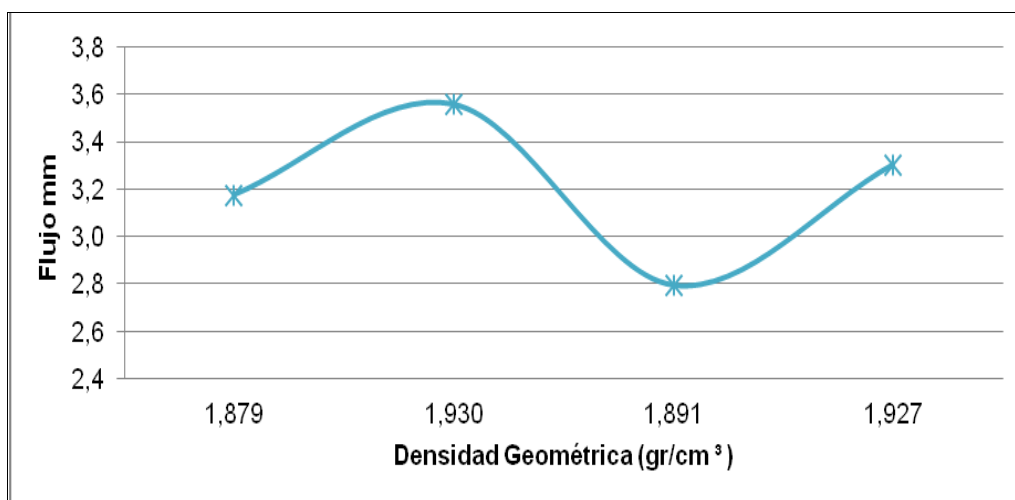
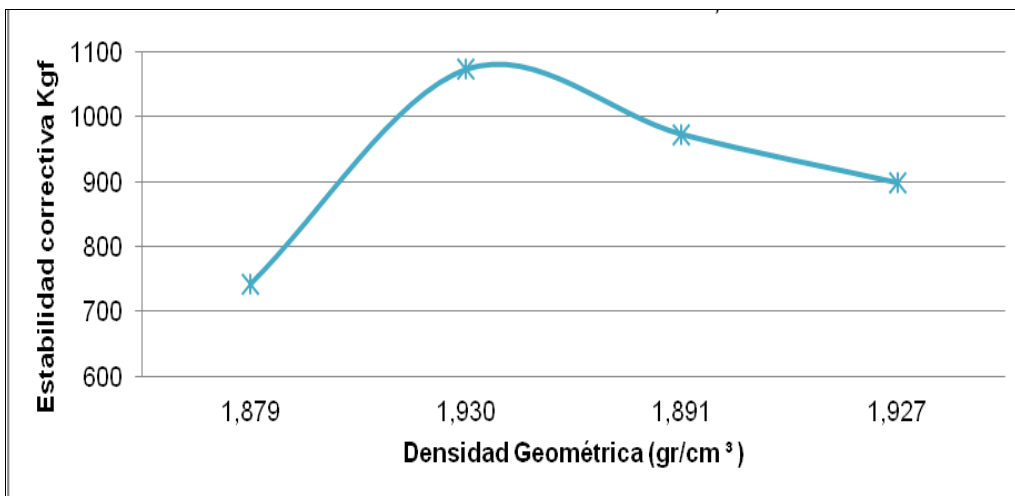


Figura 4-6: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (4,0%).



Para este porcentaje de asfalto se puede identificar mejor la respuesta de las probetas de mezcla drenante antes los ensayos de estabilidad y flujo; de las figuras anteriores se aclara lo siguiente:

- Para el mayor porcentaje de vacíos (23%), se obtuvo menores estabilidades y menores valores de flujo, este último parámetro tiene un comportamiento inverso a las mezclas asfálticas convencionales tipo densas, por lo tanto se chequeará si esta tendencia se mantiene para los siguientes análisis.

4.2.1.3 Porcentaje de vacíos de 4,5%

En las figuras 4-7, 4-8 y 4-9 se presentan los valores obtenidos de la estabilidad correctiva y flujo en función de los porcentajes de vacíos y las densidades geométricas obtenidas por briqueta para un porcentaje de asfalto de 4,5%.

Figura 4-7: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (4.5%).

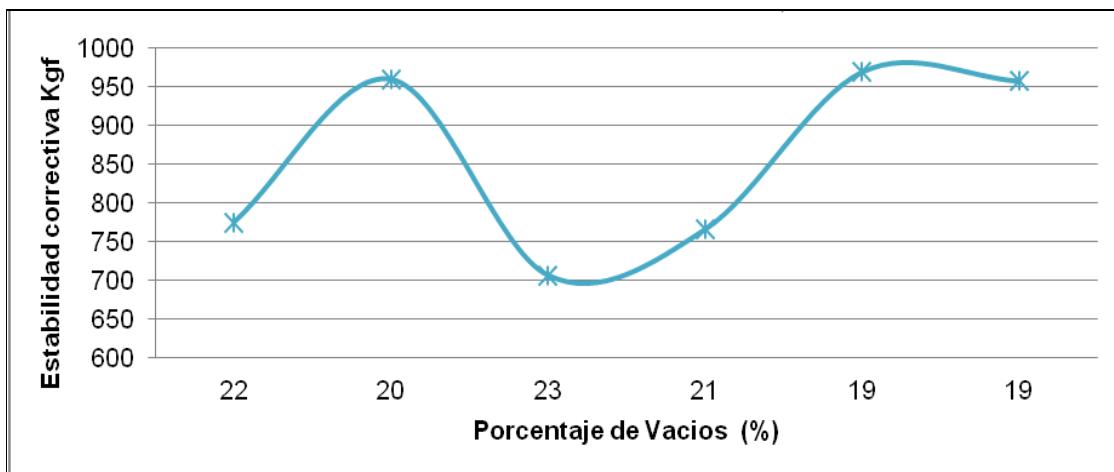


Figura 4-8: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (4,5%).

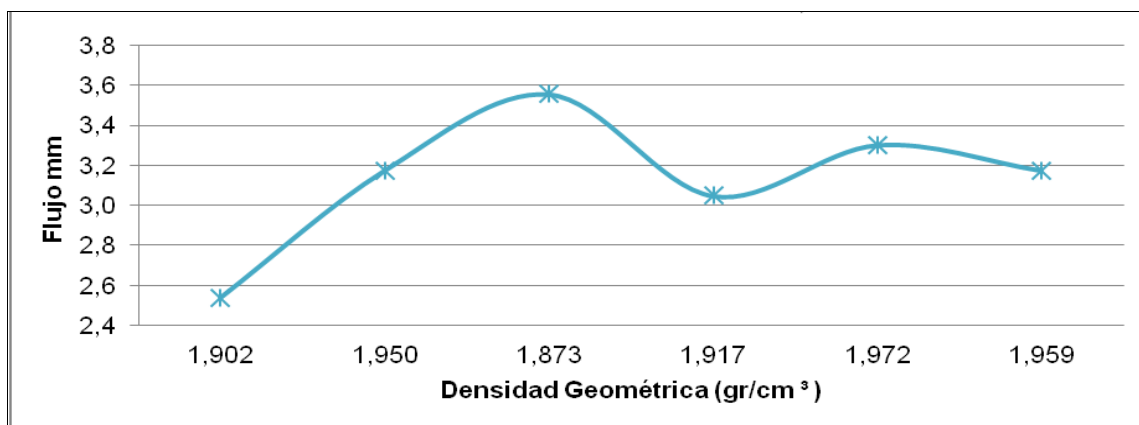
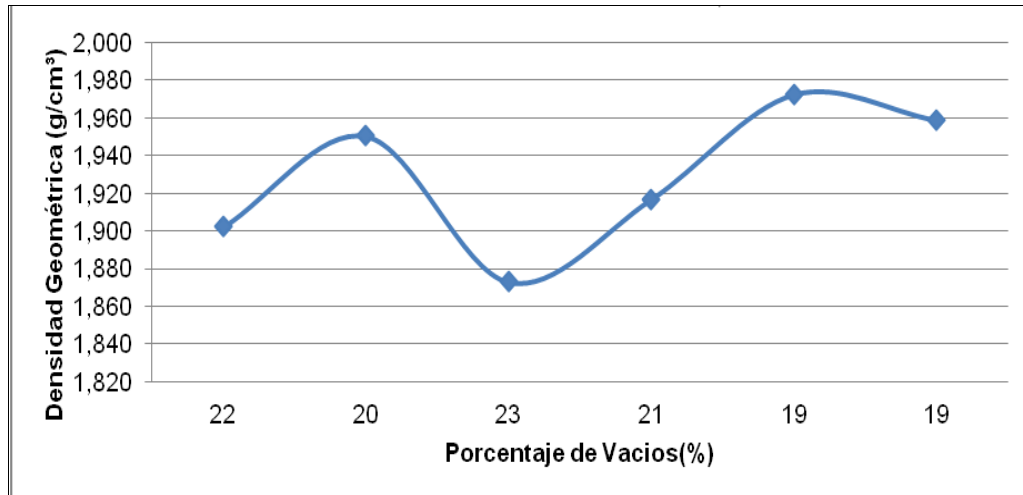


Figura 4-9: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (4,5%).



De las figuras anteriores podemos indicar lo siguiente:

- Para los menores porcentajes de vacíos (19% y 20%), correspondiente a las briquetas 2, 5 y 6 se obtuvieron los mayores valores de densidad geométrica y estabilidad, lo que a su vez la respuesta de estas probetas al realizar el ensayo de flujo fue muy similar (3,2mm) mientras que a mayor porcentaje de vacíos (23%), se presentó mayor flujo siendo consecuente con el comportamiento de las mezclas convencionales asfálticas densas.
- Para las briquetas con un porcentaje de vacíos del 22% y 21% se obtuvieron valores de estabilidad y flujos bajos (2,5 mm y 3,00 mm), este comportamiento es diferente a la tendencia general de las briquetas ensayas de porcentajes de asfalto de 3,5% y 4,5%.

4.2.1.4 Porcentaje de asfalto de 5,0%.

En las figuras 4-10, 4-11 y 4-12 se presentan los valores obtenidos de la estabilidad correctiva y flujo en función de los porcentajes de vacíos y las densidades geométricas obtenidas por briqueta para un porcentaje de asfalto de 5,0%.

Figura 4-10: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (5,0%).

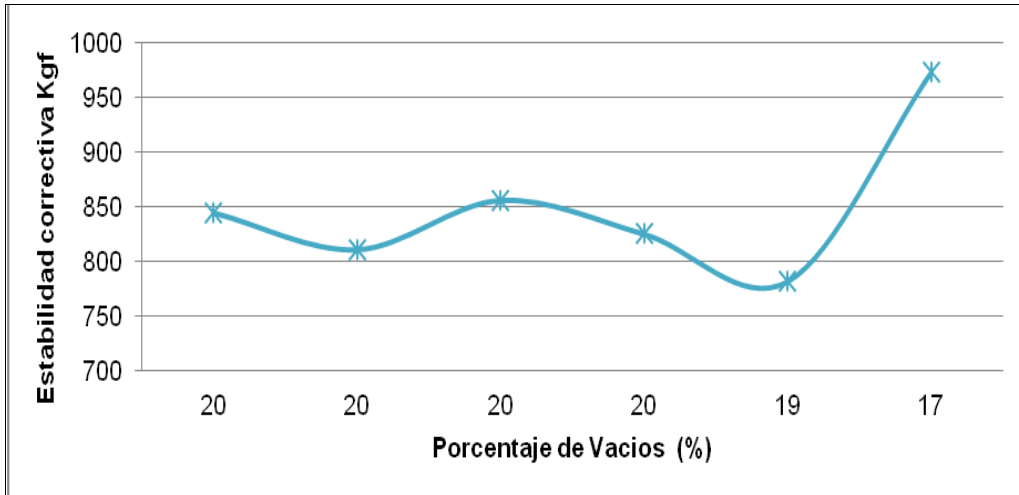


Figura 4-11: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (5,0%).

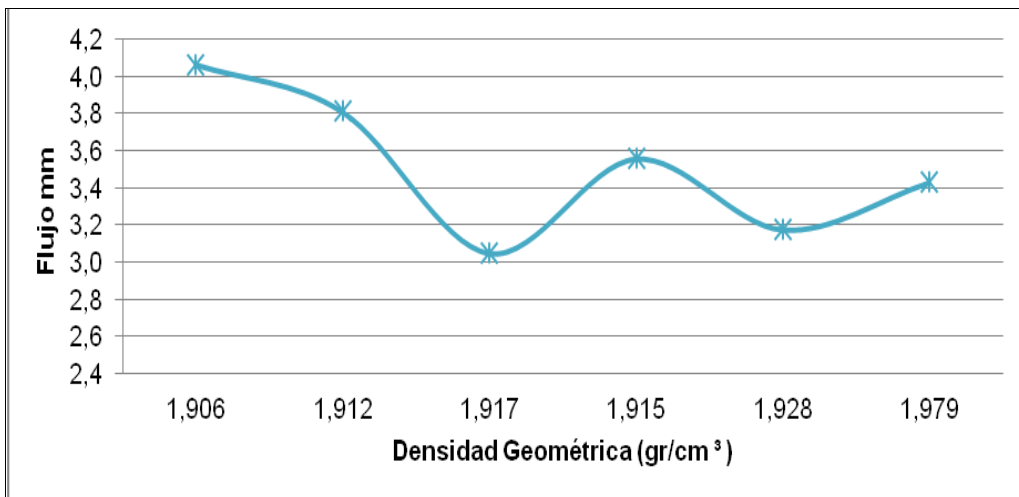
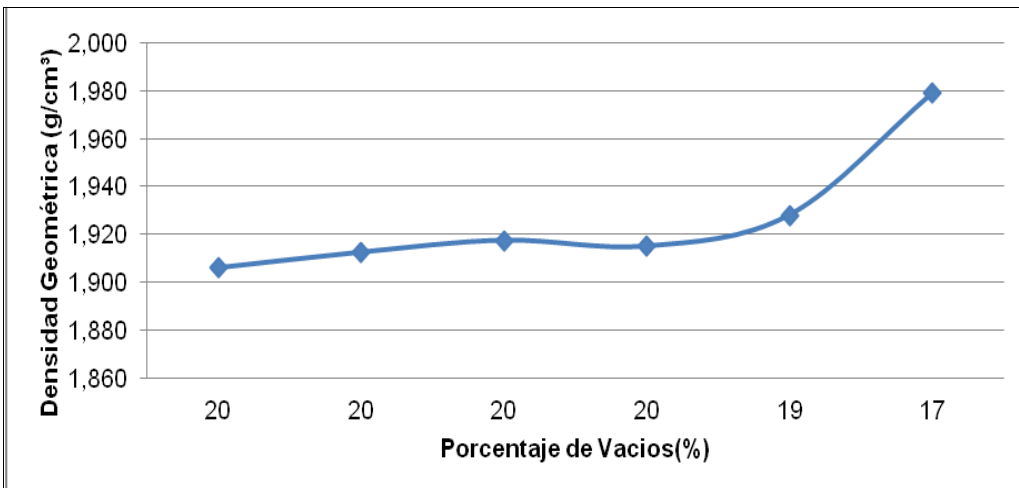


Figura 4-12: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (5,0%).



De este porcentaje de asfalto se puede identificar:

- Una mejor respuesta de las probetas ante los ensayos de estabilidad, las probetas identificadas como 1, 2, 3 y 4 registraron un 20% de vacíos con una densidad geométrica muy similar obteniendo valores de estabilidad con muy poca dispersión.
- En la probeta identificada como 6 se registró el menor porcentaje de vacíos (17%), en consecuencia se obtuvo los mayores valores de densidad geométrica y estabilidad, valores que están en función del peso y el espesor de la probeta, de esta manera se puede identificar la gran influencia que tiene estas variables en los resultados y por lo tanto en el comportamiento de la probeta ante cualquier ensayo.
- Para este porcentaje de asfalto las respuestas de las probetas ante el ensayo de flujo presentaron valores muy dispersos registrándose para las probetas identificadas como 1, 2, 3 ,4 valores comprendidos entre 3,0 y 4,1 mm a pesar de tener entre sí densidades geométricas y porcentaje de vacíos similares.
- A partir de este porcentaje de asfalto se observa una disminución en el peso de las probetas condición que afectará directamente el espesor y consecuentemente el comportamiento de la probeta ante los ensayos de estabilidad y flujo, esta afirmación se corrobora con el análisis realizado para el 5,5% que se presentan a continuación.

4.2.1.5 Porcentaje de asfalto de 5,5%.

En las figuras 4-13, 4-14 y 4-15 se presentan los valores obtenidos de la estabilidad correctiva y flujo en función de los porcentajes de vacíos y las densidades geométricas obtenidas por briqueta para un porcentaje de asfalto de 5,5%.

Figura 4-13: Estabilidad correctiva (Kgf) en función del porcentaje de vacíos (5,5%).

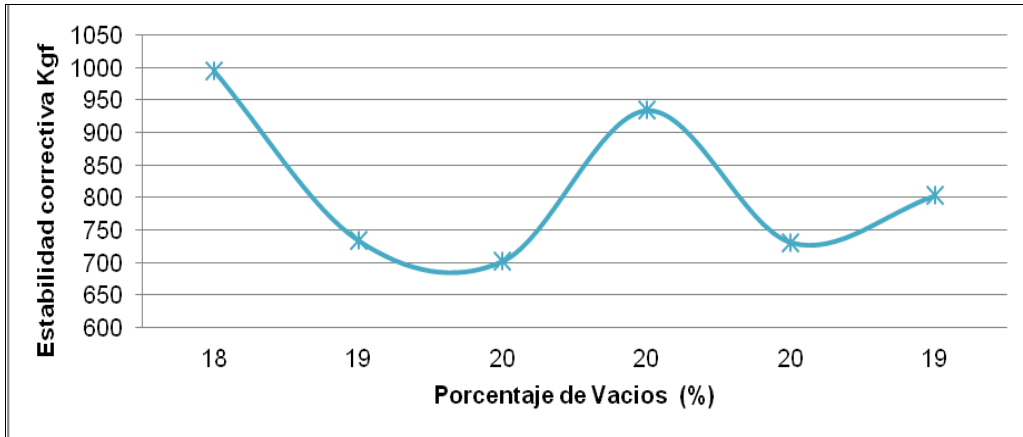


Figura 4-14: Valores de flujo en función de la densidad geométrica (5,5%).

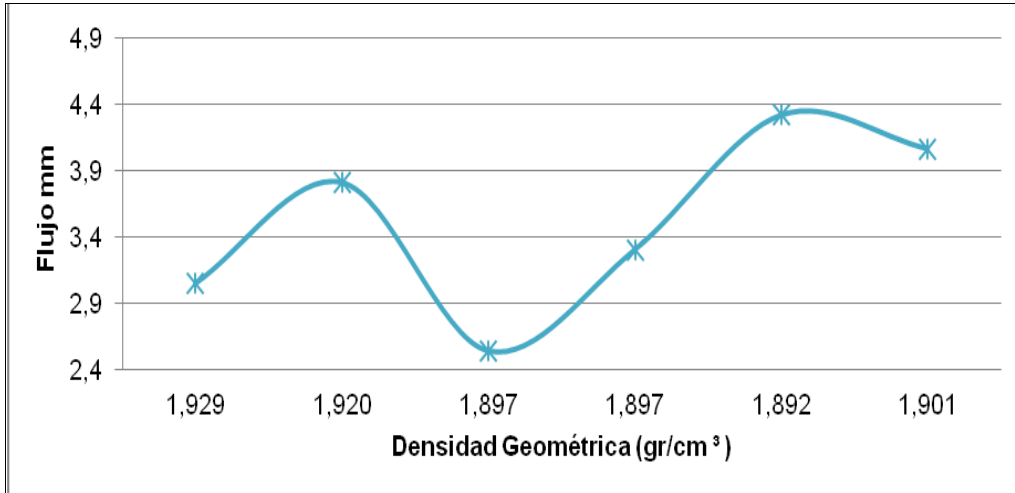
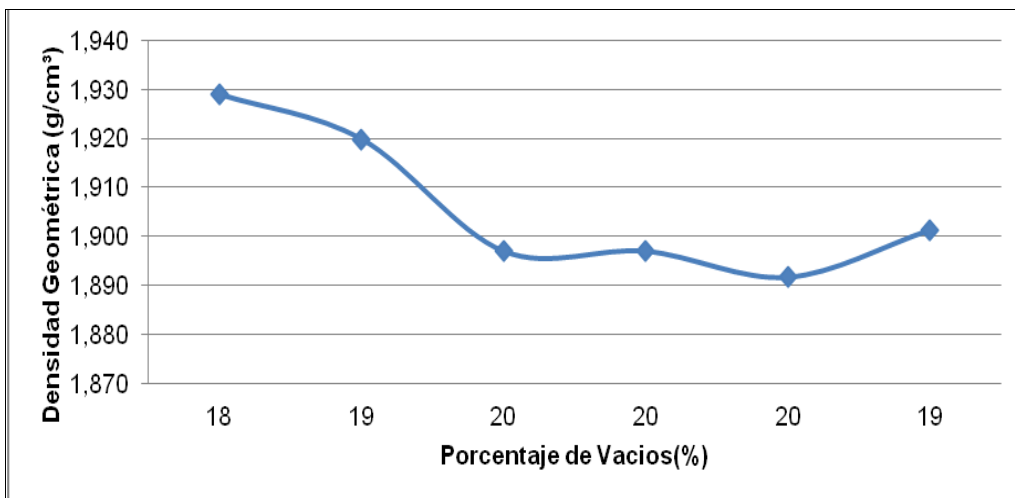


Figura 4-15: Densidad Geométrica en función de los porcentajes de vacíos (5,5%).



Para este porcentaje de asfalto se identifica una mayor dispersión en los datos debido a:

- Los pesos de las probetas obtenidas para este porcentaje de asfalto son menores aproximadamente en un 12 % en relación, con los otros porcentajes de asfalto los cuales registraron pesos comprendidos entre 135+-9 g, influyendo directamente en el espesor y por lo tanto en las densidades geométricas y porcentajes de vacíos.
- Las probetas identificadas como 3,4,5 a pesar de mantener un porcentaje de vacíos (20%) y densidades geométricas similares, presentaron una dispersión muy marcada en los valores obtenidos de los ensayos de estabilidad y flujo
- En cuanto a las probetas identificadas como 1, 2 y 6 las cuales registraron porcentajes de vacíos de 18% y 19% respectivamente, presentaron de igual manera una dispersión en los valores obtenidos de los ensayos de estabilidad y flujo.
- En consecuencia, la respuesta de las probetas ante los ensayos de estabilidad y flujo para este porcentaje de asfalto no permiten identificar claramente el comportamiento de la mezcla asfáltica drenante.

4.2.1.6 Observaciones generales de la respuesta de estabilidad y flujo.

Una vez analizados los datos obtenidos antes las respuestas de cada probeta ensayada para cada porcentaje de asfalto se generan las siguientes observaciones generales:

1. En los cinco porcentajes de asfalto analizados se presentaron las menores densidades geométricas para los mayores porcentajes de vacíos. Sin embargo se evidencio que en los porcentajes de 5,0% y 5,5% de asfalto el peso de la probeta disminuyo notoriamente influyendo en el espesor y densidades geométricas, viendose reflejado en la variación de la respuesta de las probetas ante los ensayos de estabilidad y flujo.
2. La tendencia de la estabilidad en los porcentajes de 4,0% y 4,5% de asfalto, fue generada debido a que sus mayores valores obtenidos están registrados para los

menores porcentajes de vacíos, que están entre 19% y 21%, obteniendo un rango de trabajo entre 898 y 1074 kgf. La respuesta de las probetas ante el ensayo de flujo marco una variación muy pequeña lo que se puede asumir como similar obteniendo un rango entre 3,2 y 3,6 mm. En consecuencia se puede indicar que las probetas referidas a los porcentajes de asfalto de 4,0% y 4,5% fueron las que mejor respuesta obtuvieron ante los ensayos de estabilidad y flujo.

3. Las probetas ensayadas con el menor porcentaje de asfalto referido al 3,5% presentaron una gran variación en las respuestas de estabilidad y flujo lo que a su vez se pudo evidenciar con la probetas identificadas como 1´ y 3´ que a pesar de tener los mayores porcentajes de vacíos (22 y 23%), obtuvieron valores de estabilidad superiores y valores de flujo menores, comportamiento que no es consecuente con lo esperado.

Teniendo en cuenta el análisis de deformación (estabilidad y flujo) en función de los porcentajes de asfalto y la influencia de los porcentajes de vacíos que podrían afectar el desempeño de la mezcla en términos de ahuellamiento en la vida útil de la estructura, es establece como una primera aproximación que el contenido de asfalto óptimo de la mezcla asfáltica drenante estaría comprendido en un rango entre 4,0 y 4,5%

4.2.2 Comportamiento al Desgaste (metodología cántabro)

De acuerdo con los antecedentes estudiados, los porcentajes de desgaste obtenidos por el método del Cántabro después de incorporar elastómeros en mezclas drenantes, tuvieron una significativa disminución en el desgaste de las briquetas tal como lo indica (Riaño, Rivas, 2003). En su tesis de grado "Empleo de elastómeros para mejorar las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas drenantes". 2003.

Esta observación se evidencia en la disminución obtenida del desgaste entre los porcentajes de asfalto estudiados, tanto para el estado seco como en estado de inmersión. Sin embargo, por otra parte el porcentaje de vacíos disminuye al aumentar el porcentaje de asfalto (5,5%), y se pierde el objetivo del trabajo de garantizar un porcentaje de vacíos entre 20+-3% para considerar la mezcla como drenante.

A continuación se presentan para cada porcentaje de asfalto los datos obtenidos de las probetas con las que se realizó el ensayo de desgaste, posteriormente se define bajo que

parámetros se ejecutó el análisis. En el anexo C se puede consultar en el formato denominado como “Informe de laboratorio. La prueba de tracción indirecta T.S.R. (I.N.V. E-725/07) los datos geométricos de cada probeta y los resultados del ensayo por porcentaje de asfalto.

Comportamiento al desgaste para un porcentaje de 3,5% de asfalto.

Para el análisis del comportamiento al desgaste en este porcentaje de asfalto se tuvo en cuenta las briquetas denominadas como 1 y 2 en el estado húmedo y las briquetas 5 y 6 para el estado seco. Las cuales poseen características geométricas similares y a su vez porcentajes de desgaste semejantes.

En la tabla 4-4 se observa los datos de las probetas escogidas para el análisis y el valor del desgaste obtenido por condición.

Tabla 4-4: Resultados del ensayo de desgaste para 3,5%.

Porcentaje de asfalto (%)	3,50%			
	Húmedo		Seco	
Estado del ensayo				
Briqueta N°	1	2	5	6
%Desgaste	35	47	32	33
Promedios	41,4		32,7	
Relación inmersión/ seco	126,75			
Densidad Geométrica g/cm ³ (a)	1,947	1,956	1,948	1,963
Raice g/cm ³ (b)	2,445			
Vacios (Va)% = 100*(1- (a/b))	20,38	20,00	20,34	19,72

Los valores de desgaste obtenidos en las probetas utilizando la metodología del cántabro para 3,5% son:

- Desgaste en estado húmedo = 41,4%
- Desgaste en estado seco = 32,7%

Comportamiento al desgaste para un porcentaje de 4,0% de asfalto.

En cuanto al desarrollo de la evaluación del desgaste para este porcentaje de asfalto en cada condición de ensayo (húmedo o seco), se agrupo las probetas que mantienen características similares entre porcentaje de vacíos y densidad geométrica desechando

los resultados de desgaste dispersos, como fue para este caso la probeta 5 de la condición de ensayo seco, mientras que en condición húmeda se tiene en cuenta los tres valores obtenidos por cumplir con las características similares. En la tabla 4-5 se observa los datos de las probetas escogidas para el análisis y el valor del desgaste obtenido por condición.

Tabla 4-5: Resultados del ensayo de desgaste para 4,00%.

Porcentaje de asfalto (%)	4,00%				
Estado del ensayo	Húmedo			Seco	
Briqueta N°	1	2	3	4	6
%Desgaste	20	21	28	22	16
Promedios	23,3			18,9	
Relación inmersión/ seco	122,36				
Densidad Geométrica g/cm ³ (a)	1,946	1,948	1,945	1,928	1,935
Raice g/cm ³ (b)	2,442				
Vacios (Va)% = 100*(1- (a/b))	20,31	20,24	20,35	21,03	20,77

Los valores de desgaste obtenidos en las probetas utilizando la metodología del cántabro para 4,0% son:

- Desgaste en estado húmedo = 23,3%
- Desgaste en estado seco = 18,9%

Comportamiento al desgaste para un porcentaje de 4,5% de asfalto.

Es importante anotar que para este porcentaje de asfalto se obtuvieron valores bastantes dispersos, por lo cual se fabricaron nuevas probetas identificadas como 1´ y 1´´ para validar los resultados obtenidos. Las cuales permitieron identificar mejor la tendencia de los resultados, tomando los valores al desgaste de las probetas 1´ y 3 para el estado del ensayo en húmedo y las probetas identificadas como 1´´ y 6 para el estado del ensayo en seco, los cuales se pueden apreciar en la tabla 4-6.

Tabla 4-6: Resultados del ensayo de desgaste para 4,5%.

Porcentaje de asfalto (%)	4,50%			
	Húmedo		Seco	
Estado del ensayo				
Briqueta N°	1´	3	1´´	6
%Desgaste	28	22	18	19
Promedios	24,6		18,5	
Relación inmersión/ seco	133,4			
Densidad Geométrica g/cm ³ (a)	1,903	1,925	1,900	1,893
Raice g/cm ³ (b)	2,427			
Vacíos (Va)% = 100*(1- (a/b))	21,60	20,68	21,71	22,00

Los valores de desgaste obtenidos en las probetas utilizando la metodología del cántabro para 4,5% son:

- Desgaste en estado húmedo = 24,6%
- Desgaste en estado seco = 18,5%

Comportamiento al desgaste para un porcentaje de 5,0% de asfalto.

En este porcentaje de asfalto al igual que para el 4,0% de asfalto, se obtuvo una variación al desgaste disperso. Por lo anterior, se programó un ensayo más por condición de ensayo, con las probetas clasificadas como 1´ y 1´´, los resultados se pueden apreciar en la tabla 4-7.

Tabla 4-7: Resultados del ensayo de desgaste para 5,0% de asfalto.

Porcentaje de asfalto (%)	5,00%					
	Húmedo			Seco		
Estado del ensayo						
Briqueta N°	1	1´	3	1´´	5	6
%Desgaste	23	21	19	14	28	23
Promedios	21,2			21,6		
Relación inmersión/ seco	98,2					
Densidad Geométrica g/cm ³ (a)	1,924	1,895	1,903	1,896	1,909	1,921
Raice g/cm ³ (b)	2,393					
Vacíos (Va)% = 100*(1- (a/b))	19,58	20,82	20,47	20,76	20,24	19,74

Los valores de desgaste obtenidos en las probetas utilizando la metodología del cántabro para 5,0% de asfalto son:

- Desgaste en estado húmedo = 21,2%
- Desgaste en estado seco = 21,6%

Comportamiento al desgaste para un porcentaje de 5,5% de asfalto.

Para este porcentaje de asfalto, se eliminó los valores de las probetas clasificadas como; 1 para la condición del ensayo en húmedo y la probeta 6 para la condición del ensayo en seco. Las probetas evaluadas y los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla 4-8.

Tabla 4-8: Resultados del ensayo de desgaste para 5,5% de asfalto.

Porcentaje de asfalto (%)	5,50%			
	Húmedo		Seco	
Estado del ensayo				
Briqueta N°	2	3	4	5
%Desgaste	19	24	21	20
Promedios	21,4		20,6	
Relación inmersión/ seco	104,0			
Densidad Geométrica g/cm ³ (a)	1,941	1,890	1,890	1,850
Raice g/cm ³ (b)				
Vacios (Va)% = 100*(1- (a/b))	17,81	19,95	19,94	21,65

Los valores de desgaste obtenidos en las probetas utilizando la metodología del cántabro para 5,0% de asfalto son:

- Desgaste en estado húmedo = 21,4%
- Desgaste en estado seco = 20,6%

Con todos los valores de desgaste obtenidos en el análisis anterior, se presentan las figuras 4-16, 4-17, 4-18 y 4-19 donde se puede identificar por porcentaje de asfalto el comportamiento al desgaste para las dos condiciones de ensayo (inmersión o en seco), posteriormente se presentan la relación entre densidad geométrica y desgaste para los diferentes porcentajes de asfalto.

Figura 4-16: Análisis del desgaste. En condiciones secas y húmedas para los diferentes porcentajes de asfalto usando el ensayo de cántabro.

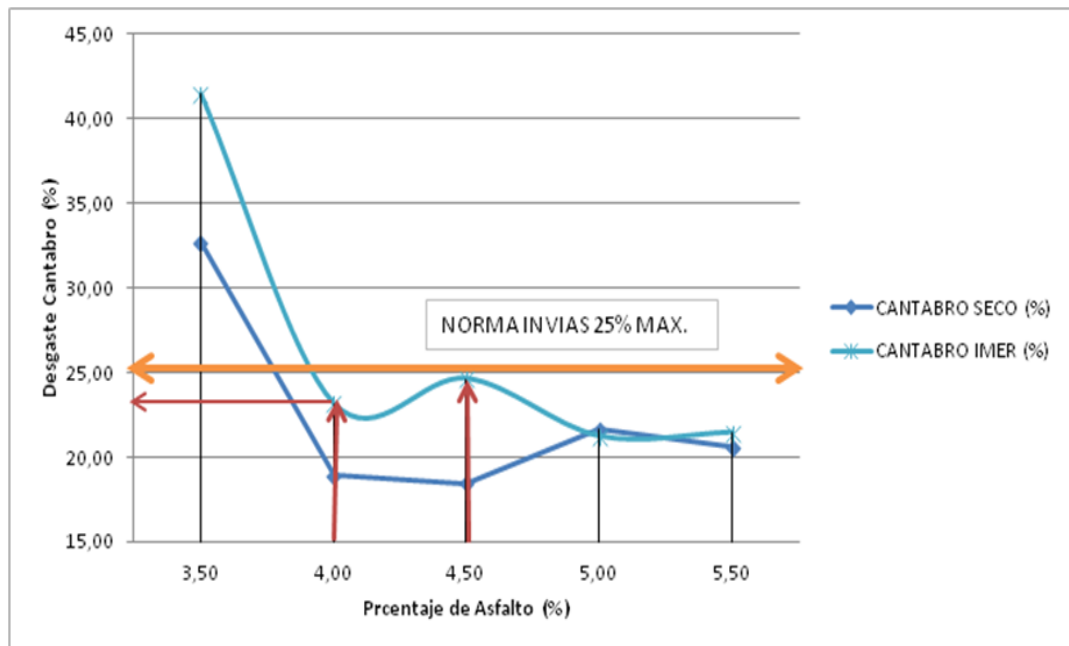


Figura 4-17: Variación de densidad geométrica en función de la relación de vacíos y el porcentaje de asfalto en condición seca.

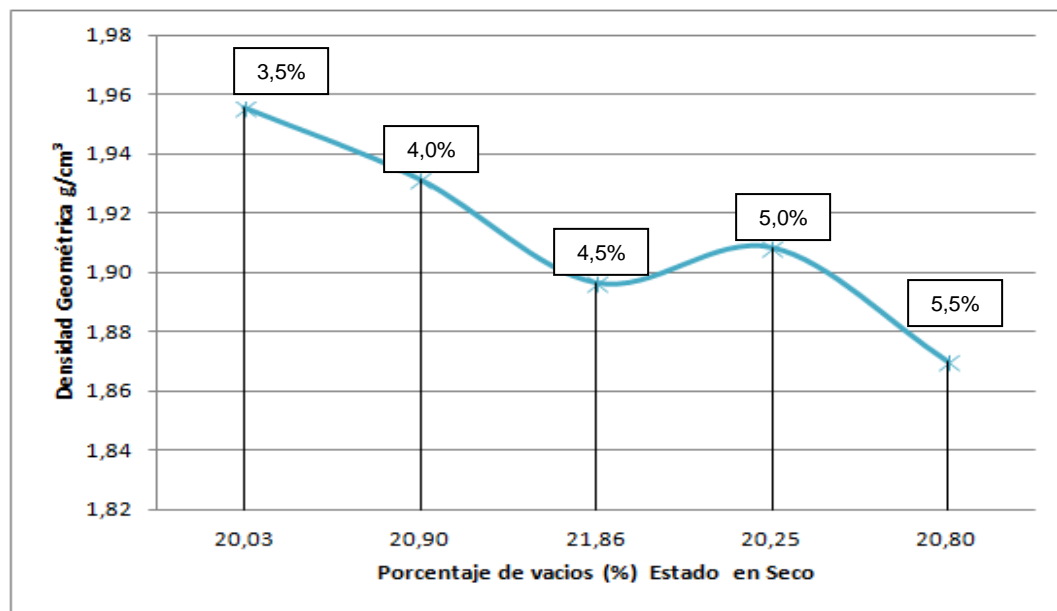


Figura 4-18: Variación de la densidad geométrica en función de la relación de vacíos y el porcentaje de asfalto, en condición de inmersión.

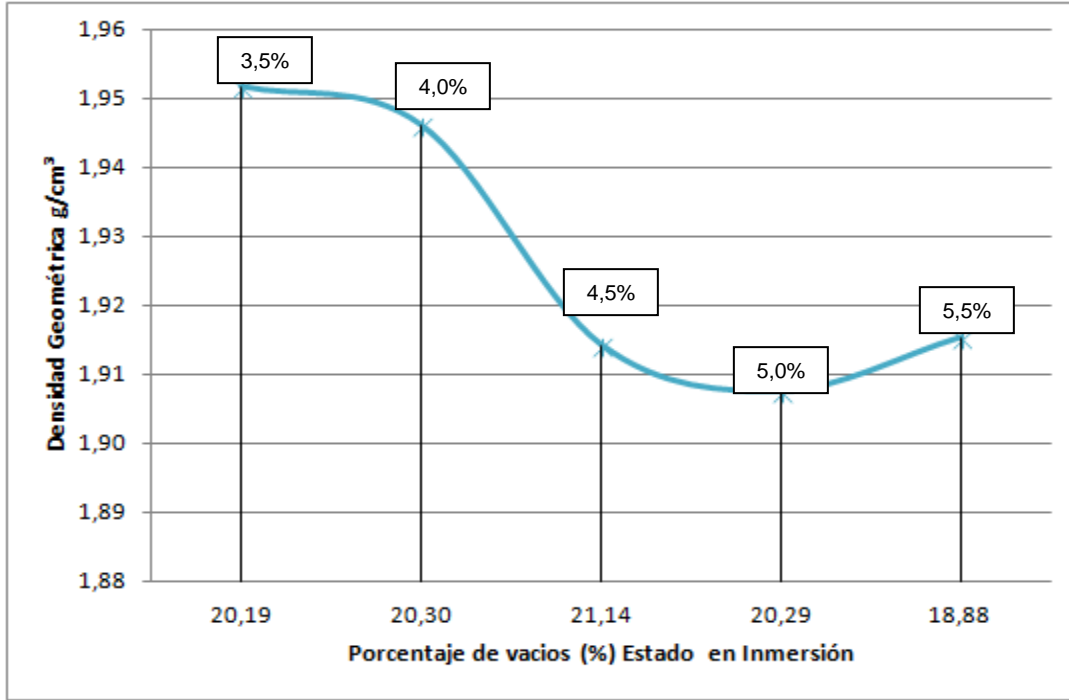
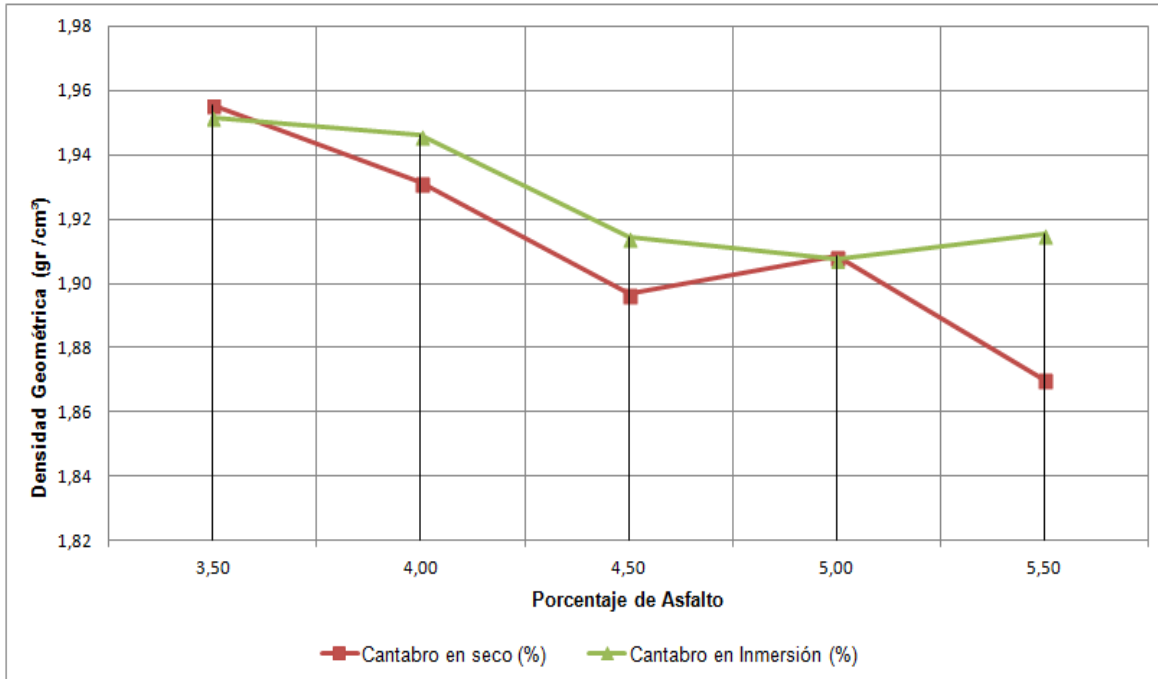


Figura 4-19: Comparación densidad geométrica en función de la relación de vacíos y el porcentaje de asfalto, en condición seca y de inmersión



1. **Condición del ensayo en seco:** Para los diferentes porcentajes de asfalto se obtuvieron valores de desgaste entre 18,50% y 32,7%, observando que el mayor valor (32.7%) de desgaste corresponde al menor porcentaje de asfalto (3,5%), indicando que la mezcla asfáltica tiene una adherencia muy baja y por lo tanto es más sensible al proceso de abrasión. Los menores valores de desgaste (18.5% y 18,9%), están asociados a un rango de porcentajes de asfalto entre 4.0% y 4,5% indicando que, para esta condición del ensayo el porcentaje óptimo de asfalto debería estar entre estos valores.
2. **Condición del ensayo en inmersión:** En esta condición se obtuvo valores de desgaste comprendidos entre 21,2% y 41,4%, el mayor valor del desgaste (41.4%) le corresponde al menor valor de asfalto (3,5%), siendo equivalente con el comportamiento al desgaste en seco. Mientras que los menores valores de desgaste (21.2% y 21.4%) están asociados a los porcentajes de 5,0% y 5.5% de asfalto. Valores que cumplen con la especificación máxima del INVIAS al no ser superior del 40% en inmersión.
3. La especificación del Instituto Nacional de Vías en el Artículo 453-07, indica que el desgaste por el método de cántabro en seco no debe ser superior al 25%. Con esta condición se estaría cumpliendo para las dos condiciones del ensayo excepto el porcentaje de asfalto de 3,5%.
4. Los desgastes encontrados son relativamente altos en relación a otras experiencias (Rodríguez, 2005), quien reporta valores con dos polímeros por debajo del 15%, mientras que en esta investigación el incremento en el desgaste fue de un 30% para las probetas sometidas a inmersión y del 23% para las probetas en estado seco. Estos valores pueden estar relacionados con el no cumplimiento de algunos parámetros de forma como lo son alargamiento, aplanamiento y caras fracturadas según sea el caso, generando una razón más, para continuar en la investigación del mejoramiento en la cohesión asfalto-agregado y, su resistencia a disgregarse por esfuerzos tangenciales.

4.2.3 Respuesta a la tracción indirecta.

Con el fin de evaluar la degradación de la mezcla en términos de fatiga es necesario analizar el comportamiento de una probeta sometida a tracción indirecta en condiciones secas y de inmersión. Las propiedades de las probetas se presentan en el Anexo C. A

continuación se relacionan en las tablas 4-9, 4-10, 4-11, 4,12 y 4-13 la respuesta obtenida para cada porcentaje de asfalto

Tabla 4-9: Respuesta a la tracción indirecta para 3,5% de asfalto.

CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS						
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE	
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		2	5	6	20,78	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		1	3	4	20,23	
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
PROBETAS EN SECO						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
1	2	73,6	101,6	765	651,3	92,7
	5	72,6	101,6	777	670,6	95,4
	6	73,0	101,6	815	699,6	99,5
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>673,8</u>	
				(PSI)	<u>95,9</u>	
PROBETAS EN INMERSIÓN						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
2	1	72,2	101,6	764	663,0	94,3
	3	72,6	101,6	691	596,4	84,8
	4	72,8	101,6	624	537,1	76,4
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>598,8</u>	
				(PSI)	<u>85,2</u>	
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)					88,9	

Para este porcentaje de asfalto se observó que las seis probetas escogidas para la ejecución de este ensayo, cumplen con las características geométricas similares, para efectos de análisis se procede según norma I.N.V E-725/07.

Tabla 4-10: Respuesta a la tracción indirecta para 4,0% de asfalto.

CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS						
DESCRIPCIÓN			BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE
SUBGRUPO 1 (grupo seco)			1	5	6	17,11
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)			2	3	4	17,43
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
PROBETAS EN SECO						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
1	1	70,0	101,6	1021	913,9	130,0
	5	67,9	101,6	1030	950,5	135,2
	6	71,6	101,6	994	869,9	123,7
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>911,4</u>	
				(PSI)	<u>129,7</u>	
PROBETAS EN INMERSIÓN						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Diámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
2	2	70,2	101,6	956	853,3	121,4
	3	70,0	101,6	912	816,4	116,1
	4	70,5	101,6	922	819,5	116,6
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>829,7</u>	
				(PSI)	<u>118,0</u>	
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)						91,0

Para efectos de análisis se incluyeron todas las probetas seleccionadas para este ensayo y se procede según norma I.N.V E-725/07.

Tabla 4-11: Respuesta a la tracción indirecta para 4,5% de asfalto.

CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS						
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE	
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		3	4	5	20,18	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		1	2	6	21,28	
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
PROBETAS EN SECO						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
1	3	71,3	101,6	958,9	842,7	119,9
	4	73,1	101,6	872	747,5	106,3
	5	72,6	101,6	742	640,4	91,1
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>743,5</u>	
				(PSI)	<u>105,8</u>	
PROBETAS EN INMERSIÓN						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
2	1	73	101,6	594	509,9	72,5
	2	73,5	101,6	588	501,3	71,3
	6	73,2	101,6	778	666,0	94,7
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>559,0</u>	
				(PSI)	<u>79,5</u>	
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)						75,2

Las probetas escogidas para la ejecución de este ensayo, cumplen con características geométricas similares, para efectos de análisis se procede según norma I.N.V E-725/07.

Tabla 4-12: Respuesta a la tracción indirecta para 5,0% de asfalto.

CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS						
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE	
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		1	5	6	19,49	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		2	3	4	19,87	
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
PROBETAS EN SECO						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
1	1	73,6	101,6	651	554,2	78,8
	5	72,3	101,6	831	720,2	102,5
	6	72,6	101,6	740	638,7	90,9
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>637,7</u>	
				(PSI)	<u>90,7</u>	
PROBETAS EN INMERSIÓN						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
2	2	73,9	101,6	579	490,9	69,8
	3	72,7	101,6	534	460,2	65,5
	4	72,8	101,6	739	636,1	90,5
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>529,1</u>	
				(PSI)	<u>75,3</u>	
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)					83,0	

Las probetas ensayadas, cumplen con características geométricas similares, para efectos de análisis se procede según norma I.N.V E-725/07.

Tabla 4-13: Respuesta a la tracción indirecta para 5,5% de asfalto.

CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS						
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE	
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		3	5		19,87	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		1	2	6	18,72	
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
PROBETAS EN SECO						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
1	3	74,2	101,6	726	613,1	87,2
	5	72,6	101,6	777	670,6	95,4
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>641,8</u>	
				(PSI)	<u>91,3</u>	
PROBETAS EN INMERSIÓN						
Grupo	Probeta (No.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (kPa)	Resistencia a la tensión (PSI)
2	1	71,2	101,6	703	618,7	88,0
	2	72,8	101,6	729	627,5	89,3
	6	73,9	101,6	712	603,7	85,9
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(kPa)	<u>616,6</u>	
				(PSI)	<u>87,7</u>	
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)					96,1	

La probeta clasificada como 4 se dio de baja por presentarse desprendimiento de la mezcla en la cara superior de la probeta, para el análisis de los resultados se podría eliminar los datos de las probetas en seco pero se continúa según norma I.N.V E-725/07. Ver final del subcapítulo. En la tabla 4-14 se registran los resultados de tracción obtenidos para las mezclas asfálticas drenantes fabricadas en esta investigación.

Tabla 4-14. Resultados ensayo a tracción en mezclas drenantes.

Porcentaje de asfalto (%)	Resistencia a tensión en seco (kPa)	Resistencia a tensión en inmersión (kPa)
3.5	673.8	598.8
4.0	911.4	829.7
4.5	743.5	559.0
5.0	637.7	529.1
5.5	641.8	616.6

OBSERVACIONES GENERALES DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFALTICA DRENANTE.

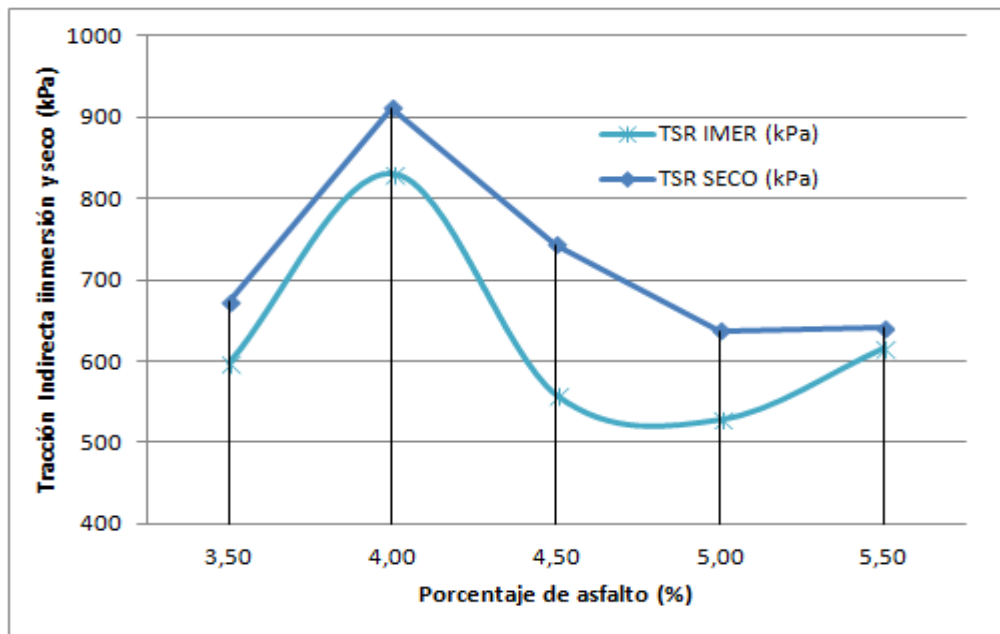
1. La mayor dificultad en la ejecución del ensayo de tracción indirecta en las mezclas drenantes fabricadas en esta investigación, se presentó al no cumplir con la saturación (ver anexo C), debido a que las probetas ensayadas tienen porcentajes de vacíos comprendidos entre 20+-3%, por lo tanto no se logra tener una saturación aceptable tal como se describe en el inciso 7.6.3 de la Norma I.N.V E- 725/07 donde, se indica que el volumen de agua deberá estar entre 55% y el volumen de aire en 80% para continuar el ensayo. Para las probetas analizadas el volumen de agua fue menor, la especificación indica usar un vacío parcial ligeramente superior a 70 kPa, para lo cual se realizó tres pruebas con tres probetas de 4,0%, 4,5% y 5,5% usando un vacío de 80 kPa pero las probetas presentaron disgregación, por lo tanto, se rechazó este procedimiento y se continuo con lo estipulado por la norma para observar la respuesta de las probetas en condición de inmersión, después de colocarlas en un baño de agua destilada a 60°C durante 24 horas, para este caso solo las probetas con 5,0% y 5,5% de asfalto cumplieron con lo estipulado en el inciso 7.9.1 donde indica “el grado de saturación deberá exceder el 80% para considerarse aceptable”.
2. En las probetas correspondientes a los porcentajes de asfalto de 3,5% a 4,5%, se observó una falla orientada entre los agregados, presentando un grado de desprendimiento entre el agregado y el ligante; Caso contrario al ensayar las briquetas con porcentajes de asfalto mayores al 5%, debido a que la fractura trajo consigo algo de trituración del agregado. Por lo anterior, este ensayo es útil para

valorar la cohesión de la mezcla ante el incremento del porcentaje de asfalto y el efecto que causa la presencia del agua.

3. Teniendo en cuenta los datos obtenidos, se puede establecer que el comportamiento de las mezclas presentaron valores superiores para un porcentaje de asfalto del 4% tanto para las dos condiciones de estado de ensayo en seco como en inmersión. Este porcentaje coincide con los porcentajes óptimos obtenidos en los ensayos de estabilidad, flujo y cántabro aproximándonos cada vez más a un porcentaje óptimo real.
4. Se evidenció que el ensayo de tracción indirecta puede llegar hacer un ensayo practico en obra, permitiendo de manera indirecta chequear los parámetros obtenidos por el diseño Marshall en cuanto a resistencia se refiere, como lo indica (Botella, Valdes, Martinez, 2011). Si bien el ensayo de tracción indirecta no está establecido como parámetro de rechazo o aceptación en las especificaciones actuales de nuestro país, se puede recomendar como parámetro de especificación y de validación con los obtenidos por el diseño Marshall en cuanto a resistencia (Botella, Valdes, Martinez, 2011).

A continuación se presentan de manera gráfica los resultados obtenidos a tracción indirecta para los dos estados del ensayo a inmersión y en seco. Ver figura 4-20.

Figura 4-20: Resultados de tracción indirecta en estado de inmersión y en seco.



4.2.4 Esgurrimiento.

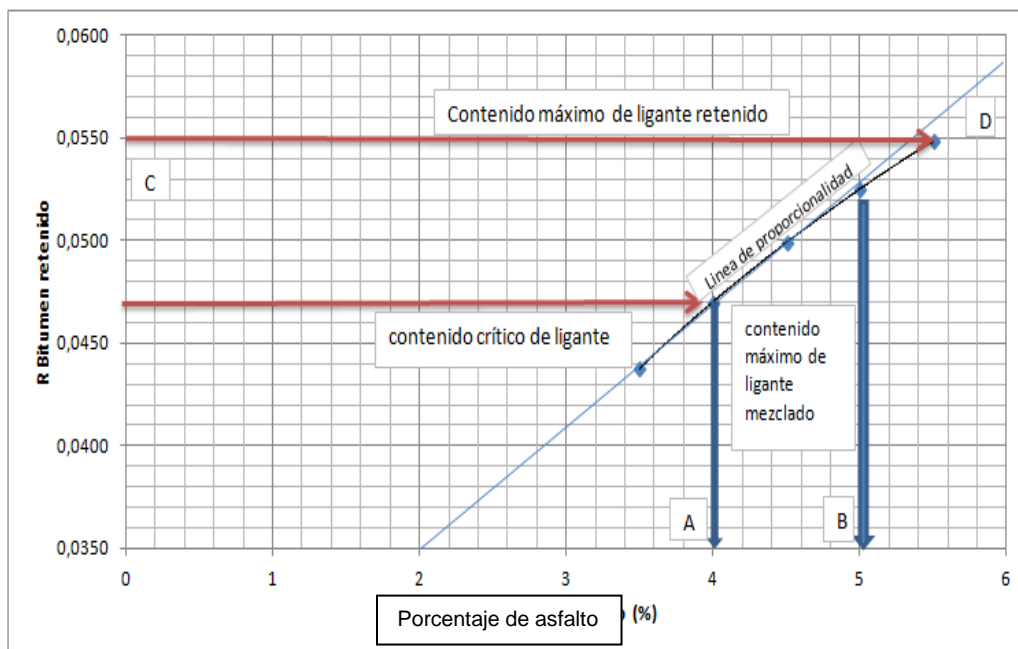
Con el fin de evaluar los problemas de exudación en la vía debido a porcentajes inadecuados de asfalto o condiciones extremas de temperatura, se realizó el ensayo de esgurrimiento de acuerdo con la norma técnica Española NLT 365/93. Este ensayo no está reglamentado en Colombia, sin embargo ha sido ampliamente utilizado en otros países para evaluar las bondades de mezclas drenantes.

En la tabla 4-15 se presentan los valores obtenidos del ensayo para los diferentes porcentajes de asfalto y en la figura 4-18 se presentan por medio de la gráfica de proporcionalidad los valores obtenidos por el ensayo.

Tabla 4-15: Resultados del ensayo de esgurrimiento por cabeza constante.

Porcentaje de Asfalto (%)	3,5			4,0			4,5			5,0			5,5		
	DATOS	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Ligante retenido R (%)	0,044	0,044	0,044	0,047	0,047	0,047	0,050	0,050	0,050	0,053	0,053	0,053	0,055	0,055	0,055
Promedio Ligante retenido R (%)	0,0438			0,0470			0,0499			0,0525			0,0550		

Figura 4-21: Grafica de proporcionalidad porcentaje de escurrimiento.



Donde:

- Contenido Crítico de ligante A= Contenido de ligante en la mezcla en el que la curva de escurrimiento de la gráfica se desvía de línea de proporcionalidad.
- Contenido máximo de ligante B= Contenido de ligante retenido en donde alcanza un valor máximo, Si la curva de ligante retenido no alcanza un máximo se hará constar en el informe como "mayor que el contenido máximo ensayado".
- Contenido máximo de ligante retenido C = Contenido máximo de ligante en la mezcla
- El ligante escurrido D = es la diferencia en porcentaje entre el contenido de ligante con que se dosifica la mezcla y el contenido de ligante retenido.

Se observa un valor máximo de 0.0548% de escurrimiento para un contenido de ligante de 5,5%. Mientras que para los contenidos de asfalto de 4,0% y 4,5% se registraron valores inferiores con rangos entre 0,0470 y 0,0500% respectivamente. El bajo porcentaje de escurrimiento obtenido puede atribuirse al tipo de ligante (Tipo I), empleado en la fabricación de las probetas.

De acuerdo con la experiencia Argentina y española quienes emplean el ensayo del canasto de escurrimiento (NLT 365/93 al igual que esta investigación o M-MMP-4-05:044 Determinación del escurrimiento en mezclas asfálticas sin compactar), sugieren que el escurrimiento no debe superar el 0,3% para mezclas asfálticas drenantes.

Es importante anotar que, el primer contenido crítico de ligante (4,0%), indica lo que sería el valor mínimo de asfalto para no tener escurrimientos y el último valor (4,5%), coincide con el cambio de curvatura que se presenta en la línea de proporcionalidad entre el porcentaje de asfalto escurrido y el porcentaje de asfalto de la muestra. Lo anterior sugiere que el rango de porcentaje óptimo de asfalto estará comprendido entre 4,0% y 4,5%, valores que nuevamente coinciden con los obtenidos en los análisis realizados de estabilidad, flujo, cántabro y tracción indirecta.

IDENTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO ÓPTIMO (Caracterización mecánica).

A continuación se presenta en la tabla 4-16 los valores asociados a los porcentajes de máximo y menor desempeño para las probetas evaluadas.

Tabla 4-16: Valores obtenidos por ensayo programado.

Ensayo Programado	Valor Asociado	% Asfalto Máximo Desempeño	Valor Asociado	% Asfalto Menor Desempeño
Densidad Geométrica (g/cm ³) (ensayo de Estabilidad y flujo) (Kf y mm)	1.979	4,5%	1.891	4,0%
Estabilidad (kf)	1074	4,0%	702	5,0%
Flujo (mm)	2,5	4,5%	4,3	5,5%
Tracción Indirecta en seco (kPa)	911,4	4,0%	637,7	5,0%
Tracción Indirecta en inmersión (kPa)	829,7	4,0%	529,0	4,5%
Desgaste Cántabro en Seco (%)	18,50%	4,5%	32,7%	3,5%
Desgaste Cántabro en inmersión (%)	21,2%	5,0%	41,44%	3,5%
Porcentaje de escurrimiento (%)	0,0470	4,0% Punto de inflexión en la línea de proporcionalidad.	0,0550%	5,5%.

Teniendo en cuenta el desempeño por caracterización mecánica de las mezclas en los diferentes porcentajes de asfalto resumidos en la tabla anterior, se puede establecer que el porcentaje óptimo de diseño está entre 4,0% y 4,5%. Este rango es similar a lo establecido en las especificaciones del INVIAS Artículo 453-07. "La dosificación del

material bituminoso no podrá ser inferior a cuatro y medio por ciento (4,5%)". Valores que se chequeará de acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización dinámica que se describe a continuación.

4.3 Respuesta Dinámica

4.3.1. Módulo Dinámico

El comportamiento dinámico determina la respuesta de la mezcla en términos de esfuerzo-deformación bajo cargas repetidas, a distintas frecuencias y temperaturas, a las cuales puede estar sometida una estructura en términos de velocidades y temperaturas del proyecto. Se realizó el ensayo para 4 condiciones de frecuencia (1, 4, 10, 16 Hz) y para 5, 25 y 40 °C. Se aclara que este ensayo se realizó en el laboratorio de pavimentos de la Universidad de los Andes y se obtuvieron los siguientes resultados. Ver tabla 4-17.

Tabla 4-17. Datos módulos dinámicos.

% Asfalto	Temperaturas (°C)	5°	25°	40°
	Frecuencia (Hz)	Módulos Dinámicos (Kg /cm ²)		
3.5	1	44977	13723	6208
	4	54184	19040	7296
	10	58511	23329	8567
	16	65418	25410	9674
4.0	1	58554	13843	5959
	4	65793	20497	7270
	10	74798	26422	8728
	16	83257	29336	9724
4.5	1	46753	13501	5575
	4	57090	19810	6868
	10	64824	24008	8329
	16	73642	28495	9359
5.0	1	50424	11221	5124
	4	63594	17257	6148
	10	65652	22533	7369
	16	81864	24763	8222
5.5	1	53044	13849	4141
	4	62363	21008	6741
	10	67628	26923	8234
	16	76836	29348	9341

De los resultados obtenidos se observa que los máximos valores de módulo dinámico se presentaron para el porcentaje de asfalto de 4,0% a una temperatura de 5°C en las frecuencias de 1, 4, 10 y 16 Hz. Para la temperatura de 25°C los máximos valores de módulo dinámico se presentaron de manera muy similar entre los porcentajes de asfalto de 4,0% y 5,5% para las mismas frecuencias y, finalmente para la temperatura de 40°C los máximos valores de módulo dinámico se registraron para las frecuencias de 10 y 16 Hz para el porcentaje de asfalto de 4,0%. En las figuras 4-22, 4-23 y 4-24 se observa la variación del comportamiento de la mezcla asfáltica al ser sometida a diferentes temperaturas y frecuencias.

Figura 4-22: Resultados para una temperatura de 5°C.

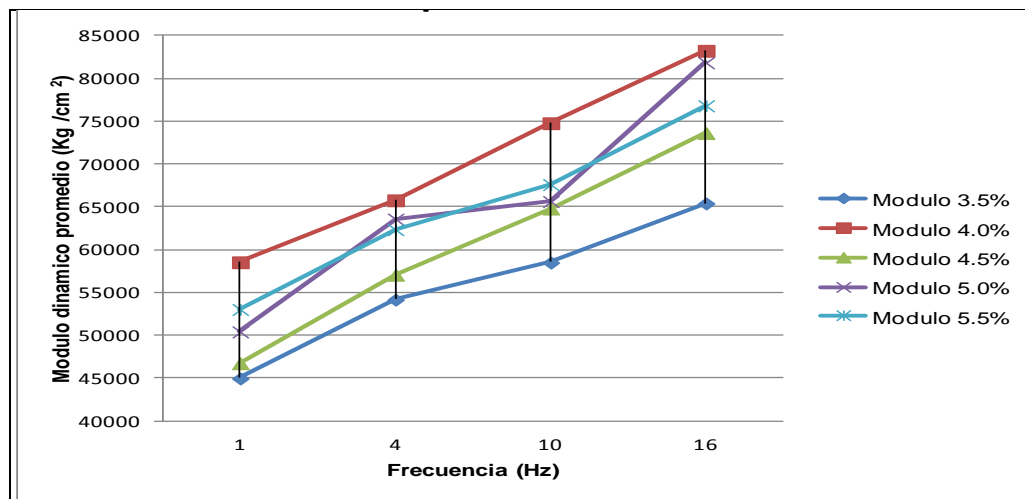


Figura 4-23. Resultados para una temperatura de 25°C.

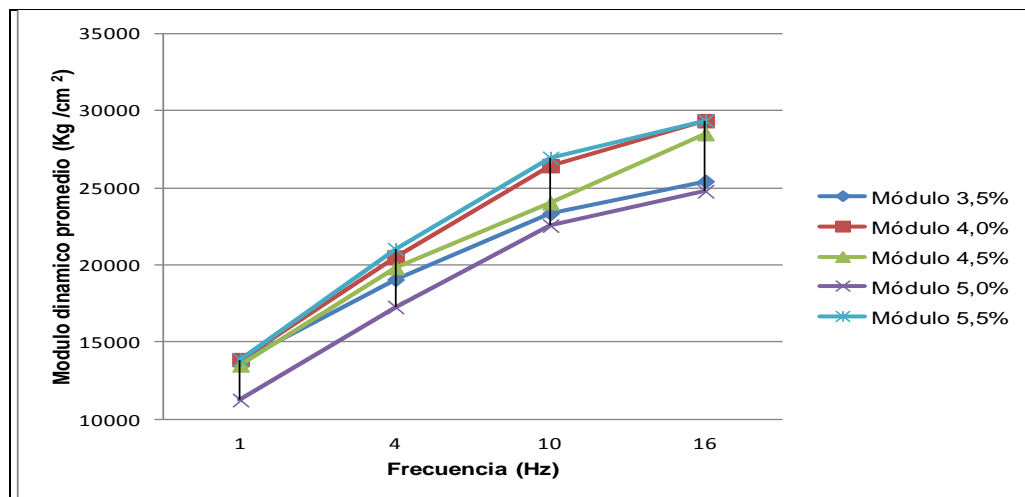
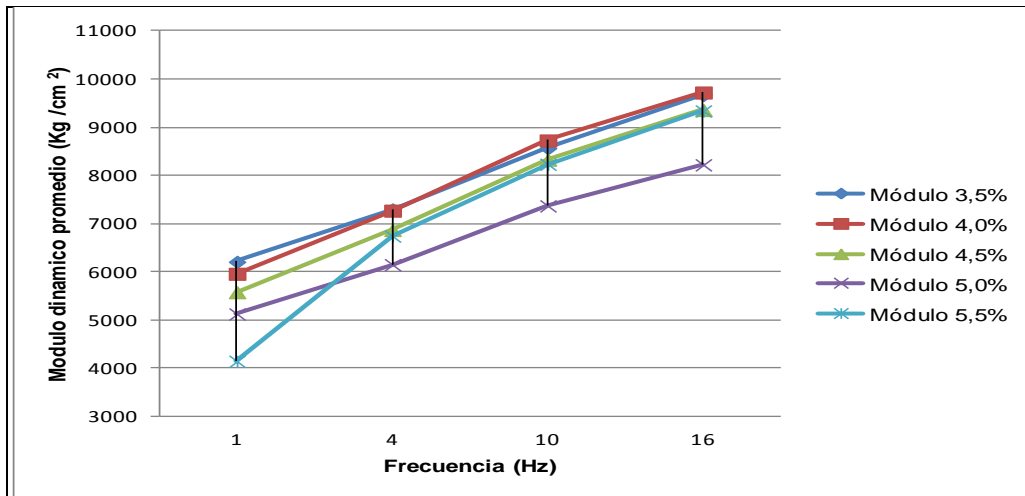


Figura 4-24. Resultados para una temperatura de 40°C.



En la tabla 4-18 se presenta valores de módulo dinámico obtenidos para diferentes velocidades de diseño, (Sandoval. Barrera. Acuña, 2011),

Tabla 4-18: Valores del Módulo dinámico para diferentes métodos.

Velocidad (km/h)	Módulo dinámico (kg/cm ²)	Módulo dinámico (MPa)
30	22000 – 41000	2155 – 4018
60	40000 - 48000	3919 – 4704
80	40000 - 51000	3019 – 4998

Los valores obtenidos de módulos corresponden velocidades de diseño de 60 km/h, se observa que los mejores resultados se obtuvieron para un valor de 4% de asfalto

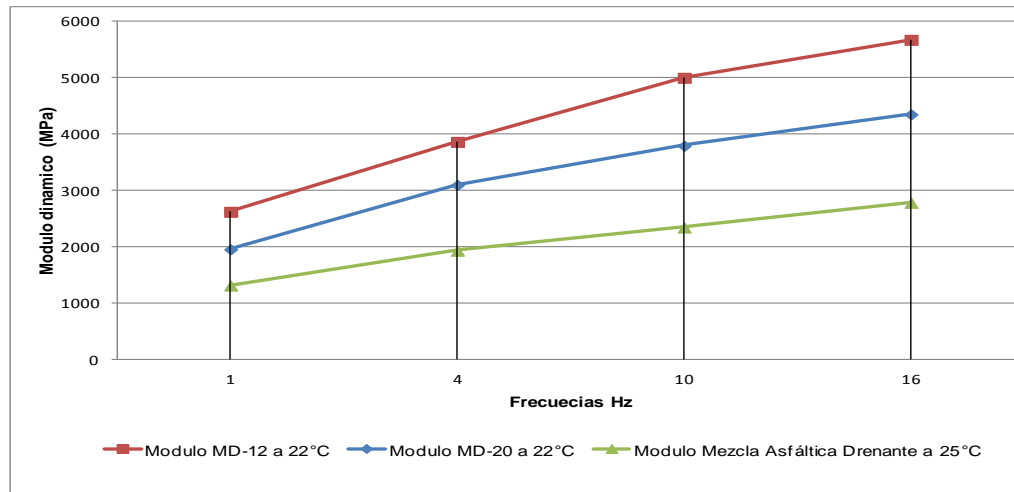
Referente a los valores de módulos dinámicos para un 4,0% de asfalto, en las temperaturas y frecuencias reportadas, se observó una disminución aproximada de un 50% en relación de los módulos convencionales.

Al comparar los valores de módulos obtenidos con las mezclas típicas empleadas en Bogotá tipo MD-12 y MD-20 (Gutiérrez, 2010). Se observa una disminución cercana al 50% con relación a las mezclas tipo MD-12, y de un 60% para las mezclas MD-20 para temperaturas entre 22°C y 25°C. El elevado porcentaje de vacíos asociado a las mezclas drenantes puede explicar este comportamiento tal como se observa en la tabla 4-19 y en la figura 4-25.

Tabla 4-19. Módulos para mezclas tipo MD-12, MD-20 y drenantes.

MATERIAL		MD-12	MD-20	MATERIAL	DRENANTE	
Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Modulo Dinámico (MPa)	Modulo Dinámico (MPa)	Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Modulo Dinámico (MPa)
22	1	2633	1967	25	1	1323
	3	3874	3109		4	1941
	6	5011	3804		10	2353
	10	5685	4362		16	2793

Figura 4-25: Módulos dinámicos en mezclas tipo MD-12 , MD-20. (Gutierrez, 2010) y Mezcla Asfáltica Drenante.



Otra forma de caracterizar el posible uso de este tipo de mezclas asfáltica drenante es utilizando el tipo de vía o uso de la vía en función a la velocidad de diseño, la cual se paramétrica en una frecuencia promedio, tal como se indica en la tabla 4-20.

Tabla 4-20. Usos de vía según velocidad de diseño.

Frecuencias	Velocidad de Diseño	Módulo Aproximado (Kg/cm ²)	Tipo de vía o uso de la vía.
1 (Hz)	6 (Km/h)	No reporta	Parqueadero y zonas peatonales
4 (Hz)	24 - 30 (Km/h)	19000 - 41000	Vías secundarias y perimetrales
10 (Hz)	60 (Km/h)	40000 – 48000	Vías Urbanas de primer orden.
16 (Hz)	80 (Km/h)	47000 – 51000	Troncales, Avenidas de primer orden.

De acuerdo con los valores obtenidos en esta investigación, se puede observar que si bien los mayores valores de módulos pertenecen a las frecuencias de 4, 10 y 16 Hz para un porcentaje de asfalto de 4,0% para una temperatura estandarizada de 25°C, la mezcla asfáltica drenante obtenida para esta investigación clasificaría para una velocidad de diseño de 24 a 30 (km/h) siendo útiles para vías de parqueo, zonas peatonales y vías secundarias y perimetrales.

En cuanto a los porcentajes de asfaltos utilizados en esta investigación se puede concluir que el mejor comportamiento mecánico de las mezclas fabricadas en el laboratorio se obtuvo con el 4,5% siguiendo el inciso 453.4.2 del Artículo 453-07 del Instituto Nacional de Vías, mientras que, con la caracterización dinámica el mejor comportamiento lo registro el 4,0% de asfalto. Teniendo en cuenta que cada caracterización se realizó con un diferente tipo de briqueta los porcentajes óptimos son muy similares, en consecuencia el porcentaje óptimo de diseño se podría identificar como 4,0% siendo el ensayo de módulo dinámico el mejor simula el comportamiento de una mezcla asfáltica.

4.4 Respuesta Hidráulica

4.4.1 Permeabilidad.

Teniendo en cuenta que una de las bondades de las mezclas drenantes es permitir la evacuación del agua, es importante evaluar en términos de permeabilidad las probetas fabricadas. Para cada porcentaje de asfalto se seleccionaron 3 probetas, las propiedades de las probetas se presentan en el Anexo C.

Una vez estudiadas las respuestas mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas diseñadas en esta investigación, procedemos a caracterizar hidráulicamente cada uno de los diferentes tipos de mezclas, del stock de las probetas tipo Marshall fue necesario tomar varias probetas de cada porcentaje de asfalto. Las cuales fueron clasificadas por la similitud de sus propiedades geométricas, dejando al final por cada porcentaje de asfalto tres probetas a las que se les evaluó su conductividad hidráulica encontrando la permeabilidad del medio, permitiendo así clasificar la mezcla de asfalto diseñada según este caso, como lechos filtrantes, tal como indica (Cárdenas, 2002).

A continuación en las tablas 4-21 a la 4-25 se registran por cada porcentaje de asfalto las probetas analizadas con sus datos básicos y su respectiva aclaración sobre que probeta se tomo en cuenta para la ejecución del ensayo de permeabilidad

Tabla 4-21: Datos básicos probetas permeabilidad para 3,5% de asfalto,

N° PROBETAS CON 3,5 %ASFALTO	1	2	3	4	5
Peso en el aire (g)	1173,91	1172,15	1175,2	1172,78	1176,43
Peso en el agua 25°C (g)	650	643	649	646	645
Peso SSS (g)	1183,94	1186,41	1186,54	1183,15	1187,12
Espesor (cm)	7,283	7,209	7,194	7,017	7,279
Diámetro (cm)	10,174	10,156	10,116	10,191	10,188
Volumen efectiva bulk cm ³	533,9	543,4	537,5	537,2	542,1
Densidad efectiva bulk g/cm ³	2,199	2,157	2,186	2,183	2,170
Rice g/cm ³	2,445	2,445	2,445	2,445	2,445
Vacíos Final bulk %	10,09	11,79	10,59	10,71	11,26
Volumen Geométrico cm ³	592,1	584,0	578,2	572,4	593,4
Densidad Geométrica g/cm ³	1,983	2,007	2,033	2,049	1,983
Volumen de Vacíos total probeta (Vv)%	18,92	17,92	16,88	16,21	18,92

En la ejecución del ensayo de permeabilidad para este porcentaje de asfalto se tomaron las probetas clasificadas como 1, 2 y 5, las probetas 3 y 4 se descartaron por obtener porcentajes de vacíos por debajo de lo estipulado por esta investigación.

Tabla 4-22: Datos básicos probetas permeabilidad para 4,0% de asfalto,

N° PROBETAS CON EL 4% ASFALTO	1	2	3	4	5	6
Peso en el aire (g)	1230,06	1178,17	1226,35	1178,61	1206,47	1180,57
Peso en el agua 25°C (g)	665,00	650,00	682,00	650,00	665,00	644,00
Peso SSS (g)	1217,78	1195,62	1237,62	1193,68	1219,12	1191,1
Espesor (cm)	7,434	7,554	7,820	7,335	7,237	7,384
Diámetro (cm)	10,176	10,152	10,22	10,177	10,147	10,147
Volumen efectiva bulk cm ³	552,8	545,6	555,6	543,7	554,1	547,1
Densidad efectiva bulk g/cm ³	2,225	2,159	2,207	2,168	2,177	2,158
Rice g/cm ³	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442
Vacíos Final bulk %	8,87	11,57	9,61	11,22	10,83	11,63
Volumen Geométrico cm ³	604,6	611,5	641,0	596,7	585,2	597,1
Densidad Geométrica g/cm ³	2,035	1,927	1,913	1,975	2,062	1,977
Vacíos (Va)%	16,68	21,09	21,65	19,10	15,57	19,03

En este porcentaje de asfalto se tuvo en cuenta las probetas clasificadas como 3, 4 y 6 para la ejecución del ensayo de permeabilidad, las probetas 1 y 5 se descartaron por

obtener porcentajes de vacíos por debajo de lo estipulado por esta investigación y la probeta 2 se dejó en stock para una eventual verificación.

Tabla 4-23: Datos básicos probetas permeabilidad para 4,5% de asfalto

N° PROBETAS CON 4,5 % ASFALTO	1	2	3	4	5
Peso en el aire (g)	1168,03	1152,84	1173,71	1172,16	1168,86
Peso en el agua 25°C (g)	643,00	629,00	644,00	645,00	639,00
Peso SSS (g)	1182,31	1169,72	1188,55	1187,55	1179,63
Espesor (cm)	7,352	7,381	7,51	7,669	7,416
Diámetro (cm) medidas	10,22	10,18	10,14	10,13	10,17
Volumen efectiva bulk cm ³	539,3	540,7	544,6	542,6	540,6
Densidad efectiva bulk g/cm ³	2,166	2,132	2,155	2,160	2,162
Rice g/cm ³	2,427	2,427	2,427	2,427	2,427
Vacíos Final bulk %	10,77	12,16	11,20	10,99	10,93
Volumen Geométrico cm ³	602,8	600,5	606,2	618,0	602,8
Densidad Geométrica g/cm ³	1,938	1,920	1,936	1,897	1,939
Vacíos (Va)%	20,17	20,91	20,24	21,85	20,11

Se escogieron las probetas clasificadas como 1, 3 y 5 para la ejecución del ensayo de permeabilidad las demás probetas se dejaron para una eventual comprobación.

Tabla 4-24: Datos básicos probetas permeabilidad para 5,0% de asfalto

N° DE PROBETAS CON EL 5 % ASFALTO	1	2	3	4	5
Peso en el aire (g)	1150,85	1160,64	1162,46	1158,02	1163
Peso en el agua 25°C (g)	629,00	636,00	632,00	624,00	634,00
Peso SSS (g)	1163,34	1175,25	1177,15	1171,26	1181,48
Espesor (cm)	7,276	7,404	7,186	7,307	7,414
Diámetro (cm)	10,168	10,154	10,155	10,122	10,182
Volumen efectiva bulk cm ³	534,3	539,3	545,2	547,3	547,5
Densidad efectiva bulk g/cm ³	2,154	2,152	2,132	2,116	2,124
Rice g/cm ³	2,393	2,393	2,393	2,393	2,393
Vacíos Final bulk %	10,00	10,06	10,89	11,57	11,23
Volumen Geométrico cm ³	590,8	599,6	582,0	588,0	603,7
Densidad Geométrica g/cm ³	1,948	1,936	1,997	1,969	1,927
Vacíos (Va)%	18,60	19,10	16,53	17,70	19,49

De este porcentaje se tomaron las probetas clasificadas como 1, 2 y 5 para la ejecución del ensayo de permeabilidad, las probetas 3 y 4 se descartaron por obtener porcentajes de vacíos por debajo de lo estipulado por esta investigación.

Tabla 4-25: Datos básicos probetas permeabilidad para 5,5% de asfalto

N° DE PROBETAS CON EL 5,5 % ASFALTO	1	2	3	4	5
Peso en el aire (g)	1177,2	1144,2	1147,6	1125,8	1143,8
Peso en el agua 25°C (g)	650	624	636	615	629
Peso SSS (g)	1190,4	1155,4	1158,6	1130,4	1146,2
Espesor (cm)	7,25	6,985	7,21	7,015	7,267
Diámetro (cm) medidas	10,234	10,278	10,193	10,174	10,175
Volumen efectiva bulk cm ³	540,4	531,4	522,6	515,4	517,2
Densidad efectiva bulk g/cm ³	2,178	2,153	2,196	2,184	2,212
Rice g/cm ³	2,361	2,361	2,361	2,361	2,361
Vacíos Final bulk %	7,74	8,81	6,99	7,49	6,33
Volumen Geométrico cm ³	596,0	579,5	588,3	570,3	590,9
Densidad Geométrica g/cm ³	1,975	1,974	1,951	1,974	1,936
Vacíos (Va)%	16,35	16,38	17,38	16,39	18,02

Para este porcentaje de asfalto se dificulta mantener un porcentaje de vacíos que este en el rango de 20+-3%, por lo tanto se decidió realizarle el ensayo de permeabilidad a las probetas identificadas como 1, 2 y 4 las cuales poseen propiedades similares, además se buscó con este ensayo en particular evidenciar como la variación de los vacíos con este porcentaje promedio de 16,0% en una mezcla drenante afecta su permeabilidad.

Una vez clasificadas las probetas se realizó el montaje de cada una de las probetas en el equipo de permeabilidad diseñado para esta investigación.

4.4.1.1 Determinación del coeficiente de permeabilidad por el método de cabeza constante.

De acuerdo con los valores de los porcentaje de vacíos que registraron las probetas escogidas y de acuerdo con ensayos previos, se estipulo una altura mínima en el nivel del agua (tanque de agua) tomada desde el punto base del equipo de 145 cm, este valor podía variar sin presentar mayor variación en la permeabilidad hasta una altura de 50 cm del punto base del equipo.

Es importante tomar la temperatura del agua en el momento del ensayo para realizar las correcciones por temperatura valor que afectará la permeabilidad estándar final la cual se estimó a una temperatura de 20°C.

En el anexo C se registran los formatos utilizados para la determinación del coeficiente de permeabilidad.

Para la determinación de la relación de vacíos se tomó para efectos de cálculo como:

- Volumen de sólidos, el cual está compuesto por el volumen de agregado mineral más el volumen del asfalto por lo tanto.

$$e = (V_v / v_s) \times 100$$

En la tabla 4-26. Se registra un cuadro resumen de los resultados obtenidos de la permeabilidad por el método de cabeza constante.

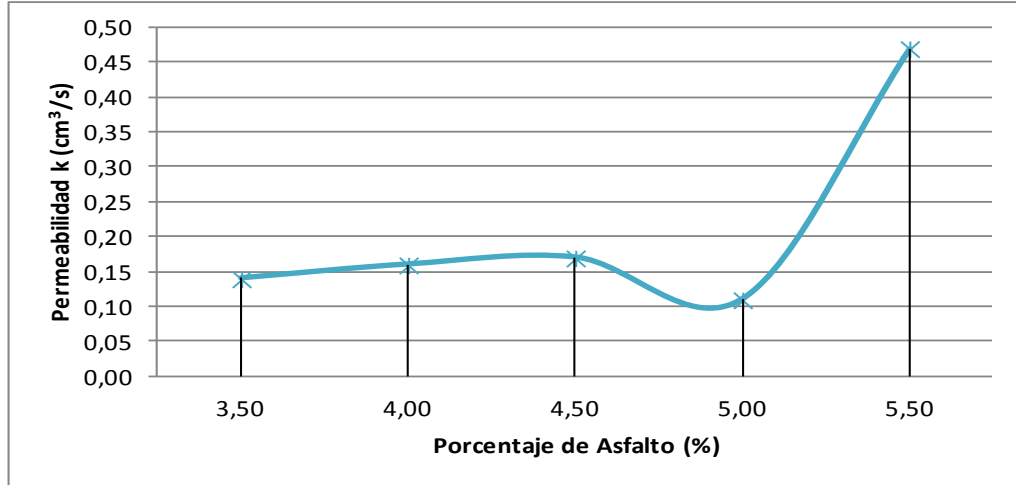
Tabla 4-26: Resultados de permeabilidad por el método de cabeza constante.

ASFALTO (%)	3,5%			4,0%			4,5%			5%			5,5%		
N° de muestra	1	2	5	3	4	6	1	3	8	1	2	5	1	2	7
Ensayo N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
k* (20 °C) (cm/s).	0,14	0,13	0,14	0,17	0,23	0,14	0,17	0,16	0,19	0,10	0,13	0,10	0,47	0,44	0,48
k* Promedio (20 °C) (cm ³ /s)	0,14			0,16			0,17			0,11			0,47		
Clasifica	SE PRESENTA COMO UN MEDIO DE ARENA GRUESA LIMPIA A GRAVA FINA														

K* = Permeabilidad Estandar (k) (20 °C) (cm/s). Cabeza Constante

De los valores de permeabilidades obtenidos para los diferentes porcentajes de asfalto corresponde en todos los casos a permeabilidades altas superando a 10^{-1} cm/s, clasificando el comportamiento del medio como una arena gruesa limpia a grava fina, la cual, tiene permeabilidades comprendidas entre 0.1 y $1 \cdot 10^4$ cm/s. En la figura 4-26 se presenta de manera gráfica los resultados obtenidos de las permeabilidades promedio por porcentaje de asfalto analizado.

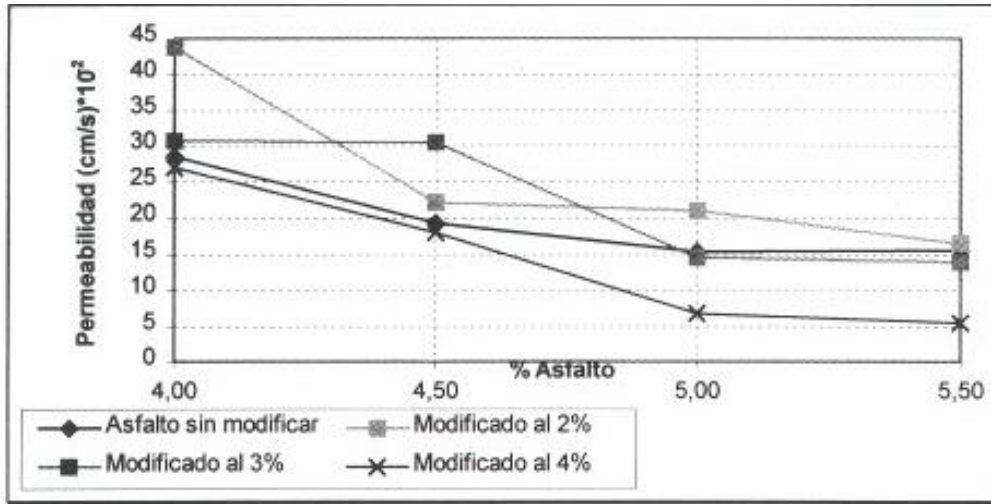
Figura 4-26: Resultados permeabilidad Vrs. Porcentaje de asfalto.



De la figura anterior se puede evidenciar que para el máximo porcentaje de asfalto de 5,5% la permeabilidad se incrementó de 0,11 cm/s a 0,45 cm/s, esto puede ser debido a que los porcentajes de vacíos de las probetas fueron menores (16%) que los ensayados. Lo anterior permite observar que el porcentaje de vacíos tiene una gran influencia en la permeabilidad de una mezcla asfáltica. Para el análisis de los resultados no se tendrán en cuenta los datos obtenidos en el porcentaje de asfalto de 5,5% porque no cumple con uno de los objetos específicos de la investigación (porcentaje de vacíos entre 20+-3%).

Son muy pocas las referencias que existen en Colombia relacionadas con valores de permeabilidad en mezclas drenantes fabricadas en laboratorio, utilizando el método de cabeza constante. Sin embargo se reportan algunos valores utilizando el método de cabeza variable, el cual se utiliza en obra por medio del equipo LCS (Mora. G y Cely G en el año 1998), reportan valores de permeabilidad para mezclas asfálticas drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar utilizando el permeámetro LCS. Los datos analizados (Figura 4-27), sugieren que a mayor porcentaje de asfalto menor es la permeabilidad: Tal es el caso del asfalto modificado con polímero al 2% disminuye de 45 (cm/s) 10^{-2} para un contenido de asfalto de 4,0% hasta 15 (cm/s) 10^{-2} para un contenido de 5,5% de asfalto.

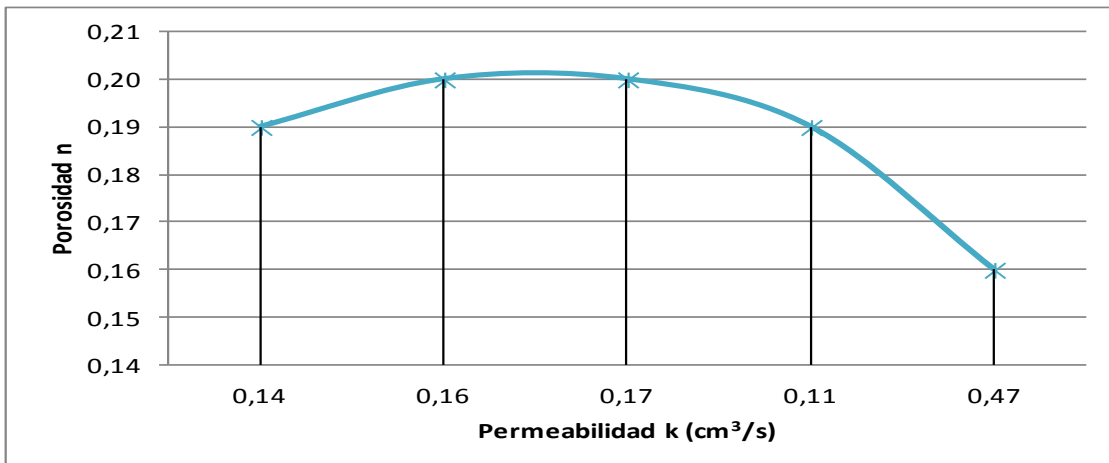
Figura 4-27: Coeficiente de permeabilidad. (Mora. G y Cely G, 1998)



De acuerdo con los valores obtenidos en esta investigación y por la complejidad de estudiar fenómenos de flujo en materiales porosos debido a la naturaleza de la geometría y topología de su espacio al igual que su heterogeneidad en la composición química de sus paredes internas; se hace necesario realizar mejoramientos en la comprensión del fenómeno para optimizar y proponer nuevos procesos de análisis.

A continuación se presenta una primera aproximación de la relación entre la porosidad y la permeabilidad de las probetas. Es importante anotar que no fue posible hacer un acercamiento más preciso del comportamiento entre permeabilidad y porosidad debido a la falta de precisión de los instrumentos de medida por la limitada comprensión de la dependencia con la longitud de escala del material poroso. Ver figura 4-28.

Figura 4-28. Relación de porosidad y permeabilidad.



Por lo tanto los valores obtenidos en esta investigación generan incertidumbre en cuanto a la respuesta obtenida en la caracterización hidráulica, se propone implementar en una futura investigación un modelo que logre simular este comportamiento, éste puede ser simulado por diferencias finitas y elementos finitos como es el método de Montecarlo tal como indica (Bustos y Toledo, 2002).

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- ✓ En este trabajo se evaluó el comportamiento mecánico, dinámico e hidráulico de mezclas asfálticas drenantes fabricadas con cinco porcentajes de asfalto diferentes.
- ✓ Se evaluaron parámetros usados para caracterizar las mezclas tradicionales usadas en capa de rodadura, para cada uno de los porcentajes de asfalto con el fin de identificar el porcentaje óptimo de diseño de este tipo de mezcla, que presentaron un alto contenido de vacíos (20+-3%).
- ✓ Se ensayaron en total 103 probetas fabricadas bajo la metodología Marshall, la cuales fueron fabricadas con valores similares en porcentajes de vacíos (20+-3%), obteniendo al mismo tiempo valores de densidades geométricas similares.

RESPUESTA MECÁNICA DE LA MEZCLA ASFALTICA DRENANTE:

- ✓ Estabilidad: El valor máximo de estabilidad (1074 kg), se presentó para 4,0% de asfalto y el valor mínimo (702 kg) fue para 5,0% de asfalto. Valores que cumplen para niveles de tráfico T0, T1 y T2 según el Instituto de desarrollo urbano IDU. ET-2005, los cuales deben estar entre 600 kg y 750 kg.
- ✓ Flujo: El máximo desempeño presentado para el flujo (2,5mm) fue para el 4,5% de asfalto valor que cumple con el rango de 2-4mm para tráficos T0, T1 y T2 según el Instituto de desarrollo urbano IDU. ET- 2005.
- ✓ Tracción Indirecta: El ensayo de tracción indirecta no está establecido como parámetro de rechazo o aceptación en las especificaciones actuales de nuestro país para las mezclas asfálticas drenantes, pero puede llegar hacer un ensayo de control en cuanto a resistencia se refiere, observando que los máximos valores se obtuvieron para el 4,0% de asfalto tanto para la condición seco como en inmersión (911,4 kPa y 829,7 kPa), mientras que los menores valores (637,7 kPa y 529,0 kPa), fueron para los porcentajes de asfalto de 5,0% y 4,5% en condición seca y en inmersión respectivamente. Por lo tanto el porcentaje de asfalto en que mejor se comportó las probetas ensayadas a tracción indirecta fue el 4,0%.

✓ Desgaste Cántabro en seco y en inmersión: Para las dos condiciones de ensayo se obtuvo los valores máximos (32,70% y 41,44%), como es de esperarse con el menor porcentaje de asfalto 3,5% mientras que para los menores valores (18,5% y 21,2%), se obtuvo para la condición seca con el 4,5% de asfalto y para inmersión fue para 4,0% respectivamente, cumpliendo con los valores máximos permitidos por la norma Colombiana del Instituto Nacional de Vías de 25% para condición seca y 40% para condición de inmersión, De acuerdo con el Artículo 453-07. Respecto a otras experiencias encontradas (Rodríguez, 2005), donde se obtuvo resultados del ensayo de desgaste por método del cántabro para la mezclas drenantes con dos polímeros valores por debajo del 15%, el incremento en el desgaste obtenido por esta investigación fue de un 60% para las briquetas sometidas a inmersión y del 23% en estado seco.

✓ Porcentaje de escurrimiento: Este ensayo permitió identificar de manera fácil y sencilla cuales son los porcentajes óptimos de ligante para esta mezcla, dando un rango de trabajo entre 4,0% y 4,5%, valores que corresponden a los porcentajes de asfalto donde se presentaron los mejores comportamientos de la mezcla ante las caracterizaciones mecánicas y dinámicas. Este ensayo fue implementado como parte de este proyecto de investigación.

✓ De acuerdo con los valores obtenidos en el comportamiento mecánico de la mezcla drenante se puede indicar que el porcentaje óptimo de asfalto es 4,5% el cual es acorde con lo establecido en las especificaciones del Instituto Nacional de Vías INVIAS Artículo 453-07 “La dosificación del material bituminoso no podrá ser inferior a cuatro y medio por ciento (4,5%)”.

RESPUESTA DINÁMICA DE LA MEZCLA ASFALTICA DRENANTE

✓ Con el fin de analizar del comportamiento dinámico de la mezcla drenante se realizaron por porcentaje de asfalto, un ensayo de módulo dinámico obteniendo que, los mayores valores de módulos pertenecen a las frecuencias de 4, 10 y 16 Hz para un porcentaje de asfalto de 4,0% a una temperatura estandarizada de 25°C, para estas condiciones la mezcla asfáltica drenante clasificaría para una velocidad de diseño de 24 a 30 (Km/h) siendo útiles para vías de parqueo, zonas peatonales, vías secundarias y perimetrales las cuales clasifican como Tráfico T0, T1 y T2 del INVIAS.

✓ Es importante resaltar que los valores obtenidos en los módulos dinámicos fueron 50% inferiores que los reportados por mezclas densas tradicionales, por lo anterior es necesario evaluar si es factible cambiar de tipo de compactación e incluso el tipo de ligante con el fin de incrementar los valores de resistencias de las mezclas.

PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO

✓ Teniendo en cuenta los valores de desempeño para cada porcentaje de asfalto en términos del comportamiento mecánico, que permitieron identificar un rango de diseño entre 4,0% y 4,5% y el desempeño dinámico que alcanzó su máximo valor para el 4,0% de asfalto. Se escoge el 4,0% como porcentaje óptimo de diseño, ya que las mezclas van a estar sometidas a sollicitaciones dinámicas siendo este comportamiento el que predomina.

CARACTERIZACIÓN HIDRAULICA

✓ Una de las características de la mezcla asfáltica drenante es la evacuación de agua, característica que se simulo con la implementación del ensayo de cabeza constante lo que permitió determinar un valor de permeabilidad cercano a 10^{-1} cm/s clasificando el medio poroso como arena gruesa limpia o grava fina, a partir de de estos valores se podrán hacer modelaciones de la conductividad inter-particular de la mezcla.

Como Producto de esta tesis se dejan implementados los equipos de permeabilidad y escurrimiento a los que se sugiere realizar los siguientes ajustes para futuras investigaciones:

- a) Permeabilidad: Implementar un sistema de vacío que permita saturar la probeta de manera rápida y adecuada, diseñar un sistema de barrera entre las fronteras de la probeta y la celda acrílica.
- b) Escurrimiento: Diseñar como mínimo tres juegos más del sistema implementado en esta investigación para realizar más ensayos al tiempo y tener mayor criterio de aceptación y rechazo.

5.2 RECOMENDACIONES

- a) Aunque los valores obtenidos en el desgaste estén por debajo del 25% de desgaste (estipulado por Instituto Nacional de vías, artículo 453-07), se buscara en otras investigaciones disminuir este parámetro, utilizando otros proveedores estudiando su variabilidad y comportamiento en la mezcla y a su vez encontrar alternativas de mejora en la inclusión de otros asfaltos modificados.
- b) Evaluar mezclas con asfalto modificado con más de dos polímeros con la finalidad de mejorar la adherencia entre agregado y ligante
- c) Es importante advertir que este tipo de mezclas requieren de un mantenimiento especial, el cual tiene por finalidad evitar el taponamiento de los vacíos de la mezcla con material fino o de arrastre, el buen funcionamiento permitirá la evacuación rápida del agua de escorrentía evitando una oxidación prematura de la capa superficial.
- d) Realizar tramos de pruebas donde se pueda instrumentar y monitorear el comportamiento real de la evolución y deterioro de este tipo de mezclas. Con el fin de emprender investigaciones que fortalezcan la investigación realizada

A. Anexo: Resultados de laboratorio caracterización granular

**ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS
EXTRAIDOS DE LAS MEZCLAS
ASFALTICAS (I.N.V.E-213/07)**

Consecutivo: 672

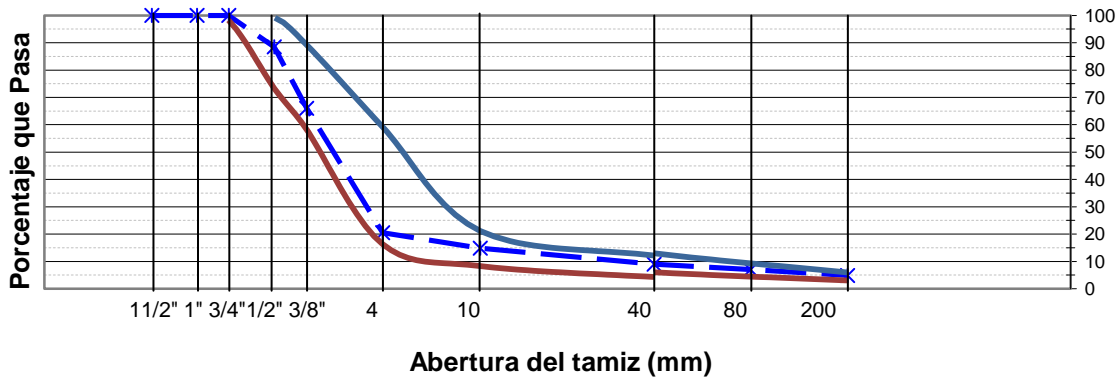
Muestra No.: 081011-C-672

Referencia: MD-1
Fuente: Concrescol

Fecha de muestra: 08/Oct/2011
Fecha de ensayo: 12/Oct/2011

P1= 2130,5		P2= 2040,5		PARÁMETROS	
Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasa Total	453-07	
				MÍNIMO	MÁXIMO
1 1/2" (38,1)			100,0	100	100
1" (25,4)			100,0	100	100
3/4" (19,1)			100,0	100	100
1/2" (12,7)	244,9	11,5	88,5	100	75
3/8" (9,5)	479,6	22,5	66,0	90	60
No. 4 (4,8)	969,5	45,5	20,5	60	18
No. 10 (2,0)	120,5	5,7	14,8	22	10
No. 40 (0,42)	124,3	5,8	9,0	13	6
No. 80 (0,177)	42,6	2,0	7,0		
No. 200 (0,074)	45,3	2,1	4,9	6	3
Fondo	103,8	4,9			

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

Revisó *Luis Fernando Mojica*
Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó *Yanneth Martinez Vargas*
Ing. Yanneth Martinez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó *Oswaldo León Vergara*
Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

**INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
 ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
 (I.N.V. E-227/07)**

A PARTIR DE 1 CARA

Consecutivo: 672

Muestra No: 081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concrescol

Fecha de ensayo: 13/Oct/2011

Tamices		A (g)	F (g)	N (g)	Q (g)	P (%)
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1 "					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1150,3	1065,3	61,9	23,1	93,61
1/2"	3/8"	2160,3	2001,5	143,2	15,6	93,01
TOTALES			3066,8	205,1	38,7	186,62
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS					93	

A= Peso porción de ensayo. (g)

F= Masa de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificadas.(g)


N= Masa de partículas en la categoría de no fracturadas o que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.(g)

Q= Masa de partículas en la categoría cuestionable o frontera.(g)

$$P \text{ PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS} = [(F+Q/2)/(F+Q+N)] \times 100$$

OBSERVACIONES:

Revisó 
 Luis Fernando Mojica
 Laboratorista

Calculó 
 Ing. Yanneth Martinez Vargas
 Ing. Control de Calidad

Aprobó 
 Ing. Oswaldo León Vergara
 Director Técnico

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
(I.N.V. E-227/07)

Consecutivo: 672Muestra No: 081011-C-672Referencia: MD-1Fecha de muestra: 08/Oct/2011Fuente: ConcrescolFecha de ensayo: 13/Oct/2011

Tamices		A (g)	F (g)	N (g)	Q (g)	P (%)
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1 "					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1150,3	969,5	167,9	12,9	84,84
1/2"	3/8"	2160,3	1862,3	282,0	16,0	86,58
TOTALES			2831,8	449,9	28,90	171,42
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS					86	

A= Peso porción de ensayo. (g)

F= Masa de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificadas. (g)

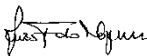
N= Masa de partículas en la categoría de no fracturadas o que no cumplen el criterio de partículas fracturadas. (g)

Q= Masa de partículas en la categoría cuestionable o frontera. (g)

$$P \text{ PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS} = [(F+Q/2)/(F+Q+N)] \times 100$$

OBSERVACIONES:

Revisó


Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó


Ing. Yanneth Martínez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó


Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS
PARA CARRETERAS (I.N.V. E-230/07)

Consecutivo: 672

Muestra No: 081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concrescol

Fecha de ensayo: 13/Oct/2011

ÍNDICE DE APLANAMIENTO (INVE - 230/07)

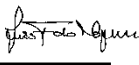
Fracción granulométrica di/Di		Peso de las partículas retenidas en cada fracción	Peso de partículas aplanadas que pasan	Índice de aplanamiento por fracción	M1 (S Ri)	M2 (S mi)
Pasa (Di)	Retiene (di)	Ri (g)	mi (g)	(%)		
1 1/2"	1"				5841,0	633,3
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1150,3	95,6	8,31%		
1/2"	3/8"	2160,3	227,5	10,53%		
3/8"	1/4"	2530,4	310,2	12,26%		
TOTALES					5841,0	633,3
ÍNDICE DE APLANAMIENTO						11%


OBSERVACIONES: _____

ÍNDICE DE ALARGAMIENTO (INVE - 230/07)

Fracción granulométrica di/Di		Peso de las partículas retenidas en cada fracción	Peso de partículas alargadas retenidas	Índice de alargamiento por fracción	M1 (S Ri)	M2 (S mi)
Pasa (Di)	Retiene (di)	Ri (g)	mi (g)	(%)		
1 1/2"	1"				5841,0	1053,3
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1150,3	105,9	9,21%		
1/2"	3/8"	2160,3	351,8	16,28%		
3/8"	1/4"	2530,4	595,6	23,54%		
TOTALES					5841,0	1053,3
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO						18%

OBSERVACIONES: _____

Revisó 
 Luis Fernando Mojica
 Laboratorista

Calculó 
 Ing. Yanneth Martinez Vargas
 Ing. Control de Calidad

Aprobó 
 Ing. Oswaldo León Vergara
 Director Técnico

Los resultados del presente informe corresponden únicamente a la muestra ensayada.
 Prohibida su reproducción sin la aprobación por escrito de la Compañía CONCRESCOL S.A.
 Av. Boyacá No. 80-10 sur.

LAB-006
 Actualizado:2008-11-03

Laboratorio Control Calidad

**INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
ENSAYO DE ANGULARIDAD EN EL AGREGADO FINO
CONTENIDO DE VACIOS DEL AGREGADO FINO NO COMPACTADO (I.N.V. E-239/07)**

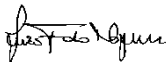
Consecutivo No.: 672Muestra No: 081011-C-672Referencia: MD-1Fecha de muestra: 08/Oct/2011Fuente: ConcrescolFecha de ensayo: 15/Oct/2011

No.	DESCRIPCIÓN	1	2
1	Peso del cilindro (g)	189,0	189,0
2	Volumen del cilindro (cm ³)	99,8	99,8
3	Peso de la muestra + cilindro (g)	331,9	332,1
4	Peso neto de la muestra (g)	142,9	143,1
5	Gravedad especifica de la muestra (g/cm ³)	2,601	2,601
6	Angularidad del agregado fino (%)	44,9	44,9

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO (%) 44,9

OBSERVACIONES:

Revisó



Luis Fernando Mojica

Laboratorista

Calculó



Ing. Yanneth Martinez Vargas

Ing. Control de Calidad

Aprobó



Ing. Oswaldo León Vergara

Director Técnico

Los resultados del presente informe corresponden únicamente a la muestra ensayada.
Prohibida su reproducción sin la aprobación por escrito de la Compañía CONCRESCOL S.A.
Av. Boyacá No. 80-10 sur.

LAB-007
Actualizado:2007/12/20

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (INVE-125/07), ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (INVE-126/07) Y CONTENIDO DE AGUA (INVE-122/07)

Consecutivo No.: 672

Muestra No: 081011-C-672

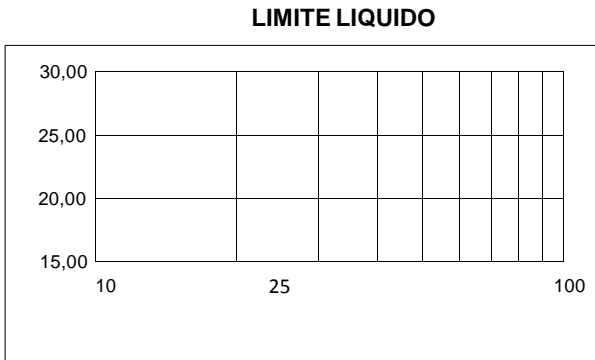
Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concrescol

Fecha de ensayo: 08/Oct/2011

LIMITE LIQUIDO (INV E-125/07)			
No. DE GOLPES			
MUESTRA	No		
RECIPIENTE	No		
P1	g		
P2	g		
P3	g		
W	%		



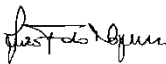
CONTENIDO DE AGUA (INV E-122/07)			
No			
RECIPIENTE	No		
P1	g		
P2	g		
P3	g		
W	%		


LIMITE PLASTICO (INV E-126/07)			
MUESTRA	No		
RECIPIENTE	No		
P1	g		
P2	g		
P3	g		
W	%		

P1= Masa recipiente + muestra húmeda
 P2= Masa recipiente + muestra seca
 P3= Masa recipiente
 W= Humedad en porcentaje

RESULTADOS DE ENSAYO	
LIMITE LIQUIDO (%)	NL
LIMITE PLASTICO (%)	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	-
CONTENIDO DE AGUA (%)	-

OBSERVACIONES:

Revisó 
 Luis Fernando Mojica
 Laboratorista

Calculó 
 Ing. Yanneth Martinez Vargas
 Ing. Control de Calidad

Aprobó 
 Ing. Oswaldo León Vergara
 Director Técnico

Los resultados del presente informe corresponden únicamente a la muestra ensayada.
 Prohibida su reproducción sin la aprobación por escrito de la Compañía CONCRESCOL S.A.
 Av. Boyacá No. 80-10 sur.

LAB-010
 Actualizado:2007-12-20

Sistema de Gestión de la Calidad

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS
(I.N.V E-133/07)

Consecutivo: 672

Muestra No: 081011-C-672

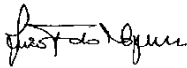
Referencia: MD-1 Fecha de muestra: 08/Nov/2011

Fuente: Concrescol Fecha de ensayo: 14/Oct/2011


Muestra No.	1			2		
	1	2	3	1	2	3
Lectura Arcilla	159	163	158			
Lectura Arena	96	95	98			
Equivalente Arena %	60	58	62			
Promedio %	60					

OBSERVACIONES:


Revisó


 Luis Fernando Mojica
 Laboratorista

Calculó


 Ing. Yanneth Martinez Vargas
 Ing. Control de Calidad

Aprobó


 Ing. Oswaldo León Vergara
 Director Técnico

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD ENSAYO DEL
VALOR DEL AZUL DE METILENO EN AGREGADO FINOS
Y EN LLENANTES MINERALES (INV E-235/07)

Consecutivo No.:

672

Muestra No:

081011-C-672

Referencia:

MD-1

Fecha de muestra:

08/Oct/2011

Fuente:

Concrescol

Fecha de ensayo:

15/Oct/2011

No.	DESCRIPCIÓN	
I	Incrementos de solución de azul de metileno (ml)	0,5
C	Concentración de la solución de azul de metileno (mg/ml)	5,0
V	Solución de azul de metileno total utilizada (ml)	10,5
W	Peso de la muestra seca (g)	10,0

VALOR DEL AZUL DE METILENO (VA)= CV/W

5,3

OBSERVACIONES:

Revisó

Luis Fernando Mojica

Laboratorista

Calculó

Ing. Yanneth Martinez Vargas

Ing. Control de Calidad

Aprobó

Ing. Oswaldo León Vergara

Director Técnico

**INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
ENSAYO DE DETERMINACION DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL
DE LAS PARTICULAS DE AGREGADO GRUESO (I.N.V. E-237/07)**

Consecutivo:

672

Muestra No: 081011-C-672

Referencia:

MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente:

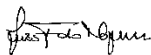
Concrescol

Fecha de ensayo: 12/Oct/2011

ENSAYO No.	UND	
Muestra M (Mh+Mhe)	g	6025,3
Mh (masa húmeda muestra de humedad)	g	2985,6
Mhe (masa húmeda de la porción de ensayo)	g	3039,7
Ms (masa seca muestra de humedad)	g	2952,3
m (masa seca retenida tamiz No. 35)	g	2995,4
w = Humedad Mh-Ms/Mh	%	1,1
Mse (masa seca de la porción de ensayo)	g	3006,2
Impurezas = Mse-m	g	10,8
Coef. Limpieza sup. = ((Mse-m)/Mse)*100		0,36

OBSERVACIONES:

Revisó



Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó



Ing. Yanneth Martinez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó



Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE MATERIA ORGANICA METODO COLORIMETRO
(I.N.V. E-212/07)

Consecutivo: 672

Muestra No: 081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concrescol

Fecha de ensayo: 15/Oct/2011

Frasco	1Y2	Color sobrenadante	gris claro
Muestra	Pasa N.4	Numero	0
Color Arena	gris claro	Nivel de Materia Orgánica	0

TABLA DE COLORES

No. De Color GAERDNEY	Referencia Orgánica	Color	Contenido de Materia Organica
5	1	Amarillo Claro	Muy bajo
8	2	Amarillo	Bajo
11	3	Ambar	Medio
14	4	Ambar Oscuro	Alto
16	5	Negro	Muy Alto

Color Normal de referencia: Ambar

OBSERVACIONES: _____

Revisó 
Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó 
Ing. Yanneth Martinez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó 
Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5mm (1 1/2")
POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
(I.N.V. E-218/07)

Consecutivo No: 672
Muestra No: 081011-C-672
 Referencia: MD-1
Fecha de muestra: 08/Oct/2011
 Fuente: Concrecol
Fecha de ensayo: 17/Oct/2011

Muestra No.	1
Gradación usada	B
No. De esferas	11
No. De revoluciones	500
Pa: Peso muestra seca inicial (g)	5002,1
Pb: Peso muestra seca final (g)	3756,2
Pérdida= Pa - Pb	1245,9
% Desgaste (Pa-Pb)/Pa	25%

Tamices			Masa y granulometría de la muestra					
Pasa	Retiene	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"						2500	5000	
2"						5000	5000	5000
1 1/2"		1250						
1"	3/4"	1250						
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. de esferas		12	11	8	6	12	12	12
No. de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES:

Revisó
 Luis Fernando Mojica
 Laboratorista

Calculó
 Ing. Yanneth Martínez Vargas
 Ing. Control de Calidad

Aprobó
 Ing. Oswaldo León Vergara
 Director Técnico

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5mm (1 1/2")
POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
(I.N.V. E-218/07)

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5mm (1 1/2")
POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
(I.N.V. E-218/07)

Consecutivo No: 672

Muestra No: 081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concrescol

Fecha de ensayo: 17/Oct/2011

Muestra No.	1
Gradación usada	B
No. De esferas	11
No. De revoluciones	500
Pa: Peso muestra seca inicial (g)	5000,8
Pb: Peso muestra seca final (g)	3623,1
Pérdida= Pa - Pb	1377,7
% Desgaste (Pa-Pb)/Pa	27,55%

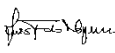
Tamices			Masa y granulometría de la muestra					
Pasa	Retiene	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	espues de 48h de inmersión					2500	5000	
2"	n húmedo/seco (500rev)					5000	5000	5000
1 1/2"		1250						
1"	3/4"	1250						
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. de esferas		12	11	8	6	12	12	12
No. de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES:


Desgaste despues de 48h de inmersión

Relación húmedo/seco (500rev) 27,55% / 24,91% 1,11


Revisó


Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó


Ing. Yanneth Martínez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó


Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

Consecutivo No:

672

Muestra No:

081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concescol

Fecha de ensayo: 17/Oct/2011

Muestra No.	1
Gradación usada	B
No. De esferas	11
No. De revoluciones	100
Pa: Peso muestra seca inicial (g)	5002,1
Pb: Peso muestra seca final (g)	4745,9
Pérdida= Pa - Pb	256,2
% Desgaste (Pa-Pb)/Pa	5,12%

Tamices			Masa y granulometría de la muestra					
Pasa	Retiene	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	Desgaste en seco					2500	5000	
2"						5000	5000	5000
1 1/2"		1250						
1"	3/4"	1250						
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. de esferas		12	11	8	6	12	12	12
No. de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES:

Desgaste en seco

Revisó

Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó

Ing. Yanneth Martínez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó

Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

**INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
ENSAYO PARA LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN DE ABRASIÓN
EN EL APARATO MICRO - DEVAL (I.N.V. E-238/07)**

Consecutivo No: 672 Muestra No: 081011-C-672
Referencia: MD-1 Fecha de muestra: 08-Oct-11
Fuente: Concrescol Fecha de ensayo: 18-Oct-11

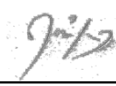
Muestra No.	1	2
Gradación usada	B	B
Masa de esferas (g)	5000	5000
No. De revoluciones (RPM)	10500(100)	10500(100)
Pa: Peso muestra seca inicial (g)	1503,2	1500,4
Pb: Peso muestra seca final (g)	1326,8	1330,2
Pérdida Micro - Deval Individual (%)	11,7	11,3
Pérdida Micro - Deval Promedio (%)	12	

Pérdida Micro - Deval (%) = $\frac{Pa - Pb}{Pa}$

Tamices		Masa y granulometría de la muestra (g)		
Pasa (pulg - mm)	Retiene (pulg - mm)	Tamaño nominal máximo		
		A = $\geq 3/4"$	B = $1/2"$	C = $\leq 3/8"$
3/4" (19,0)	5/8" (16,0)	375		
5/8" (16,0)	1/2" (12,5)	375		
1/2" (12,5)	3/8" (9,5)	750	750	
3/8" (9,5)	1/4" (6,3)		375	750
1/4" (6,3)	No. 4 (4,75)		375	750
No. 4 (4,8)	No. 8 (2,36)			
Carga abrasiva - esferas (g)		5000+/-5	5000+/-5	5000+/-5
Tiempo de ensayo (min)		120 +/- 1	105 +/- 1	95 +/- 1
RPM		100 +/- 5	100 +/- 5	100 +/- 5

OBSERVACIONES: _____

Revisó 
Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó 
Ing. Yanneth Martinez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó 
Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

Concrescol S.A.

Laboratorio de Control de calidad

INFORME DE ENSAYO

INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
ENSAYO DE EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO
DEL 10% FINOS (INV E-224/07)

Consecutivo No.: 672Muestra No: 081011-C-672

Referencia: MD-1
 Fuente: Concrescol

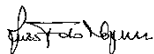
Fecha de muestra: 08/Oct/2011
 Fecha de ensayo: 18/Oct/2011

MATERIAL SECO	
Masa del material que contiene el recipiente cilindrico (g)	2689,5
Masa del material retenido en el tamiz No. 8 después de la aplicación de carga (g)	2395,6
Penetración del pistón de carga (Mm.)	22,0
% FINOS	10,9
CARGA (KN)	215,64

MATERIAL HÚMEDO	
Masa del material que contiene el recipiente cilíndrico (g)	2655,4
Masa del material retenido en el tamiz No. 8 después de la aplicación de carga (g)	2402,3
Penetración del pistón de carga (Mm.)	22,0
% FINOS	9,5
CARGA (KN)	184,44

% FINOS RELACIÓN HÚMEDO/SECO: 85,5

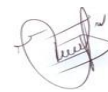
OBSERVACIONES:	<u>10% DE FINOS SECO</u>	<u>202,2</u>
	<u>10% FINOS HUMEDO</u>	<u>190,8</u>
	<u>10% FINOS RELACION HUMEDO/SECO</u>	<u>94,4</u>

Revisó

Luis Fernando Mojica
 Laboratorio

Calculó

Ing. Yanneth Martinez Vargas
 Ing. Control de Calidad

Aprobó

Ing. Oswaldo León Vergara
 Director Técnico

**INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD ENSAYO
DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN
DEL SULFATO DE MAGNESIO (INV E-220/07)**

Consecutivo No.: 672

Muestra No: 081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

Fuente: Concrescol

Fecha de ensayo: 25/Oct/2011

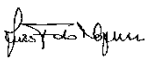
SANIDAD DEL AGREGADO GRUESO


FRACCIÓN		Gradación original (%)	Masa de la fracción ensayada (g)	No de partículas al iniciar el ensayo	Masa después del ensayo (g)	No de partículas después del ensayo	Pérdida en peso %	Perdida ponderada %
Pasa	Retiene							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"	11,5	668,3		592,3		11,4	1,3
1/2"	3/8"	22,5	330,0		284,7		13,7	3,1
3/8"	No. 4	45,5	300,0		259,8		13,4	6,1
TOTAL							38,5	10,5


SANIDAD DEL AGREGADO FINO

FRACCIÓN		Gradación original (%)	Masa de la fracción ensayada (g)	Masa después del ensayo (g)	Pérdida en peso %	Perdida ponderada %
Pasa	Retiene					
3/8"	No. 4					
No. 4	No. 8	4,9	100,0	90,2	9,8	0,5
No. 8	No. 16	3,8	100,0	87,4	12,6	0,5
No. 16	No. 30	2,1	100,0	91,4	8,6	0,2
No. 30	No. 50	1,7	100,0	92,1	7,9	0,1
No. 50	No. 100	1,6	100,0	90,5	9,5	0,1
TOTAL					48,4	1,4

OBSERVACIONES:

Revisó 
Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó 
Ing. Yanneth Martinez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó 
Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

Sistema de Gestión de la Calidad

**INFORME DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS
(INV E-223/07)**

Consecutivo No:

672

Muestra No:

081011-C-672

Referencia: MD-1

Fecha de muestra: 08/Oct/2011

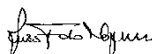
Fuente: ConcrescolFecha de ensayo: 22/Oct/2011

No.	DESCRIPCION	1	2	3	Promedio
1	Peso al aire material S.S.S. (g) (B)	1723,6	1820,6	1564,2	
2	Peso canastilla + muestra sumergida (C)	1063,8	1122,8	966,9	
3	Peso seco al aire después de sumergida (A)	1694,0	1788,9	1538,2	

4	Agua Absorbida (B-A)	29,6	31,7	26,0	
5	Volumen muestra saturada (B-C)	659,8	697,8	597,3	
6	Volumen de sólidos (A-C)	630,2	666,1	571,3	
7	Peso específico Bulk o Aparente	2,567	2,564	2,575	2,569
8	Peso específico Bulk SSS	2,612	2,609	2,619	2,613
9	Peso específico Nominal	2,688	2,686	2,692	2,689
10	Absorción %	1,75	1,77	1,69	1,74

OBSERVACIONES:

Revisó



Luis Fernando Mojica
Laboratorista

Calculó



Ing. Yanneth Martinez Vargas
Ing. Control de Calidad

Aprobó



Ing. Oswaldo León Vergara
Director Técnico

Los resultados del presente informe corresponden únicamente a la muestra ensayada.
Prohibida su reproducción sin la aprobación por escrito de la Compañía.
Av. Boyacá No. 80-10 sur.

LAB-020
Actualizado:2009-03-27

B. Anexo: Resultados de Módulo Dinámicos



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL

CÓDIGO: NTC-309

FECHA: 04-Feb-2010

VERSIÓN: 0

Página 1 de 2

INFORME DE RESULTADOS - MODULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
INV E 754-7

ORDEN DE TRABAJO
084-E-11
INFORME N°
084-006

Muestra : 1716

Referencia: BLANCO 3.5% DE ASFALTO

Fecha de Ensayo : 2011-12-22

Fecha de Recepción : 2011-12-19

Diámetro Promedio : 10.36 cm

Altura Promedio: 22.30 cm


Área Promedio: 84.30 cm²

Temperatura de Ensayo [°C]	Frecuencia [Hz]	Amplitudes de Carga Promedio [kgf]	Deformación Unitaria Promedio [mm/mm]	Modulo Dinámico Promedio [kgf/cm ²]	Incertidumbre ± [kgf/cm ²]
5	1	179	0.00047	44977	1504
	4	180	0.00039	54184	1803
	10	189	0.00038	58511	1855
	16	207	0.00038	65418	1896
25	1	179	0.00155	13723	459
	4	179	0.00112	19040	638
	10	192	0.00097	23329	730
	16	206	0.00096	25410	738
40	1	179	0.00342	6208	208
	4	178	0.00290	7298	246
	10	186	0.00258	8567	276
	16	202	0.00247	9674	288

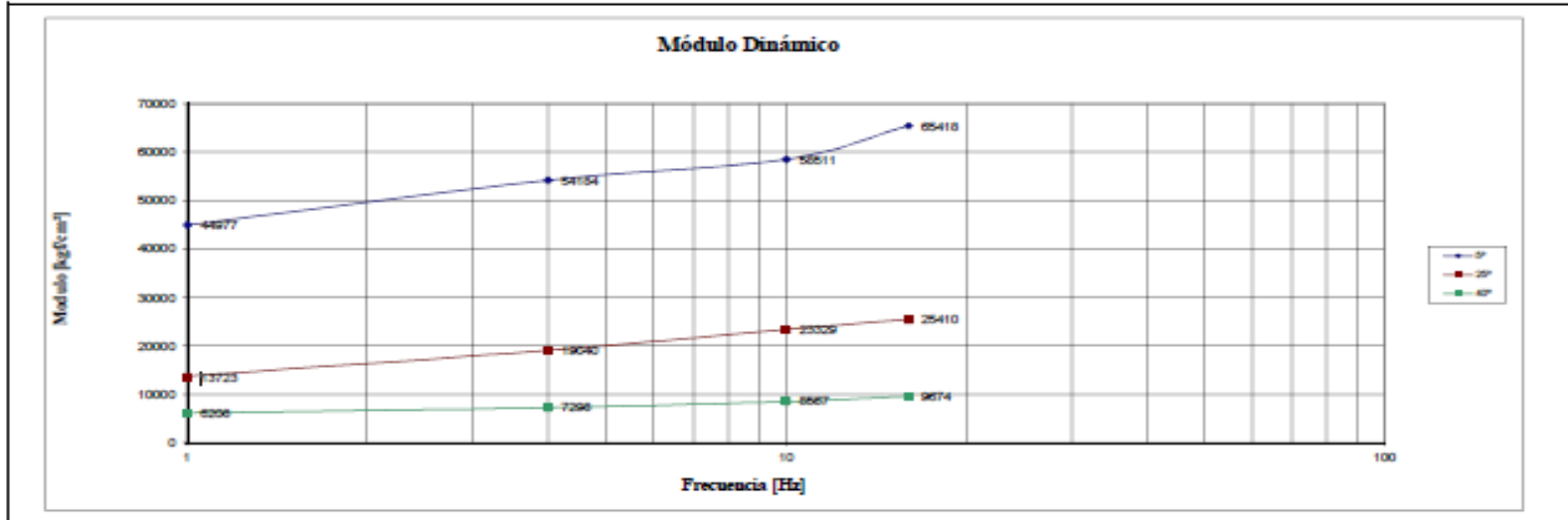
CLIENTE: CAROL PATRICIA LÓPEZ

DIRECCION: UNIVERSIDAD NACIONAL

EL PRESENTE ENSAYO NO PODRA REPRODUCIRSE NI PARCIAL NI TOTALMENTE SIN LA APROBACION POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO
LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SOLO SON APLICABLES A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-300 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0 Página 2 de 2
	INFORME DE RESULTADOS - MÓDULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-006	Muestra : <u>1716</u> Referencia: <u>BLANCO 3.5% DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	---




OBSERVACIONES GENERALES:

EL CLIENTE SUMINISTRA SOLO UNA PROBETA PARA REALIZAR EL ENSAYO

_____ Alejandro Peña León Profesional Analista de Calidad	_____ Héctor Eduardo Pérez Coordinador Administrativo
---	---

FIN DEL INFORME


	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0
	INFORME DE RESULTADOS - MÓDULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	Página 1 de 2

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-007	Muestra : <u>1717</u> Referencia: <u>AZUL 4.0% DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	---

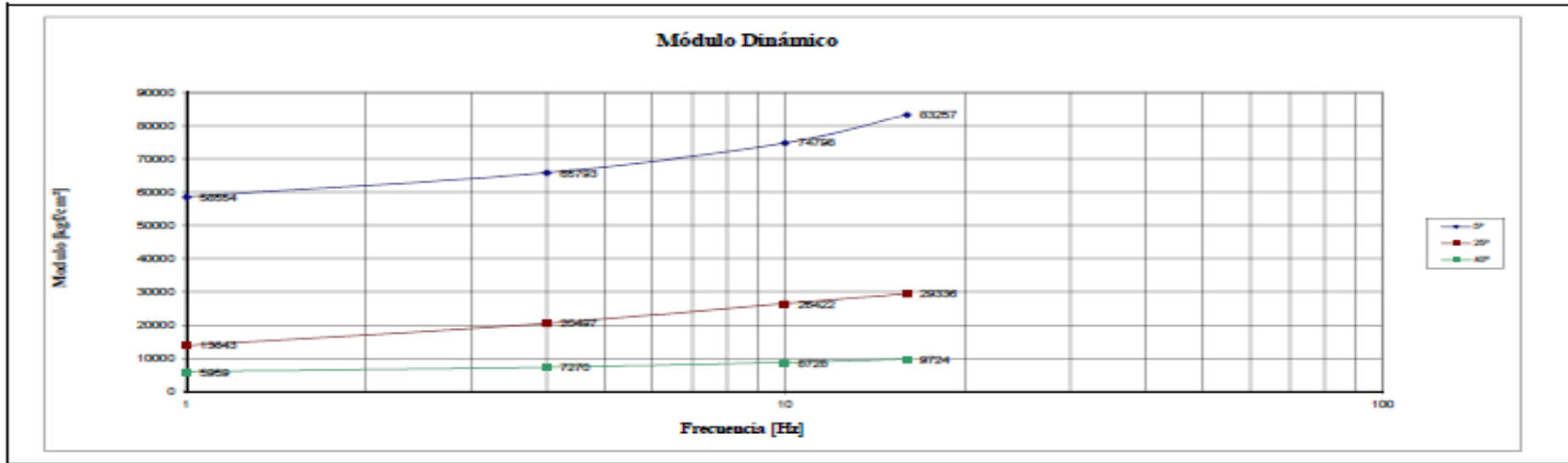
Diámetro Promedio : <u>10.34</u> cm Altura Promedio: <u>22.40</u> cm	Area Promedio: <u>83.97</u> cm ²
---	---

Temperatura de Ensayo [°C]	Frecuencia [Hz]	Amplitudes de Carga Promedio [kgf]	Deformación Unitaria Promedio [mm/mm]	Modulo Dinámico Promedio [kgf/cm ²]	Incertidumbre ± [kgf/cm ²]
5	1	179	0.000036	58554	1966
	4	180	0.000033	65793	2189
	10	195	0.000031	74798	2305
	16	209	0.000030	83257	2388
25	1	179	0.000154	13843	464
	4	179	0.000104	20497	698
	10	194	0.000087	26422	819
	16	208	0.000084	29336	855
40	1	179	0.000357	5959	200
	4	178	0.000291	7270	246
	10	186	0.000254	8728	282
	16	197	0.000241	9724	296

CLIENTE: <u>CAROL PATRICIA LÓPEZ</u>	DIRECCION: <u>UNIVERSIDAD NACIONAL</u>
EL PRESENTE ENSAYO NO PODRÁ REPRODUCIRSE NI PARCIAL NI TOTALMENTE SIN LA APROBACION POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SOLO SON APLICABLES A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.	

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0 Página 2 de 2
	INFORME DE RESULTADOS - MÓDULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-007	Muestra : <u>1717</u> Referencia: <u>AZUL 4.0% DE ASFALTO</u> Fecha de Encayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	---




OBSERVACIONES GENERALES:

EL CLIENTE SUMINISTRA SOLO UNA PROBETA PARA REALIZAR EL ENSAYO

_____ Alejandro Peña León Profesional Analista de Calidad	_____ Héctor Eduardo Pérez Coordinador Administrativo
---	---

FIN DEL INFORME


	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0
	INFORME DE RESULTADOS - MODULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	Página 1 de 2

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-008	Muestra : <u>1718</u> Referencia: <u>NARANJA 4.5% DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	--

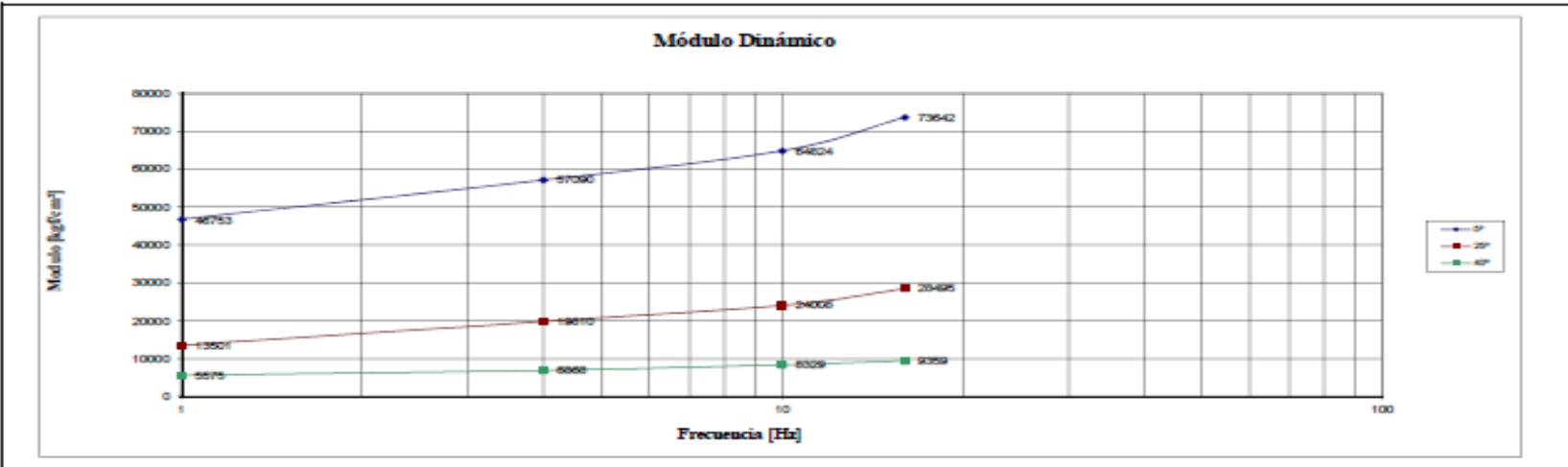
Diámetro Promedio : <u>10.35</u> cm Altura Promedio : <u>23.00</u> cm	Area Promedio : <u>84.13</u> cm ²
--	--

Temperatura de Ensayo [°C]	Frecuencia [Hz]	Amplitudes de Carga Promedio [kgf]	Deformación Unitaria Promedio [mm/mm]	Modulo Dinámico Promedio [kgf/cm ²]	Incertidumbre ± [kgf/cm ²]
5	1	180	0.000046	46753	1561
	4	181	0.000038	57090	1893
	10	189	0.000035	64824	2054
	16	212	0.000034	73842	2085
25	1	179	0.000158	13501	452
	4	179	0.000108	19810	662
	10	189	0.000094	24008	761
	16	205	0.000085	28495	836
40	1	179	0.000381	5575	187
	4	177	0.000306	6868	233
	10	185	0.000265	8329	270
	16	196	0.000249	9359	287

CLIENTE: <u>CAROL PATRICIA LÓPEZ</u>	DIRECCION: <u>UNIVERSIDAD NACIONAL</u>
EL PRESENTE ENSAYO NO PODRÁ REPRODUCIRSE NI PARCIAL NI TOTALMENTE SIN LA APROBACION POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SOLO SON APLICABLES A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.	

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0 Página 2 de 2
	INFORME DE RESULTADOS - MÓDULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-008	Muestra : <u>1718</u> Referencia: <u>NARANJA 4.5% DE ASFALTO</u> Fecha de Encayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	--




OBSERVACIONES GENERALES:

EL CLIENTE SOLO SUMINISTRA UNA PROBETA PARA REALIZAR EL ENSAYO

_____ Alejandro Peña León Profesional Analista de Calidad	_____ Héctor Eduardo Pérez Coordinador Administrativo
---	---

FIN DEL INFORME


	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0
	INFORME DE RESULTADOS - MODULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	Página 1 de 2

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-010	Muestra : <u>1720</u> Referencia: <u>VERDE 5.0 % DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	---

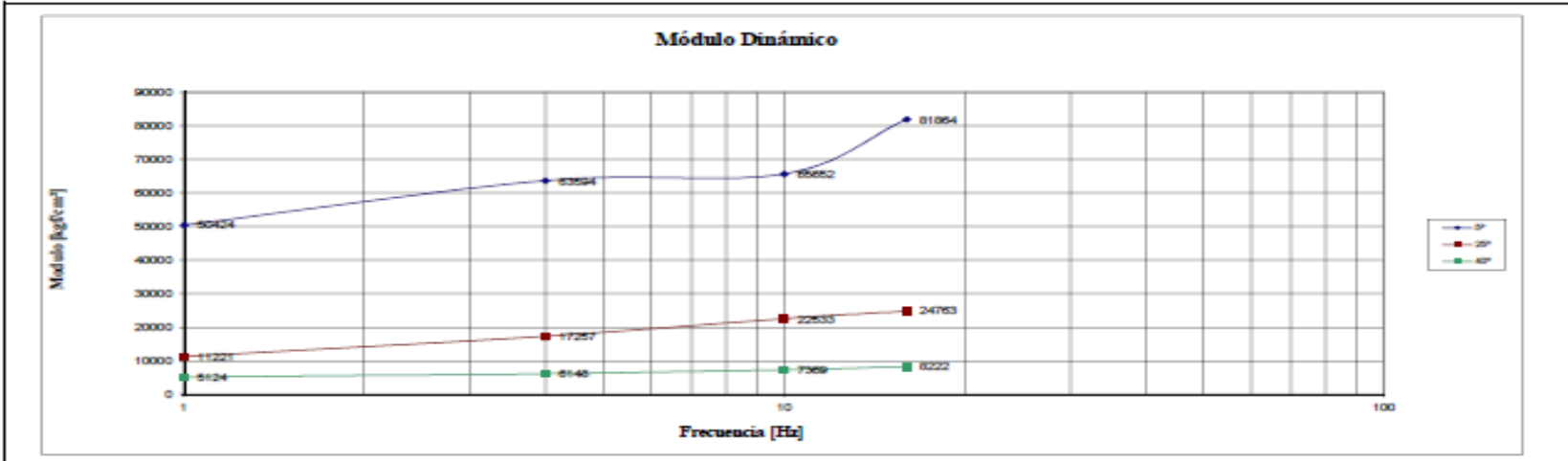
Diámetro Promedio : <u>10.35</u> cm Altura Promedio: <u>23.00</u> cm	Area Promedio: <u>84.13</u> cm ²
---	---

Temperatura de Ensayo [°C]	Frecuencia [Hz]	Amplitudes de Carga Promedio [kgf]	Deformación Unitaria Promedio [mm/mm]	Modulo Dinámico Promedio [kgf/cm ²]	Incertidumbre ± [kgf/cm ²]
5	1	178	0.000042	50424	1695
	4	180	0.000034	63594	2124
	10	196	0.000035	65652	2014
	16	208	0.000030	81864	2362
25	1	179	0.000189	11221	377
	4	180	0.000124	17257	576
	10	189	0.000100	22533	715
	16	205	0.000099	24763	724
40	1	178	0.000414	5124	172
	4	176	0.000341	6148	209
	10	184	0.000296	7369	241
	16	191	0.000276	8222	259

CLIENTE: <u>CAROL PATRICIA LÓPEZ</u>	DIRECCION: <u>UNIVERSIDAD NACIONAL</u>
EL PRESENTE ENSAYO NO PODRA REPRODUCIRSE NI PARCIAL NI TOTALMENTE SIN LA APROBACION POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SOLO SON APLICABLES A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.	

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0 Página 2 de 2
	INFORME DE RESULTADOS - MODULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754.7	


ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-010	Muestra : <u>1720</u> Referencia: <u>VERDE 5.0 % DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	---



OBSERVACIONES GENERALES:

EL CLIENTE SUMINISTRA SOLO UNA PROBETA PARA REALIZAR EL ENSAYO

_____ Alejandro Peña León Profesional Analista de Calidad	_____ Héctor Eduardo Pérez Coordinador Administrativo
---	---


	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0
	INFORME DE RESULTADOS - MODULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754-7	Página 1 de 2

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-009	Muestra : <u>1719</u> Referencia: <u>ROJO 5.5 % DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	--

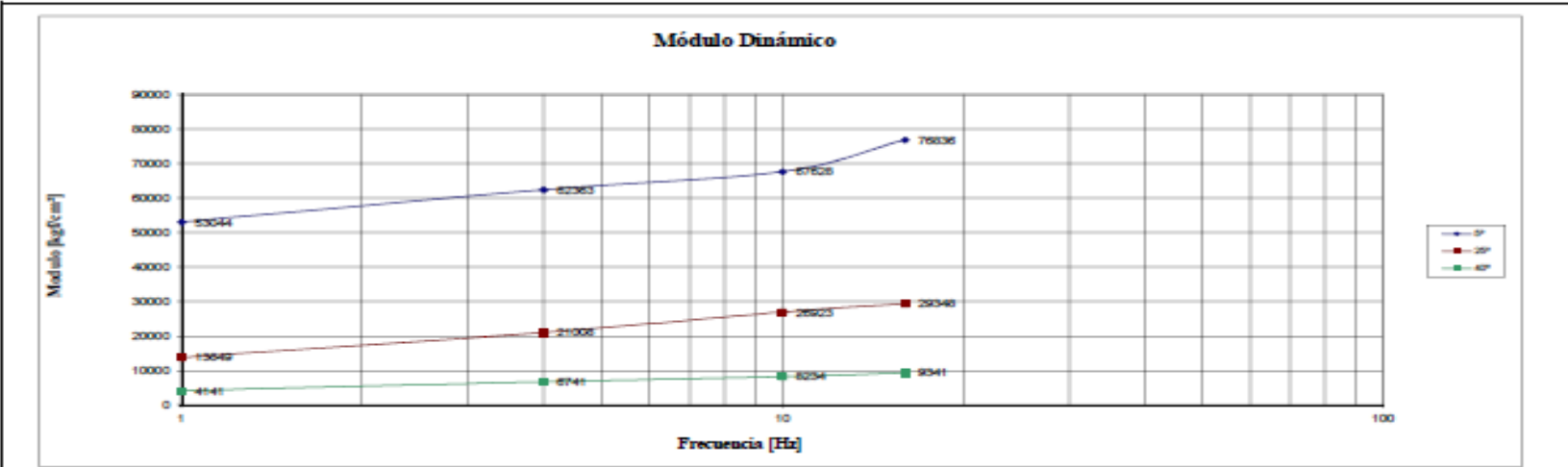
Diámetro Promedio : <u>10.35</u> cm Altura Promedio: <u>23.00</u> cm	Area Promedio: <u>84.30</u> cm ²
---	---

Temperatura de Ensayo [°C]	Frecuencia [Hz]	Amplitudes de Carga Promedio [kgf]	Deformación Unitaria Promedio [mm/mm]	Modulo Dinámico Promedio [kgf/cm ²]	Incertidumbre ± [kgf/cm ²]
5	1	179	0.000040	53044	1780
	4	180	0.000034	62363	2080
	10	197	0.000034	67628	2064
	16	207	0.000032	76836	2224
25	1	179	0.000153	13849	464
	4	180	0.000101	21008	702
	10	187	0.000082	26923	864
	16	205	0.000083	29348	858
40	1	179	0.000513	4141	139
	4	177	0.000311	6741	229
	10	185	0.000267	8234	267
	16	195	0.000248	9341	287

CLIENTE: <u>CAROL PATRICIA LÓPEZ</u>	DIRECCION: <u>UNIVERSIDAD NACIONAL</u>
EL PRESENTE ENSAYO NO PODRA REPRODUCIRSE NI PARCIAL NI TOTALMENTE SIN LA APROBACION POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SOLO SON APLICABLES A LAS MUESTRAS ENSAYADAS.	

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	CÓDIGO: NTC-309 FECHA: 04-Feb-2010 VERSIÓN: 0 Página 2 de 2
	INFORME DE RESULTADOS - MÓDULO DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INV E 754.7	

ORDEN DE TRABAJO 084-E-11 INFORME N° 084-009	Muestra : <u>1719</u> Referencia: <u>ROJO 5.5 % DE ASFALTO</u> Fecha de Ensayo : <u>2011-12-22</u> Fecha de Recepción : <u>2011-12-19</u>
---	--



OBSERVACIONES GENERALES:

EL CLIENTE SOLO SUMINISTRA UNA PROBETA PARA REALIZAR EL ENSAYO.

 Alejandro Peña León
 Profesional Analista de Calidad

 Héctor Eduardo Pérez
 Coordinador Administrativo

FIN DEL INFORME

**C. Anexo: Resultados de laboratorio
Marshall, Densidad, Vacíos, Raice,
Cántabro, Tracción Indirecta,
Escurrecimiento**



**REPORTE RESULTADOS DE LABORATORIO - PRIMERA CAMPAÑA
GEOTECNICA (CONCESCOL Y UNIVERSIDAD NACIONAL)**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

3,5% DE LIGANTE ASFALTICO

DENSIDAD , ESTABILIDAD, FLUJO Y VACIOS

BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Peso en el aire (g)	1146.8	1145.5	1146.5	1148	1151.1	1143.3
Peso en el agua 25°C (g)	652.3	653.6	650.7	647.8	655.9	652.8
Peso SSS (g)	1165.6	1166.4	1165.9	1164.9	1168.5	1163.8
Espesor (cm)	7.17	7.07	7.2	7.07	7.22	7.06
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16
Estabilidad Kgf	1252	1441	1286	1417	1250	1172
Factor de correccion	0.828	0.845	0.824	0.845	0.821	0.847
Estabilidad correctiva Kgf	1037	1218	1060	1197	1026	993
Flujo 0.01"	10	13	12	11.5	11	13
Flujo mm	2.5	3.3	3.0	2.9	2.8	3.3
Volumen efectiva bulk cm³	513.3	512.8	515.2	517.1	512.6	511.0
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.234	2.234	2.225	2.220	2.246	2.237

DENSIDAD , ESTABILIDAD, FLUJO Y VACIOS

	1'	2'	3'	4'
Peso en el aire (g)	1139.4	1144	1142.3	1142
Peso en el agua 25°C (g)	650.1	653.7	652.7	650.9
Peso SSS (g)	1158.5	1160.5	1159.1	1159.2
Espesor (cm)	7.36	7.42	7.45	7.24
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Estabilidad Kgf	1157	1022	1122	1128
Factor de correccion	0.8	0.788	0.782	0.819
Estabilidad correctiva Kgf	926	805	877	924
Flujo 0.01"	11	12	10	11
Flujo mm	2.8	3.0	2.5	2.8
Volumen efectiva bulk cm³	508.4	506.8	506.4	508.3
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.241	2.257	2.256	2.247

Página 1

Rice

A = Peso de la muestra seca en el aire	1781.9	1781.9	1781.9	1781.9	1781.9	1782
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370	7370	7370
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8423.2	8423.2	8423.2	8423.2	8423.2	8423
Rice g/cm³	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445
Vacios Final Bulk %	8,63	8,65	9,00	9,21	8,17	8,50
Volumen Geometrico cm³	581.3	573.2	583.7	573.2	585.3	572.4
Densidad Geometrica g/cm³	1.973	1.998	1.964	2.003	1.967	1.997
Vacios (Va)%	19.32	18.27	19.68	18.09	19.58	18.31

A = Peso de la muestra seca en el aire	1781.9	1781.9	1781.9	1781.9
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8423.2	8423.2	8423.2	8423.2
Rice g/cm³	2.445	2.445	2.445	2.445
Vacios Final Bulk %	8,35	7,69	7,75	8,12
Volumen Geometrico cm³	596.7	601.6	604.0	587.0
Densidad Geometrica g/cm³	1.910	1.902	1.891	1.946
Vacios (Va)%	21.91	22.23	22.66	20.44

DENSIDAD PARAFINADA

	1	2	3
Peso en el aire (g)	1145.4	1148.3	1146
Peso aire + parafina (g)	1179.8	1215.4	1199.3
Peso en el agua con parafina 25°C (g)	604.6	594.9	607.4
Espesor (cm)	7.17	7.07	7.2
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16
Densidad o masa unitario del especimen g/cm³	2.130	2.104	2.150
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.137	2.110	2.157
A = Peso de la muestra seca en el aire	1781.9	1781.9	1781.9
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8423.2	8423.2	8423.2
Rice g/cm³	2.445	2.445	2.445
Vacios Final Bulk %	12,63	13,72	11,80

Nota: Se realizó 2da verificación de Densidad, Estabilidad, flujo y Vacios se realizo los calculos con las briquetas denominadas 1', 2', 3', 4' las cuales cumplen con % de vacios (20-25%)

MUESTRAS CON LAS QUE SE CALCULO

CANTABRO SECO	CANTABRO INMER
Muestras 5 Y 6	Muestras 1 y 2
DESGASTE 32,69	DESGASTE 41,440
VACIOS 20,03	VACIOS 20,19
DENSIDAD 1,956	DENSIDAD 1,952

CANTABRO

Estado del ensayo	HUMEDO			SECO		
	Briqueta N°	1	2	3	4	5
Peso en el aire (g)	1174.4	1149.9	1144.3	1193.5	1145	1142.7
Espesor (cm)	7.44	7.25	7.34	7.65	7.25	7.18
Peso final (g)	758.6	604	502.1	706.3	776.9	762.9
%Desgaste	35.4	47.5	56.1	40.8	32.1	33.2
Promedios		46.3			35.4	
Relacion Inmersión/ seco				130.8775		
Datos						
Volumen Geometrico cm³	603.2	587.8	595.1	620.2	587.8	582.1
Densidad Geometrica g/cm³	1.947	1.956	1.923	1.924	1.948	1.963
Vacios (Va)%	20.38	20.00	21.36	21.30	20.34	19.72

INFORME DE LABORATORIO								UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA T.S.R. (I.N.V. E-725/07)									
Tipo de mezcla: MD-1 Mezcla asfáltica drenante				Fecha de muestra: 05 de Octubre de 2011					
Tipo de asfalto: Tipo 1				Fecha de ensayo: 07 de Octubre de 2011					
Porcentaje de asfalto de la mezcla: 3.5%				No. De golpes de compactación: 50 por cara					
Gravedad específica máxima teórica de la mezcla:				2,445 g/cm ³					
PESO ESPECÍFICO APARENTE (INVE 733), PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS								DATOS PROMEDIO	
No.	Briqueta No.	1	2	3	4	5	6		
	Diametro (Mm.)	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6		
	Altura (Mm.)	72,2	73,6	72,6	72,8	72,6	73		
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1142,3	1148,1	1149,4	1149,2	1147	1147,1		
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1161,7	1168,9	1169,6	1168,7	1166,5	1169		
C	Peso del núcleo en agua (g)	648,7	650,1	654,6	654,2	658,8	649,1		
D	Volumen (B-C) (cm ³)	513,0	518,8	515,0	514,5	507,7	519,9		
	Volumen geométrico (cm ³)	585,3	596,7	588,6	590,2	588,6	591,8		
E	Peso Especifico Aparente de la mezcla (g/cm ³) (G.E. Bulk)	2,227	2,213	2,232	2,234	2,259	2,206	DENSIDAD GEOMETRICA	
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (G.E. Máxima)	2,445	2,445	2,445	2,445	2,445	2,445	INM	1,950
E'	densidad geométrico (g/cm ³)	1,951	1,924	1,953	1,947	1,949	1,938	SECO	1,937
F	Porcentaje de volumen de vacios con aire (%)	8,9	9,5	8,7	8,6	7,6	9,8		
F'	Volumne de vacios de aire geométrica (%)	20,2	21,3	20,1	20,4	20,3	20,7		
G	Volumen de vacios en el especimen (cm ³)	45,8	49,2	44,9	44,5	38,6	50,7		
CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS								VACIOS (GEOMETRICO)	
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE				
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		2	5	6	8,95			INM	20,78
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		1	3	4	8,76			SECO	20,23
SATURACION MEDIANTE VACIO									
No.	Briqueta No.	1	3	4					
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1142,3	1149,4	1149,2					
B'	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1176,6	1180,9	1181,6					
C	Peso del núcleo en agua (g)	649,8	662	655,1					
D'	Volumen (B' - C) (cm ³)	526,8	518,3	526,5					
H	Volumen absorbido de agua (B'-A)	34,30	30,90	32,40					
K	Volumen de vacios en el	45,80	44,90	44,48					
I	% Saturación (H/K) x 100	74,89	68,82	72,84					
J	% Hinchamiento (D'-D) x 100	2,69	0,64	2,33					
		2,69005848		0,640776699	2,332361516				
ACONDICIONAMIENTO DE 24h EN AGUA A 60°C									
No.	Briqueta No.	1	3	4					
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1142,3	1149,4	1149,2					
B''	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1196,8	1207,5	1201,6					
C'	Peso del núcleo en agua (g)	660,7	661,3	662					
D''	Volumen (B'' - C') (cm ³)	536,1	546,2	539,6					
H'	Volumen absorbido de agua (B''-A)	54,50	58,10	52,40					
I'	% Saturación (H'/G) x 100	118,99	129,41	117,81					
J'	% Hinchamiento (D''-D) x 100	4,50	6,06	4,88					
		4,50		6,06	4,88				
RESISTENCIA A LA TENSIÓN									
PROBETAS EN SECO									
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Diámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)			
1	2	73,6	101,6	765	651,3	92,7			
	5	72,6	101,6	777	670,6	95,4			
	6	73,0	101,6	815	699,6	99,5			
RESISTENCIA A LA TENSIÓN PROMEDIO				(Kpa)	673,8				
				(PSI)	95,9				
PROBETAS ACONDICIONADAS AL AGUA									
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Diámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)			
2	1	72,2	101,6	764	663,0	94,3			
	3	72,6	101,6	691	596,4	84,8			
	4	72,8	101,6	624	537,1	76,4			
RESISTENCIA A LA TENSIÓN PROMEDIO				(Kpa)	598,8				
				(PSI)	85,2				
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)					88,9				
OBSERVACIONES:									



**REPORTE RESULTADOS DE LABORATORIO - PRIMERA CAMPAÑA
GEOTECNICA (CONCRESCOL Y UNIVERSIDAD NACIONAL)**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

4,0% DE LIGANTE ASFALTICO

ESTABILIDAD, FLUJO, DENSIDAD GEOMÉTRICA, Y PORCENTAJE DE VACIOS

	1	2	3	4	5	6
Peso en el aire (g)	1145,9	1149,2	1148,8	1148,4	1145,8	1142,7
Peso en el agua 25°C (g)	651,5	650,7	651,5	647	647,1	648,9
Peso SSS (g)	1165,4	1164,3	1169,8	1168,2	1165,9	1164,7
Espesor (cm)	7,15	7,03	7,18	7,08	7,26	7,17
Diametro (cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Estabilidad Kgf	1127	1291	1255	1414	1390	1329
Factor de correccion	0,83	0,853	0,826	0,843	0,816	0,828
Estabilidad correctiva Kgf	935	1101	1037	1192	1134	1100
Flujo 0,01"	9	14	11	8	14	15
Flujo mm	2,3	3,6	2,8	2,0	3,6	3,8
Volumen efectiva bulk cm³	513,9	513,6	518,3	521,2	518,8	515,8
Densidad efectiva bulk g/cm³	2,230	2,238	2,216	2,203	2,209	2,215

**ESTABILIDAD, FLUJO, DENSIDAD GEOMÉTRICA, Y
PORCENTAJE DE VACIOS**

	1'	2'	3'	4'	PROMEDIO
	1142,4	1147	1138,9	1132,8	
	654,1	655,5	647,3	639,6	
	1159,5	1164,1	1153,5	1149,4	
	7,5	7,33	7,43	7,25	
	10,16	10,16	10,16	10,16	
	956	1332	1238	1098	1156
	0,775	0,806	0,786	0,818	
	741	1074	973	898	921
	12,5	14	11	13	12,6
	3,2	3,6	2,8	3,3	3,2
	505,4	508,6	506,2	509,8	
	2,260	2,255	2,250	2,222	

Rice

A = Peso de la muestra seca en el aire	1739	1739	1739	1739	1739	1739
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370	7370	7370
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8396,8	8396,8	8396,8	8396,8	8396,8	8396,8
Rice g/cm³	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442
Vacios Final Bulk %	8,68	8,36	9,23	9,76	9,55	9,27
Volumen Geometrico cm³	579,7	569,9	602,1	574,0	588,6	581,3
Densidad Geometrica g/cm³	1,977	2,016	1,974	2,001	1,947	1,966
Vacios (Va)%	19,04	17,42	19,18	18,06	20,27	19,49

	1739	1739	1739	1739	
	7370	7370	7370	7370	
	8396,8	8396,8	8396,8	8396,8	
	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442
	7,43	7,64	7,86	9,00	
	608,0	594,3	602,4	587,8	598,12
	1,879	1,930	1,891	1,927	1,907
	23,05	20,95	22,57	21,07	21,91

DENSIDAD PARAFINADA

Briqueta N°	1	2	3	4
Peso en el aire (g)	1141,1	1148,8	1142,8	1146,3
Peso aire + parafina (g)	1208,3	1202	1192	1201
Peso en el agua con parafina 25°C (g)	601,4	602	608,1	603,6
Espesor (cm)	7,29	7,15	6,99	7,15
Diametro (cm)	10,16	10,16	10,16	10,16
Densidad o masa unitario del especimen g/cm³	2,144	2,123	2,158	2,135
Densidad efectiva bulk g/cm³	2,151	2,129	2,164	2,142
A = Peso de la muestra seca en el aire	1739	1739	1739	1739
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8396,8	8396,8	8396,8	8396,8
Rice g/cm³	2,442	2,442	2,442	2,442
Vacios Final Bulk %	11,91	12,80	11,36	12,29



Nota: Se realizó 2da verificación de Densidad, Estabilidad, flujo y Vacios se realizaron los calculos con las briquetas denominadas 1', 2', 3', 4' las cuales cumplen con % de vacios (20-25%)

MUESTRAS CON LAS QUE SE CALCULO

CANTABRO SECO 4 Y 6	CANTABRO INMER 1-2 y 3
DESGASTE 18,93	DESGASTE 23,30
VACIOS 20,90	VACIOS 20,30
DENSIDAD 1,931	DENSIDAD 1,946

CANTABRO

	HUMEDO				SECO	
	1	2	3	4	5	6
Peso en el aire (g)	1143,7	1149,5	1146,3	1147,4	1145,3	1146,5
Espesor (cm)	7,25	7,28	7,27	7,34	7,6	7,31
Peso final (g)	911,7	911,2	820	897,3	642,3	962,4
%Desgaste	20,3	20,7	28,5	21,8	43,9	16,1
Promedios	23,2			27,3		
Relacion inmersión/ seco	84,96819					
Volumen Geometrico cm³	587,8	590,2	589,4	595,1	616,2	592,6
Densidad Geometrica g/cm³	1,946	1,948	1,945	1,928	1,859	1,935
Vacios (Va)	20,31	20,24	20,35	21,03	23,87	20,77

INFORME DE LABORATORIO							
		EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA T.S.R. (I.N.V. E-725/07)					
Tipo de mezcla: MD-1 Mezcla asfáltica drenante			Fecha de muestra:				
Tipo de asfalto: tipo 1			Fecha de ensayo:				
Porcentaje de asfalto de la mezcla: 4.0%			No. De golpes de compactación: 50 por cara				
Gravedad específica máxima teórica de la mezcla:			2,442 g/cm ³				
PESO ESPECÍFICO APARENTE (INVE 733), PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE (INVE 736) ALTURA DE LOS ESPECIMENES (INV E 744)						DATOS PROMEDIO	
No.	Briqueta No.	1	2	3	4	5	6
	Dámetro (Mm.)	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6
	Altura (Mm.)	70	70,2	70	70,5	67,9	71,6
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1150,9	1147,7	1149,5	1147,2	1137	1148,9
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1166,8	1165,9	1164,4	1165	1153,8	1165,9
C	Peso del núcleo en agua (g)	656,8	647,1	647,8	647,7	638,7	646,0
D	Volumen (B-C) (cm ³)	510,0	518,8	516,6	517,3	515,1	519,9
	Volumen geométrico(cm ³)	567,5	569,1	567,5	571,6	550,5	580,5
E	Peso Específico Aparente de la mezcla (g/cm ³) (G.E. Bulk)	2,257	2,212	2,225	2,218	2,207	2,210
	Gravedad Específica Máxima Teórica (G.E. Máxima)	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442
E''	densidad geométrica(g/cm ³)	2,028	2,017	2,026	2,007	2,065	1,979
F	Porcentaje de volumen de vacios con aire (%)	7,6	9,4	8,9	9,2	9,6	9,5
F''	Volumen de vacios de aire geométrica (%)	17,0	17,4	17,1	17,8	15,4	19,0
G	Volumen de vacios en el espécimen (cm ³)	38,7	48,8	45,9	47,5	49,5	49,4
							DENSIDAD GEOMETRICA
							INM 2,02
							SECO 2,02
CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS							
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.				PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE	
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		1	5	6	17,11	INM 17,43	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		2	3	4	17,43	SECO 17,11	
SATURACION MEDIANTE VACIO							
No.	Briqueta No.	2	3	4			
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1147,7	1149,5	1147,2			
B'	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1169,3	1168,9	1168,5			
C'	Peso del núcleo en agua (g)	648,1	648,3	648,2			
D'	Volumen (B' - C') (cm ³)	521,2	520,6	520,3			
H	Volumen absorbido de agua (B'-A)	21,60	19,40	21,30			
K	Volumen de vacios en el	48,82	45,88	47,52			
I	% Saturación (H/G) x 100	44,25	42,28	44,82			
J	% Hinchamiento (D'-D) x 100	0,46	0,77	0,58			
ACONDICIONAMIENTO DE 24h EN AGUA A 60°C							
No.	Briqueta No.	2	3	4			
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1147,7	1149,5	1147,2			
B''	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1185	1186,7	1184,6			
C''	Peso del núcleo en agua (g)	663,1	662,9	662,4			
D''	Volumen (B'' - C'') (cm ³)	521,9	523,8	522,2			
H'	Volumen absorbido de agua (B''-A)	37,30	37,20	37,40			
F'	% Saturación (H'/G) x 100	76,41	81,08	78,70			
J'	% Hinchamiento (D''-D) x 100	0,60	1,39	0,95			
RESISTENCIA A LA TENSIÓN							
PROBETAS EN SECO							
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Díámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)	
1	1	70	101,6	1021	913,9	130,0	
	5	67,9	101,6	1030	950,5	135,2	
	6	71,6	101,6	994	869,9	123,7	
	RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(Kpa)	911,4	
				(PSI)	129,7		
PROBETAS ACONDICIONADAS AL AGUA							
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Díámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)	
2	2	70,2	101,6	956	853,3	121,4	
	3	70	101,6	912	816,4	116,1	
	4	70,5	101,6	922	819,5	116,6	
	RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(Kpa)	829,7	
				(PSI)	118,0		
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN (%)					91,0		
OBSERVACIONES:							

Página 2

INFORME DE LABORATORIO										
LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA T.S.R. (I.H.V. E-725/07)										
Tipo de mezcla: MD-1 Mezcla asfáltica drenante					Fecha de muestra:					
Tipo de asfalto: tipo 1					Fecha de ensayo:					
Porcentaje de asfalto de la mezcla: 4.5%					No. De golpes de compactación: 50 por cara					
Gravedad específica máxima teórica de la mezcla:					2,427 g/cm ³					
PESO ESPECÍFICO APARENTE (INVE 733), PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE (INVE 736) ALTURA DE LOS ESPECIMENES (INV E 744)							DATOS PROMEDIO			
No.	Briqueta No.	1	2	3	4	5	6			
	Dímetro (Mm.)	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6			
	Altura (Mm.)	73	73,5	71,3	73,1	72,6	73,2			
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1135,2	1130,4	1136	1144,6	1127,3	1137,3			
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1154,6	1152	1154,7	1164,1	1147,5	1156,2			
C	Peso del núcleo en agua (g)	637,8	628,7	639,0	638,1	624,2	632,3			
D	Volumen (B-C) (cm ³)	516,8	523,3	515,7	526,0	523,3	523,9			
	Volumen geométrico (cm ³)	591,8	595,9	578,1	592,6	588,6	593,5			
E	Peso Específico Aparente de la mezcla (g/cm ³) (G.E. Bulk)	2,197	2,160	2,203	2,176	2,154	2,171	DENSIDAD GEOMETRICA		
	Gravedad Específica Máxima Teórica (G.E. Maxima)	2,427	2,427	2,427	2,427	2,427	2,427	INM	1,93	
E''	densidad geométrica (g/cm ³)	1,918	1,897	1,965	1,931	1,915	1,916	SECO	1,94	
F	Porcentaje de volumen de vacios con aire (%)	9,5	11,0	9,2	10,3	11,2	10,6			
F''	Volumen de vacios de aire geométrica (%)	21,0	21,8	19,0	20,4	21,1	21,0			
G	Volumen de vacios en el espécimen (cm ³)	49,1	57,5	47,6	54,4	58,8	55,3			
CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS										
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE			VACIOS (GEOMETRICO)		
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		3	4	5	20,18			INM	20,34	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		1	2	6	21,28			SECO	20,18	
SATURACION MEDIANTE VACIO										
No.	Briqueta No.	1	2	6						
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1135,2	1130,4	1137,3						
B'	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1158	1156,3	1169,6						
C'	Peso del núcleo en agua (g)	640,8	630	645,1						
D'	Volumen (B' - C') (cm ³)	517,2	526,3	524,5						
H	Volumen absorbido de agua (B'-A)	22,80	25,90	22,30						
K	Volumen de vacios en el espécimen (cm ³)	49,06	57,54	55,30						
I	% Saturación (H/G) x 100	46,47	45,01	56,41						
J	% Hinchamiento (D'-D/D) x 100	0,08	0,57	0,11						
ACONDICIONAMIENTO DE 24h EN AGUA A 60° C										
No.	Briqueta No.	1	2	6						
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1135,2	1130,4	1137,3						
B'	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1173,3	1176,3	1177,8						
C'	Peso del núcleo en agua (g)	655,4	647,3	651,6						
D'	Volumen (B' - C') (cm ³)	517,9	529	526,2						
H'	Volumen absorbido de agua (B'-A)	38,10	45,90	40,50						
I'	% Saturación (H'/G) x 100	77,66	79,77	73,24						
J'	% Hinchamiento (D'-D/D) x 100	0,21	1,09	0,44						
RESISTENCIA A LA TENSION										
PROBETAS EN SECO										
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Dímetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)				
1	3	71,3	101,6	958,9	842,7	119,9				
	4	73,1	101,6	872	747,5	106,3				
	5	72,6	101,6	742	640,4	91,1				
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO					(Kpa)	743,5				
					(PSI)	105,8				
PROBETAS ACONDICIONADAS AL AGUA										
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Dímetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)				
2	1	73	101,6	594	509,9	72,5				
	2	73,5	101,6	588	501,3	71,3				
	6	73,2	101,6	778	666,0	94,7				
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO					(Kpa)	559,0				
					(PSI)	79,5				
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSION (%)					75,2					
OBSERVACIONES:										




**REPORTE RESULTADOS DE LABORATORIO - PRIMERA CAMPAÑA
GEOTECNICA (CONCRESCOL Y UNIVERSIDAD NACIONAL)**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

5.0% DE LIGANTE ASFALTICO						Datos promedio
ESTABILIDAD, FLUJO, DENSIDAD GEOMETRICA, Y PORCENTAJE DE VACIOS						
	1	2	3	4	5	6
Peso en el aire (g)	1138.8	1148.9	1137.9	1134.9	1147.3	1110.2
Peso en el agua 25°C (g)	626	630.7	628.6	629.7	630.8	607.8
Peso SSS (g)	1155	1168.3	1152.4	1150.9	1161.4	1121.6
Espesor (cm)	7.37	7.41	7.32	7.31	7.34	6.92
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16
Estabilidad Kgf	1059	1027	1043	1019	973	1115
Factor de correccion	0.798	0.79	0.821	0.81	0.804	0.873
Estabilidad correctiva Kgf	845	811	856	825	782	973
Flujo 0.01"	16	15	12	14	12.5	13.5
Flujo mm	4.1	3.8	3.0	3.6	3.2	3.4
Volumen efectiva bulk cm³	529.0	534.6	523.8	521.2	530.6	513.8
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.153	2.149	2.172	2.177	2.162	2.161
Rice						
A = Peso de la muestra seca en el aire	1502.3	1502.3	1502.3	1502.3	1502.3	1502.3
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370	7370	7370
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8244.5	8244.5	8244.5	8244.5	8244.5	8244.5
Rice g/cm³	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393
Vacios Final Bulk %	10.04	10.19	9.22	9.00	9.64	9.70
Volumen Geometrico cm³	597.5	600.8	593.5	592.6	595.1	591.0
Densidad Geometrica g/cm³	1.906	1.912	1.917	1.915	1.920	1.919
Vacios (Va)%	20.35	20.08	19.87	19.97	19.45	19.50
DENSIDAD PARAFINADA						
	1	2	3	4		
Peso en el aire (g)	1148.5	1149.8	1145.3	1149.1		
Peso aire + parafina (g)	1201	1200	1205	1204		
Peso en el agua con parafina 25°C (g)	603	603.7	601.6	601.1		
Espesor (cm)	7.44	7.31	7.32	7.34		
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16		
Densidad o masa unitario del especimen g/cm³	2.127	2.126	2.133	2.120		
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.133	2.132	2.139	2.126		
A = Peso de la muestra seca en el aire	1502.3	1502.3	1502.3	1502.3		
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370		
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8244.5	8244.5	8244.5	8244.5		
Rice g/cm³	2.393	2.393	2.393	2.393		
Vacios Final Bulk %	10.85	10.90	10.61	11.16		
CANTABRO						
	HUMEDO			SECO		
	1	2	3	4	5	6
Peso en el aire (g)	1121.8	1138.8	1135.6	1131	1134.2	1138.3
Espesor (cm)	7.19	7.28	7.36	7.34	7.33	7.31
Peso final (g)	866.9	885.9	915	467	818.5	879.9
%Desgaste	22.7	13.4	19.4	58.7	27.8	22.7
Promedios	18.5			36.4		
	50.9					
Volumen Geometrico cm³	582.9	590.2	596.7	595.1	594.3	592.6
Densidad Geometrica g/cm³	1.924	1.929	1.903	1.901	1.909	1.921
	19.58	19.37	20.47	20.58	20.24	19.73
VERIFICACION						
	SECO		INMERSION			
	1"	1"				
	1139.1	1127.6				
	7.41	7.34				
	976.2	885.2				
	14.3	21.5				
MUESTRAS CON LAS QUE SE CALCULO						
	CANTABRO SECO			CANTABRO INMER		
	5-6 Y 1"			1-1Y3		
	DESGASTE			DESGASTE		
	21.6			21.2		
	VACIOS			VACIOS		
	20.25			20.29		
	DENSIDAD			DENSIDAD		
	1.906			1.910		

Página 1

INFORME DE LABORATORIO							
EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS UTILIZANDO							
		Tipo de mezcla: MD-1 Mezcla asfáltica drenante			Fecha de muestra:		
		Tipo de asfalto: tipo 1			Fecha de ensayo:		
		Porcentaje de asfalto de la mezcla: 5.0%			No. De golpes de compactación: 50 por cara		
		Gravedad específica máxima teórica de la mezcla:			2,393 g/cm ³		
					UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		
PESO ESPECÍFICO APARENTE (INVE 733), PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE (INVE 736) ALTURA DE LOS ESPECIMENES (INV E 744)						DATOS PROMEDIO	
No.	Briqueta No.	1	2	3	4	5	6
1	Diámetro (Mm.)	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6
2	Altura (Mm.)	73,6	73,9	72,7	72,8	72,3	72,6
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1131,1	1134,8	1127,9	1147,9	1134,3	1147,4
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1148	1150,5	1143,5	1162,4	1148	1160,9
C	Peso del núcleo en agua (g)	627,6	631,3	627,0	638,7	629,3	640,3
D	Volumen (B-C) (cm ³)	520,4	519,2	516,5	523,7	518,7	520,6
D*	Volumen geométrico (cm ³)	596,7	599,1	589,4	590,2	586,2	588,6
E	Peso Específico Aparente de la mezcla (g/cm ³) (G.E. Bulk)	2,174	2,186	2,184	2,192	2,187	2,204
E*	Gravedad Específica Máxima Teórica (G.E. Maxima)	2,393	2,393	2,393	2,393	2,393	2,393
E**	densidad geométrica (g/cm ³)	1,896	1,894	1,914	1,945	1,925	1,949
F	Porcentaje de volumen de vacios con aire (%)	9,2	8,7	8,7	8,4	8,6	7,9
F**	Volumen de vacios de aire geométrica (%)	20,8	20,8	20,0	18,7	19,1	18,5
G	Volumen de vacios en el especimen (cm ³)	47,7	45,0	45,2	44,0	44,7	41,1
							DENSIDAD GEOMETRICA
							INM 1,918
							SECO 1,927
CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS							
DESCRIPCIÓN	BRIQUETAS No.	PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE			VACIOS (GEOMETRICO)		
SUBGRUPO 1 (grupo seco)	1 5 6	19,49			INM 19,87		
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)	2 3 4	19,87			SECO 19,49		
SATURACION MEDIANTE VACIO							
No.	Briqueta No.	2	3	4			
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1134,8	1127,9	1147,9			
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1160,6	1147,1	1164,3			
C	Peso del núcleo en agua (g)	640,8	629	640,1			
D	Volumen (B - C) (cm ³)	518,6	518,1	524,2			
H	Volumen absorbido de agua (B-A)	25,80	19,20	16,40			
K	Volumen de vacios en el especimen	44,98	45,17	44,01			
I	% Saturación (H/G) x 100	57,35	42,51	37,26			
J	% Hinchamiento (D-D/D) x 100	0,12	0,31	0,10			
ACONDICIONAMIENTO DE 24h EN AGUA A 60 °C							
No.	Briqueta No.	2	3	4			
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1134,8	1127,9	1147,9			
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1172,5	1166,6	1185,8			
C	Peso del núcleo en agua (g)	651,8	647,8	661			
D	Volumen (B - C) (cm ³)	520,7	518,8	524,8			
H	Volumen absorbido de agua (B-A)	37,70	38,70	37,90			
I	% Saturación (H/G) x 100	83,81	85,68	86,12			
J	% Hinchamiento (D-D/D) x 100	0,29	0,45	0,21			
corregidos 15 /04/2012							
RESISTENCIA A LA TENSION							
PROBETAS EN SECO							
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Diámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)	
1	1	73,6	101,6	651	554,2	78,8	
	5	72,3	101,6	831	720,2	102,5	
	6	72,6	101,6	740	638,7	90,9	
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(Kpa)	637,7		
				(PSI)	90,7		
PROBETAS ACONDICIONADAS AL AGUA							
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Diámetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)	
2	2	73,9	101,6	579	490,9	69,8	
	3	72,7	101,6	534	460,2	65,5	
	4	72,8	101,6	739	636,1	90,5	
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(Kpa)	529,1		
				(PSI)	75,3		
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSION (%)					83,0		
OBSERVACIONES:							



**REPORTE RESULTADOS DE LABORATORIO - PRIMERA CAMPAÑA
GEOTECNICA (CONCESCOL Y UNIVERSIDAD NACIONAL)**



5,5% DE LIGANTE ASFALTICO							Datos promedio
ESTABILIDAD, FLUJO, DENSIDAD GEOMÉTRICA, Y PORCENTAJE DE VACIOS							
	1	2	3	4	5	6	
Peso en el aire (g)	1121.3	1128.9	1121.2	1121.2	1119.6	1129.9	
Peso en el agua 25°C (g)	619.5	621.9	620.4	618.8	616.3	615.5	
Peso SSS (g)	1130.4	1138.1	1135.9	1141.9	1134	1141.7	
Espesor (cm)	7.17	7.24	7.29	7.29	7.3	7.33	
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	
Estabilidad Kgf	1202	896	863	1149	901	996	
Factor de correccion	0.828	0.819	0.813	0.813	0.811	0.806	
Estabilidad correctiva Kgf	995	734	702	934	731	803	816
Flujo 0.01"	12	15	10	13	17	16	
Flujo mm	3.0	3.8	2.5	3.3	4.3	4.1	3.5
Volumen efectiva bulk cm³	510.9	516.2	515.5	523.1	517.7	526.2	
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.195	2.183	2.175	2.143	2.163	2.147	
Rice							
A = Peso de la muestra seca en el aire	1500	1500	1500	1500	1500	1500	
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370	7370	7370	
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8234.7	8234.7	8234.7	8234.7	8234.7	8234.7	
Rice g/cm³	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361
Vacios Final Bulk %	7.04	7.54	7.88	9.22	8.40	9.06	
Volumen Geometrico cm³	581.3	587.0	591.0	591.0	591.8	594.3	
Densidad Geometrica g/cm³	1.929	1.920	1.897	1.897	1.892	1.901	1.906
Vacios (Va)%	18.30	18.69	19.65	19.65	19.88	19.47	19.27
DENSIDAD PARAFINADA							
	1	2	3	4			
Peso en el aire (g)	1143.5	1147.8	1143.3	1150.1			
Peso aire + parafina (g)	1202	1206	1203	1203			
Peso en el agua con parafina 25°C (g)	601	605.1	601.6	603.1			
Espesor (cm)	7.41	7.33	7.22	7.44			
Diametro (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16			
Densidad o masa unitario del especimen g/cm³	2.133	2.140	2.136	2.124			
Densidad efectiva bulk g/cm³	2.139	2.146	2.143	2.131			
A = Peso de la muestra seca en el aire	1500	1500	1500	1500			
D = Peso del picnómetro con tapa + agua a la temperatura T (°C)	7370	7370	7370	7370			
E = Peso del picnómetro con tapa + agua + muestra a la temperatura T (°C)	8234.7	8234.7	8234.7	8234.7			
Rice g/cm³	2.361	2.361	2.361	2.361			
Vacios Final Bulk %	9.39	9.09	9.25	9.76			
CANTABRO							
DATOS	HUMEDO			SECO			
	1	2	3	4	5	6	
Peso en el aire (g)	1127.1	1128.1	1126.2	1134	1120.4	1130.2	
Espesor (cm)	7.39	7.17	7.35	7.4	7.47	7.38	
Peso final (g)	814.1	917.7	853.3	890.9	898.8	761.6	
%Desgaste	27.8	18.7	24.2	21.4	19.8	32.6	
Promedios	23.6			24.6			
Relación	95.7						
Volumen Geometrico cm³	599.1	581.3	595.9	599.9	605.6	598.3	
Densidad Geometrica g/cm³	1.881	1.941	1.890	1.890	1.850	1.889	
	20.32	17.81	19.95	19.94	21.65	20.00	
MUESTRAS CON LAS QUE SE CALCULO							
CANTABRO SECO 5 Y 4							CANTABRO INMER 2 Y 3
DESGASTE 20.61							DESGASTE 21.44
VACIOS 20.80							VACIOS 18.88
DENSIDAD 1.870							DENSIDAD 1.915

INFORME DE LABORATORIO							UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		
LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA T.S.R. (I.N.V. E-725/07)									
Tipo de mezcla: MD-1 Mezcla asfáltica drenante				Fecha de muestra:					
Tipo de asfalto: tipo 1				Fecha de ensayo:					
Porcentaje de asfalto de la mezcla: 5,5%				No. De golpes de compactación: 50 por cara					
Gravedad específica máxima teórica de la mezcla:				2,361 g/cm ³					
PESO ESPECÍFICO APARENTE (INVE 733), PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS							DATOS PROMEDIO		
No.	Briqueta No.	1	2	3	5	6			
	Dímetro (Mm.)	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6			
	Altura (Mm.)	71,2	72,8	74,2	72,6	73,9			
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1126,7	1130,2	1125,9	1125,4	1132,6			
B	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1141,9	1142,9	1141,2	1139,9	1148			
C	Peso del núcleo en agua (g)	617,7	610,5	619,4	613,5	623,2			
D	Volumen (B-C) (cm ³)	524,2	532,4	521,8	526,4	524,8			
	Volumen geométrico (cm ³)	577,2	590,2	601,6	588,6	599,1			
E	Peso Especifico Aparente de la mezcla (g/cm ³) (G.E. Bulk)	2,149	2,123	2,158	2,138	2,158	DENSIDAD GEOMETRICA		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (G.E Maxima)	2,361	2,361	2,361	2,361	2,361			
E'	densidad geométrico (g/cm ³)	1,952	1,915	1,872	1,912	1,890	INM	1,919	
F	Porcentaje de volumen de vacios con aire (%)	9,0	10,1	8,6	9,4	8,6	SECO	1,892	
F'	Volumne de vacios de aire	17,3	18,9	20,7	19,0	19,9			
G	Volumen de vacios en el	47,0	53,7	44,9	49,7	45,1			
CLASIFICACIÓN DE BRIQUETAS POR SUBGRUPOS							VACIOS (GEOMETRICO)		
DESCRIPCIÓN		BRIQUETAS No.			PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE VACIOS CON AIRE				
SUBGRUPO 1 (grupo seco)		3	5		19,87		INM	18,72	
SUBGRUPO 2 (grupo acondicionado al agua)		1	2	6	18,72		SECO	19,87	
SATURACION MEDIANTE VACIO									
No.	Briqueta No.	1	2	6					
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1126,7	1130,2	1132,6					
B'	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1150,6	1151,6	1151,6					
C	Peso del núcleo en agua (g)	626,3	618,9	625,1					
D'	Volumen (B' - C) (cm ³)	524,3	532,7	526,5					
H	Volumen absorbido de agua (B'-A)	23,90	21,40	19,00					
K	Volumen de vacios en el	46,99	53,70	45,09					
I	% Saturación (H/G) x 100	50,87	39,85	42,14					
J	% Hinchamiento (D'-D/D) x 100	0,02	0,06	0,32					
ACONDICIONAMIENTO DE 24h EN AGUA A 60°C									
No.	Briqueta No.	1	2	6					
A	Peso del núcleo en el aire (g)	1126,7	1130,2	1132,6					
B'	Peso del núcleo S.S.S. (g)	1168,8	1174,1	1173,7					
C'	Peso del núcleo en agua (g)	644	639,5	646,4					
D'	Volumen (B' - C') (cm ³)	524,8	534,6	527,3					
H'	Volumen absorbido de agua (B'-A)	42,10	43,90	41,10					
I'	% Saturación (H'/G) x 100	89,60	81,74	91,16					
J'	% Hinchamiento (D'-D/D) x 100	0,11	0,41	0,48					
RESISTENCIA A LA TENSION									
PROBETAS EN SECO									
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Dímetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)			
1	3	74,2	101,6	726	613,1	87,2			
	5	72,6	101,6	777	670,6	95,4			
	0								
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(Kpa)	641,8				
				(PSI)	91,3				
PROBETAS ACONDICIONADAS AL AGUA									
Grupo	Probeta (No.)	Altura (Mm.)	Dímetro (Mm.)	Estabilidad P (kg)	Resistencia a la tensión (Kpa)	Resistencia a la tensión (PSI)			
2	1	71,2	101,6	703	618,7	88,0			
	2	72,8	101,6	729	627,5	89,3			
	6	73,9	101,6	712	603,7	85,9			
RESISTENCIA A LA TENSION PROMEDIO				(Kpa)	616,6				
				(PSI)	87,7				
RELACION DE RESISTENCIA A LA TENSION (%)					96,1				
OBSERVACIONES:									

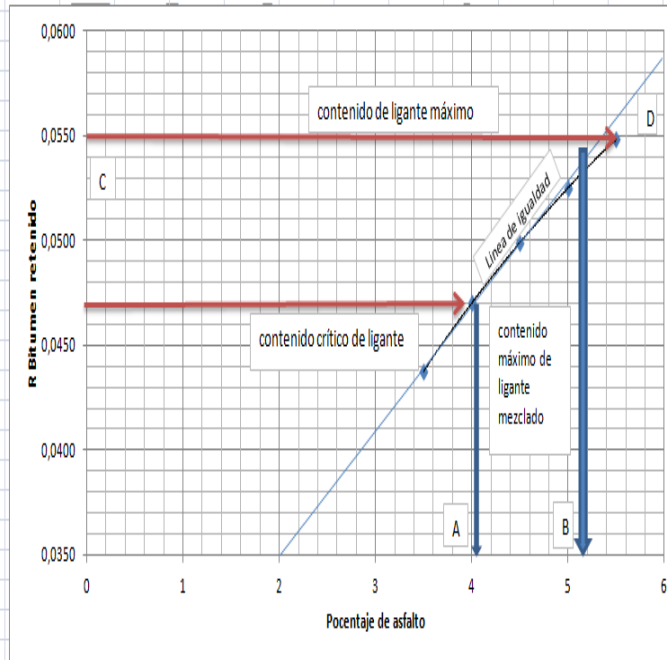


INFORME DE LABORATORIO ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Porcentaje de Asfalto (%)	3,5			4			4,5			5			5,5		
DATOS	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Masa inicial del ligante en la mezcla (B) (g)	38,5	38,5	38,5	44	44	44	49,5	49,5	49,5	55	55	55	60,5	60,5	60,5
Peso recipiente (g)	670,6	667,3	675	670,6	667,3	675	670,6	667,3	675	670,6	667,3	675	670,6	667,3	675
Peso bandeja mas aluminio. (g)	435,2	432,1	434,2	435,2	432,1	434,2	435,4	432,5	434,5	435,4	432,3	433,8	435,3	432,4	434,1
Recipiente + Mezcla + Bandeja forrada de aluminio antes del ensayo (M1) (g)	2205,8	2199,4	2209,2	2205,8	2199,4	2209,2	2206	2199,8	2209,5	2206	2199,6	2208,8	2205,9	2199,7	2209,1
Recipiente + Mezcla + Bandeja forrada de aluminio despues del ensayo (M2) (g)	2205,8	2199,4	2209,2	2205,8	2199,4	2209,2	2206	2199,8	2209,5	2206	2199,6	2208,8	2205,9	2199,7	2209,1
Masa de Ligante y polvo mineral recurrido (D)=(M2-M1) (g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Masa inicial del polvo mineral en la mezcla (F) (g)	44,9	44,9	44,9	44,7	44,7	44,7	44,5	44,5	44,5	44,2	44,2	44,2	44	44	44
Masa inicial del conjunto de aridos (G) (g)	1016,6	1016,6	1016,6	1011,3	1011,3	1011,3	1006	1006	1006	1000,8	1000,8	1000,8	995,5	995,5	995,5
Ligante retenido ® (%)	0,0438	0,0438	0,0438	0,0470	0,0470	0,0470	0,0499	0,0499	0,0499	0,0525	0,0525	0,0525	0,0548	0,0548	0,0548
Promedio	0,0438			0,0470			0,0499			0,0525			0,0548		
Porcentaje de Asfalto (%)	3,5			4			4,5			5			5,5		



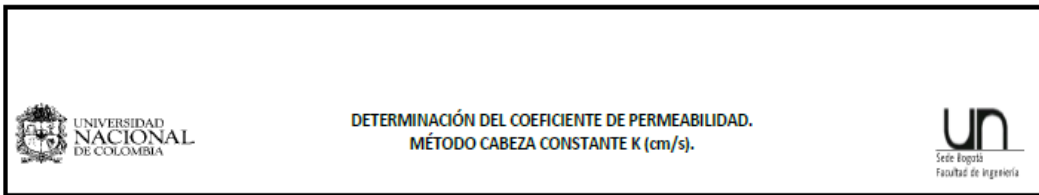
DONDE:

Contenido Crítico de ligante A= Contenido de ligante en la mezcla en el que la curva de escurrimiento de la grafica se desvia de línea de igualdad

Contenido máximo de ligante B= Contenido de ligante retenido alcance un valor máximo. Si la curva de ligante retenido no alcanza un máximo se hará constar en el informe como "mayor que el contenido máximo ensayado".

Contenido máximo de ligante retenido C = Contenido máximo de ligante en la mezcla

El ligante escurrido D = es la diferencia en porcentaje entre el contenido de ligante con que se dosifica la mezcla y el contenido de ligante retenido.



BRIQUETA CON EL 3.5 % DE ASFALTO (Rojo)									
Fecha del ensayo	08-ago			08-ago			08-ago		
N° de Muestra	MUESTRA (1)			MUESTRA (2)			MUESTRA (5)		
Ensayo N°	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
Diametro briqueta D (cm)	10,17	10,17	10,17	10,16	10,16	10,16	10,2	10,2	10,2
Altura Briqueta (cm)	7,28	7,28	7,28	7,21	7,21	7,21	7,28	7,28	7,28
Area (cm ²)	81,30	81,30	81,30	81,01	81,01	81,01	81,52	81,52	81,52
	592,08	592,08	592,08	584,00	584,00	584,00	593,39	593,39	593,39
Altura Nivel (H ₂ O) h1 (cm)	155,10	155,10	155,10	155,15	155,15	155,10	155,10	155,10	155,10
Z1 (cm)	153,80	154,90	154,90	155,1	155,00	155,00	155,00	155,00	155,00
Z2 (cm)	146,80	147,80	146,80	146,2	146,80	146,40	147,50	146,50	26,71
Volumen (cm ³)	3430,00	3450,00	3480,00	3540,0	3530,00	3530,00	3870,00	3860,00	3840,00
Tiempo (s)	300,41	300,45	300,36	300,38	300,34	300,31	301,09	298,00	300,31
Temperatura (°C)	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	16,5	16,5	16,5
Viscosidad Cinemática H ₂ O V (cm ² /s)	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,111E-02	1,111E-02	1,111E-02
NR(v*D/V)	136,60	137,38	138,62	141,25	140,87	140,88	144,58	145,71	143,84
Q (cm ³ /s)	11,4	11,5	11,6	11,8	11,8	11,8	12,9	13,0	12,79
Velocidad (v)= ki (cm/s)	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
Relación de Vacíos (e) %	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,19	0,19	0,19
Velocidad de infiltración vs = v(1+e/e) (cm/s)	0,84	0,85	0,86	0,84	0,84	0,84	0,99	1,00	0,98
Δh (Z ₁ -Z ₂) (cm)	7,0	7,1	8,1	8,9	8,2	8,6	7,5	8,5	11,1
Gradiente Hidráulico (i) (cm/cm)	0,96	0,97	1,11	1,23	1,14	1,19	1,03	1,17	1,52
permeabilidad k (cm/s)	0,1461	0,1449	0,1281	0,1178	0,1276	0,1216	0,1530	0,1361	0,1030
fc= factor de corrección de temperatura (V _r /V _{20°C})	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,089	1,089	1,089
permeabilidad Estandar k (20 °C) (cm/s)	0,1498	0,1486	0,1314	0,1208	0,1308	0,1247	0,1667	0,1482	0,1121
permeabilidad Estandar promedio. (k) (20 °C) (cm/s)	0,1433			0,1255			0,1423		

OBSERVACIONES: permeabilidad promedio = 0,14 cm/s

REALIZO

CPLM y OT

Calculo:

OT



DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD MÉTODO CONSTANTE
K (cm/s)





BRIQUETA CON EL 4.0 % DE ASFALTO (BLANCO)												
Ensayo N°	08-ago				08-ago				08-ago			
	MUESTRA (3)				MUESTRA (4)				MUESTRA (6)			
	1,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0	4,0
Diametro briqueta D (cm)	10,22	10,22	10,22	10,22	10,18	10,18	10,18	10,18	10,15	10,15	10,15	10,15
Altura Briqueta (cm)	7,82	7,82	7,82	7,82	7,34	7,34	7,34	7,34	7,38	7,38	7,38	7,38
Area (cm ²)	81,97	81,97	81,97	81,97	81,34	81,34	81,34	81,34	80,87	80,87	80,87	81,52
Altura Nivel (H ₂ O) h ₁ (cm)	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32
Z1 (cm)	157,90	154,10	38,00	38,00	153,4	153,40	42,50	153,40	152,40	152,40	52,58	45,40
Z2 (cm)	146,10	145,80	29,50	33,00	145,7	145,80	25,00	151,30	145,10	145,00	42,30	37,00
Volumen (cm ³)	3950,00	3930,00	3940,00	1000,00	3720,0	3710,00	3720,00	1000,00	3630,00	3650,00	3680,00	1000,00
Tiempo (s)	300,31	300,45	300,28	76,02	300,37	300,38	300,45	78,64	300,98	300,35	300,30	75,68
Temperatura (°C)	19,0	19,0	19,0	19,0	18,0	18,0	18,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Viscosidad Cinemática H ₂ O V (cm ² /s)	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,072E-02	1,072E-02	1,072E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02
NR(v*D/V)	156,72	155,85	156,34	156,74	144,54	144,14	144,50	152,10	144,68	145,78	147,01	157,24
Q (cm ³ /s)	13,2	13,1	13,1	13,2	12,4	12,4	12,4	12,7	12,1	12,2	12,3	13,21353
Velocidad (v)= ki (cm/s)	0,1605	0,1596	0,1601	0,1605	0,1522	0,1518	0,1522	0,1563	0,1491	0,1503	0,1515	0,16209
Relación de Vacíos (e) %	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21
Velocidad de infiltración vs = v(1+e/e) (cm/s)	1,01	1,00	1,00	1,01	0,91	0,91	0,91	0,94	0,86	0,87	0,87	0,93
Δh (Z ₁ -Z ₂) (cm)	11,8	8,3	8,5	5,0	7,7	7,6	17,5	2,1	7,3	7,4	10,3	8,4
Gradiente Hidráulico (i) (cm/cm)	1,5	1,1	1,1	0,6	1,0	1,0	2,4	0,3	1,0	1,0	1,4	1,1
permeabilidad k (cm/s)	0,1063	0,1503	0,1473	0,2510	0,1450	0,1465	0,0638	0,5460	0,1509	0,1500	0,1088	0,1425
fc= factor de correccion de temperatura (V _r / V _{20°C})	1,025	1,025	1,025	1,025	1,051	1,051	1,051	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025
permeabilidad Estandar k (20 °C) (cm/s)	0,1091	0,1542	0,1510	0,2574	0,1524	0,1540	0,0670	0,5599	0,1547	0,1538	0,1116	0,1461
permeabilidad Estandar promedio (k) (20 °C) (cm/s)	0,1679				0,2334				0,1416			

OBSERVACIONES: Permeabilidad promedio = 0,1548 cm/s

REALIZO _____
CPLM y OT

Calculo: _____
OT

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA									
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD MÉTODO CONSTANTE K (cm/s)									
									
BRIQUETA CON EL 4.5 % DE ASFALTO (NARANJA)									
	08-ago			08-ago			08-ago		
	MUESTRA (1)			MUESTRA (3)			MUESTRA (8)		
Ensayo N°	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
Diametro briqueta D (cm)	10,22	10,22	10,22	10,14	10,14	10,14	10,17	10,17	10,17
Altura Briqueta (cm)	7,35	7,35	7,35	7,51	7,51	7,51	7,42	7,42	7,42
Área (cm ²)	81,99	81,99	81,99	80,72	80,72	80,72	81,28	81,28	81,28
Altura Nivel (H ₂ O) h ₁ (cm)	155,20	155,20	155,20	155,20	155,20	155,20	155,20	155,20	155,20
Z ₁ (cm)	155,20	50,20	49,90	154,00	154,50	154,50	41,30	42,30	41,50
Z ₂ (cm)	147,80	43,90	43,90	146,30	146,50	146,50	34,90	35,60	34,90
Volumen (cm ³)	3600,00	3600,00	3750,00	3950,00	3870,00	3870,00	3900,00	3980,00	4070,00
Tiempo (s)	300,32	300,45	300,30	300,30	300,35	300,84	300,31	300,34	306,76
Temperatura (°C)	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Viscosidad Cinemática H ₂ O V (cm ² /s)	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02
NR(v*D/ V)	142,81	142,75	148,78	157,93	154,71	154,45	155,39	158,56	158,75
Q (cm ³ /s)	12,0	12,0	12,5	13,2	12,9	12,9	13,0	13,3	13,3
Velocidad (v)= ki (cm/s)	0,1462	0,1461	0,1523	0,1629	0,1596	0,1594	0,1598	0,1630	0,1632
Relación de Vacíos (e) %	0,20	0,20	0,20	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
Velocidad de infiltración vs = v(1+e/e) (cm ³ /s)	0,88	0,88	0,91	0,90	0,89	0,88	0,92	0,94	0,94
Δh (Z ₁ -Z ₂) (cm)	7,4	6,3	6,0	7,7	8,0	8,0	6,4	6,7	6,6
Gradiente Hidráulico (i) (cm/cm)	1,0	0,9	0,8	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9
permeabilidad k (cm/s)	0,1453	0,1706	0,1866	0,1589	0,1498	0,1496	0,1851	0,1805	0,1834
fc= factor de correcion de temperatura (V _r /V _{20°C})	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025
permeabilidad Estandar k (20 °C) (cm/s)	0,1490	0,1749	0,1914	0,1630	0,1537	0,1534	0,1899	0,1851	0,1881
permeabilidad Estandar Promedio (k) (20 °C) (cm/s)	0,1718			0,1567			0,1877		

OBSERVACIONES: Permeabilidad promedio = 0,1720 cm/s

REALIZO

CPLM y OT

Calculo:

OT



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD MÉTODO
CONSTANTE
K (cm/s)



BRIQUETA CON EL 5.0 % DE ASFALTO (VERDE)

Ensayo N°	31-jul			02-ago			02-ago		
	MUESTRA (1)			MUESTRA (2)			MUESTRA (5)		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
Diametro briqueta D (cm)	10,17	10,17	10,17	10,15	10,15	10,15	10,18	10,18	10,18
Altura Briqueta (cm)	7,28	7,28	7,28	7,40	7,40	7,40	7,41	7,41	7,41
Área (cm ²)	81,20	81,20	81,20	80,98	80,98	80,98	81,42	81,42	81,42
Altura Nivel (H ₂ O) h ₁ (cm)	165,60	165,60	165,60	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32	155,32
Z ₁ (cm)	165,60	163,38	151,10	41,0	39,50	38,00	53,00	53,80	50,80
Z ₂ (cm)	161,00	151,10	137,90	31,8	30,10	28,50	41,90	41,60	41,10
Volumen (cm ³)	3100,00	3100,00	2970,00	3750,0	3810,00	3850,00	3490,00	3480,00	3520,00
Tiempo (s)	355,78	355,78	356,78	300,31	300,29	300,39	300,29	300,30	300,36
Temperatura (°C)	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	18,0	18,0	18,0
Viscosidad Cinemática H ₂ O V (cm ² /s)	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,072E-02	1,072E-02	1,072E-02
NR(v*D/V)	104,31	104,31	99,65	149,69	152,10	153,64	135,57	135,18	136,70
Q (cm ³ /s)	8,7	8,7	8,3	12,5	12,7	12,8	11,6	11,6	11,7
Velocidad (v)= ki (cm/s)	0,1073	0,1073	0,1025	0,1542	0,1567	0,1583	0,1427	0,1423	0,1439
Relación de Vacíos (e) %	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20
Velocidad de infiltración vs = v(1+e/e) (cm/s)	0,64	0,64	0,62	0,97	0,98	0,99	0,86	0,85	0,86
Δh (Z ₁ -Z ₂) (cm)	4,6	12,3	13,2	9,2	9,4	9,5	11,1	12,2	9,7
Gradiente Hidráulico (i) (cm/cm)	0,6	1,7	1,8	1,2	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3
permeabilidad k (cm/s)	0,1697	0,0636	0,0565	0,1241	0,1234	0,1234	0,0953	0,0865	0,1100
fc= factor de correcion de temperatura (V _r /V _{20°C})	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,051	1,051	1,051
permeabilidad Estandar k (20 °C) (cm/s)	0,1741	0,0652	0,0579	0,1273	0,1266	0,1265	0,1002	0,0909	0,1156
permeabilidad Estandar promedio (k) (20 °C) (cm/s)	0,0991			0,1268			0,1022		

OBSERVACIONES: Permeabilidad promedio = 0,1145 cm/s

REALIZO

CPLM y OT

Calculo:

OT



DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD MÉTODO
CONSTANTE
K (cm/s)



BRIQUETA CON EL 5.5 % DE ASFALTO (ROJO)									
Ensayo N°	28-jul			28-jul			28-jul		
	MUESTRA (1)			MUESTRA (2)			MUESTRA (7)		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
Diametro briqueta D (cm)	10,23	10,23	10,23	10,28	10,28	10,28	10,17	10,17	10,17
Altura Briqueta (cm)	7,25	7,25	7,25	6,99	6,99	6,99	7,02	7,02	7,02
Área (cm ²)	82,26	82,26	82,26	82,97	82,97	82,97	81,29	81,29	81,29
Altura Nivel (H ₂ O) h ₁ (cm)	144,20	144,20	144,20	152,00	152,00	152,00	153,20	153,20	153,20
Z ₁ (cm)	142,50	142,50	142,50	151,0	152,00	152,00	152,80	152,80	153,00
Z ₂ (cm)	140,60	140,70	139,60	149,0	149,10	149,40	150,80	150,80	150,50
Volumen (cm ³)	1000,00	1000,00	1000,00	1000,0	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Tiempo (s)	90,70	90,84	89,61	80,16	82,16	82,42	86,54	86,77	86,30
Temperatura (°C)	19,0	19,0	19,0	18,0	19,0	19,0	18,5	18,5	18,5
Viscosidad Cinemática H ₂ O V (cm ² /s)	1,046E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,072E-02	1,046E-02	1,046E-02	1,059E-02	1,059E-02	1,059E-02
NR(v*D/V)	131,14	130,94	132,73	144,16	144,15	143,69	136,56	136,20	136,94
Q (cm ³ /s)	11,0	11,0	11,2	12,5	12,2	12,1	11,6	11,5	11,6
Velocidad (v)= ki (cm/s)	0,1340	0,1338	0,1357	0,1504	0,1467	0,1462	0,1421	0,1418	0,1425
Relación de Vacíos (e) %	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20
Velocidad de infiltración vs = v(1+e/e) (cm/s)	0,80	0,80	0,81	0,87	0,85	0,84	0,85	0,85	0,86
Δh (Z ₁ -Z ₂) (cm)	1,9	1,8	2,9	2,0	2,9	2,6	2,0	2,0	2,5
Gradiente Hidráulico (i) (cm/cm)	0,3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4
permeabilidad k (cm/s)	0,5112	0,5387	0,3390	0,5251	0,3533	0,3929	0,4986	0,4973	0,4000
fc= factor de correccion de temperatura (V _T / V _{20°C})	1,025	1,025	1,025	1,051	1,025	1,025	1,038	1,038	1,038
permeabilidad Estandar k (20 °C) (cm/s)	0,5242	0,5525	0,3476	0,5519	0,3624	0,4029	0,5176	0,5163	0,4153
permeabilidad Estandar promedio (k) (20 °C) (cm/s)	0,4748			0,4390			0,4831		

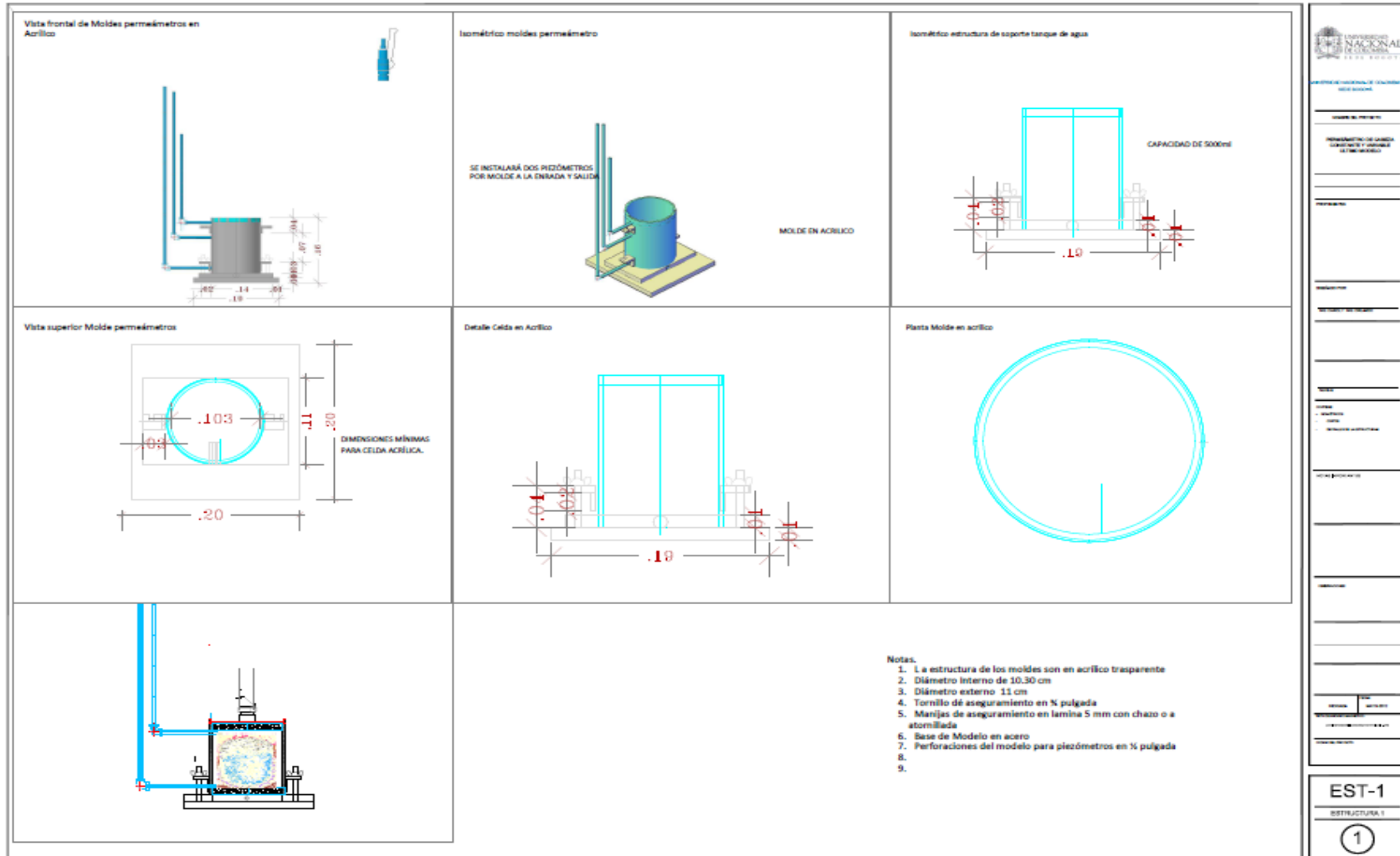
OBSERVACIONES: Permeabilidad promedio = 0,4656 m/s

REALIZO _____
CPLM y OT

Calculo: _____
OT

D. Anexo: Planos Equipo de Permeabilidad de cabeza constante.

Formato 2 Segundo modelo



E. Anexo: CATEGORIAS DE TRANSITO NORMATIVA COLOMBIANA Y ESPAÑOLA.

1. Categorías de tránsito según las Especificaciones Generales de construcción de Carreteras INVIAS. Artículo 100-07. Ámbito de aplicación, términos y definiciones.
 - NT-1: Nivel de tránsito uno. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.
 - NT-2: Nivel de tránsito dos. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.5×10^6 y 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño
 - NT-3: Nivel de tránsito tres. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es superior a 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño
2. Categorías de tránsito según Instituto de Desarrollo Urbano Especificaciones IDU – ET – 2007. Capítulo 1. Aspectos Generales.
 - T0: Nivel de tránsito cero. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es inferior a 0.2×10^6 de ejes equivalentes de 80 kN en el periodo de diseño en el carril de diseño.
 - T1: Nivel de tránsito uno. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.2×10^6 y 0.5×10^6 de ejes equivalentes de 80 kN en el periodo de diseño en el carril de diseño

- T2: Nivel de tránsito dos. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.5×10^6 y 1.5×10^6 de ejes equivalentes de 80 kN en el periodo de diseño en el carril de diseño.
- T3: Nivel de tránsito tres. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 1.5×10^6 y 3.0×10^6 de ejes equivalentes de 80 kN en el periodo de diseño en el carril de diseño.
- T4: Nivel de tránsito cuatro. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 3.0×10^6 y 7.5×10^6 de ejes equivalentes de 80 kN en el periodo de diseño en el carril de diseño.
- T5: Nivel de tránsito cinco. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir mayor 7.5×10^6 de ejes equivalentes de 80 kN en el periodo de diseño en el carril de diseño.

3. Norma 6.1.1C Sección de firmes de la instrucción de carreteras. Diciembre 2003. Considerando Categorías de tránsito pesado altas (T0 a T1) y medias (T2 y T3) dependiendo de la Intensidad media de vehículos pesados diarios que se prevea en el carril del proyecto en el año de puesta en servicio.

- T3A: Nivel de tránsito tres A o tres uno. Corresponde a una Intensidad media de 100 a 200 vehículos pesados diarios que se prevea en el carril del proyecto en el año de puesta en servicio
- T2: Nivel de tránsito dos. Corresponde a una Intensidad media de 800 a 200 vehículos pesados diarios que se prevea en el carril del proyecto en el año de puesta en servicio
- T1: Nivel de tránsito uno. Corresponde a una Intensidad media de 2000 a 800 vehículos pesados diarios que se prevea en el carril del proyecto en el año de puesta en servicio
- T0: Nivel de tránsito cero. Corresponde a una Intensidad media de 4000 a 2000 vehículos pesados diarios que se prevea en el carril del proyecto en el año de puesta en servicio

-
- T00: Nivel de transito uno. Corresponde a una Intensidad media mayor de 4000 vehículos pesados diarios que se prevea en el carril del proyecto en el año de puesta en servicio

Bibliografía

Avellán. Cruz. Martha. Asfaltos Modificados con Polímeros. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2007.

Botella. Valdés. Martínez. Ramón. Gonzalo. Adriana. Aplicación del ensayo de tracción indirecta para la caracterización de mezclas bituminosas en caliente de acuerdo a la nueva normativa Europea. VIII congreso nacional FIRMES. 2011.

Briggs, J. Performance assessment of porous asphalt for stormwater. treatment. Master of Science thesis submitted to the University of New Hampshire. Durham, NH. 2009.

Bustos, c. Y Toledo P. G., Pore-level modeling of two – phase flow in three-dimensional pore networks, en preparación. 2002.

Calderon, C. y Sanchez J. “La influencia de las mezclas asfálticas en seguridad vial”. Infercal S.A. – Shell Colombia S.A. XVI congreso Argentino de vialidad y tránsito. 2012.

Camacho, M y Rojas, H. “Mejoramiento de mezclas asfálticas a partir de la implementación de caucho como material granular fino”. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana. 2002.

Candela, D. e Hincapié, A. “Mejoramiento de mezclas asfálticas modificando la composición del llenante convencional por finos – cemento”. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. 2001.

Cárdenas. Robert Eduardo. Permeabilidad de medios porosos experimentos numéricos y teoría. Tesis presentada a la escuela de graduados de la Universidad de Concepción. Chile. 2002.

Das, B. M, (2006). Principios de ingeniería de cimentaciones / Braja M. Das ; traducción José de la Cera Alonso ; revisión técnica Emilio Sordo Zabay, Raúl Arrijo Juárez. -- 5a. ed. / Editor Rocío Cabañas Chávez. -- México: Thomson.

Datta-Gupta, A. and King, J. M., 1995. "A semi-analytic approach to tracer flow modeling in heterogeneous permeable media". *Advances in Water Resources*, 9-24.

Díaz-Granados, M., Rodríguez, J.P., Rodríguez, M.S., Penagos, J.C., Camacho, L.A., Achleitner, S., Maksimovic, C., y McIntyre, N. (2009). Towards a paradigm shift in urban drainage management and modelling in developing countries. *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes*. No. 33, 133-150.

Donado, L.D. (2004). "Modelo de conductividad hidráulica en suelos". Tesis de Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Fonseca Rodríguez Carlos. Dosificación de mezclas asfálticas abiertas y drenantes empleando el método de ensayo catabro de pérdidas por desgaste. Seminario regional aplicación de los asfaltos y mezclas asfálticas. 2000.

Geotechnical Engineering: Principles and Practices. Prentice Hall. Coduto. 1999.

German Juyar Mora, Gabriel Pérez Cely. "Comparación de mezclas asfálticas drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar". 1998.

Gutierrez, B. Andres G. "Evaluación de estructuras de pavimento flexible usando técnicas no destructivas". Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. 2011.

Gutierrez, G. "Evaluación de las propiedades físicas y geológicas de los asfaltos para pavimentos, al implementar látices como agentes modificadores" Universidad de Los Andes. 2004.

IDEAM. (2008). Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales en Colombia Estudio nacional del agua, relaciones de demanda de agua y oferta hídrica. Imprenta Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-8067-24-7.

Jiménez BR (1999) Contaminación por escorrentía urbana. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Colección SEINOR No. 22. Madrid, España.

Lafage. Jorge. Pavimentos sin agua=Pavimentos Seguros. Un avance tecnológico que contribuye a la seguridad vial. Revista "Luchemos por la vida" Año 6. N°14.

Lopes. Liliane. Análise critica de métodos de dimensionamiento hidráulico de pavimentos permeáveis. Congreso de infraestructura de transportes. Sao Paulo. Brasil. 2010.

Lozano, L. "Estudio preliminar de los efectos modificadores poliméricos en las características reológicas de los asfaltos para pavimento". Universidad de Los Andes. 2002.

MINVU-DICTUC (1996) Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño. Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago, Chile.

Miro. Rodrigo. Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el confort (ruido) y la seguridad. Universidad Politécnica de Cataluña.2006.

N. E. Barrera N. E. J. A. Muñoz, J. E. Colmenares y L. D. Donado. (2003). "Análisis de la influencia de la distribución de tamaño de partículas en la conductividad hidráulica de arenas limpias". XI jornadas geotécnicas de la ingeniería en Colombia y V Foro de Geotecnia de la Sabana de Bogotá. Bogotá, Octubre.

Rebollo. R. Gonzalez y G. Botasso. Determinación de porcentaje de ligante optimo en mezclas asfálticas abiertas. Seminario regional aplicación de los asfaltos y mezclas asfálticas .2009.

Reyes-Ortiz. Oscar J. Artículo científico. Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. Ingeniería y Desarrollo Número 29. 2009.

Riaño, C., y Rivas, A. “Empleo de elastómeros para mejorar las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas drenantes”. Tesis de Grado. Universidad Militar Nueva Granada. 2003.

Rodriguez G. Karina L. “Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e icopor”. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. 2005

Rojas, H. “Mejoramiento de mezclas asfálticas”. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. 1987.

Sanchez. Alejandro Martín. Efecto de la concentración volumétrica filler/betún en la cohesión y adhesividad del mastico. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 2007.

Sandoval. Barrera. Acuña. Carlos Hernando. Gloria. Jhon. Asphalt mixtures´dynamic modules determination by correlations. 2011.

X. Kuang, J. Sansalone , G. Ying , V. Ranieri, (2011). Pore-structure models of hydraulic conductivity for permeable pavement Journal of Hydrology. Vol 399,148–157

Yong, C. F. Delectic, A. Fletcher, & M. R. Grace. “Porous pavements: Evaluation of clogging in two accelerated laboratory studies in Melbourne. 2009.

Yong, C.F., Deletic, A., Fletcher, T.D. and Grace, M.R. (2008). Paper presented at the 11th International Conference on Urban Drainage (ICUD), Edinburgh, UK.

NORMAS:

Especificaciones Generales de Construcción y Normas de ensayos para materiales en la construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías) 2007

Especificaciones Técnicas de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y espacio público en Bogotá D.C (Instituto de Desarrollo Urbano I.D.U.). Sección 510-2005

Instituto Nacional de Vías. Artículo 453 mezcla drenante. 2007.

Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V. E- 796 Permeabilidad In Situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS. 2007.

Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V. E- 130 Permeabilidad de suelos granulares (Cabeza constante). 2007.

Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V. E- 760 Método del Cantabro. 2007.

Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V. E- 748 Resistencia de mezcla bituminosa empleando el aparato Marshall. 2007.

Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V. E- 786 determinaciones de la deformabilidad al flujo plástico y la resistencia de mezclas asfálticas en caliente usando el ensayo de tracción indirecta. 2007.

Norma NLT – 365. Ecurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas. 1993.

Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V. E- 754. Módulo dinámico de mezclas asfálticas. 2007

