

**ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS GRUESAS**

**ALVARO JAVIER NIÑO CORREA
ANTHONY NELSON HERNÁNDEZ CASTRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2017**

**ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS GRUESAS**

**ALVARO JAVIER NIÑO CORREA
ANTHONY NELSON HERNÁNDEZ CASTRO**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Ingeniero, MSc., PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A mis padres Alvaro Niño y Marina Correa por su amor incondicional y apoyo constante en cada momento de mi vida.

A mis hermanos Mary, Carlos, a mis sobrinas Natalia y Valery, por ser mi motivación.

A Natalia Oviedo por su amor y apoyo constante en esta etapa de mi vida.

Alvaro Javier Niño Correa

Este trabajo es dedicado a mis padres porque gracias a ellos es que todo esto es posible, a mis hermanos por todo su apoyo durante este proceso, a mis amigos y compañeros por toda su ayuda y tiempo que me regalaron en cada paso de este proceso.

A los profesores que me brindaron su conocimiento y sabiduría para poder realizarme como profesional.

Anthony Nelson Hernández Castro

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. MARCO CONCEPTUAL.....	13
1.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	13
1.2 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	13
1.3 AHUELLAMIENTO.....	14
1.4 ENSAYOS DE AHUELLAMIENTO.....	15
1.4.1 Wheel tracking test - EN 12697-22.....	16
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	18
2.1.1 Agregados pétreos y llenante mineral.....	18
2.1.2 Ligante asfáltico.....	19
2.2 CURVA GRANULOMÉTRICA.....	20
2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	21
2.3.1 Criterios de diseño.....	21
2.4 ENSAYOS DE AHUELLAMIENTO.....	25
2.4.1 Consideraciones generales.....	25
2.4.2 Compactación de las probetas.....	25
2.4.3 Características del ensayo.....	26
2.4.4 Construcción de especímenes.....	26
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
3.1 DEFORMACIONES MÁXIMAS.....	31
3.2 COMPARACIÓN MGC Y MSC.....	33
3.2.1 Características de las mezclas.....	33
3.2.2 Comparación de resultados de deformación.....	34
4. CONCLUSIONES.....	36
REFERENCIAS.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Formación de ahuellamiento, calle 80 bogotá, colombia	14
Figura 2. Etapas en un ensayo de ahuellamiento.	15
Figura 3. Máquina de ahuellamiento (wheel tracking test - EN 12697-22).....	16
Figura 4. Diagrama de la metodología de investigación	17
Figura 5. Caracterización del material granular	18
Figura 6. Caracterización del asfalto.....	19
Figura 7. Curva ajustada para la granulometría de la MGC-25.....	20
Figura 8. Elaboración probetas marshall	23
Figura 9. Equipo de ensayo marshall.....	23
Figura 10. Probetas con contenido de asfalto del 4.7%.....	24
Figura 11. Compactación de probetas para la máquina de ahuellamiento.	27
Figura 12. Probetas en el acondicionamiento	28
Figura 13. Dispositivo para medir la deformación.	28
Figura 14. Probetas después del ensayo.....	29
Figura 15. Vista de cerca del ahuellamiento formado en las probetas.....	29
Figura 16. Resultados de las deformaciones	30
Figura 17. Deformación proporcional para 30000 ciclos.....	32
Figura 18. Deformación proporcional 10000 ciclos.	32
Figura 19. Deformación para 30000 ciclos de carga.....	34
Figura 20. Deformación para 10000 ciclos de carga.....	35

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ensayos de caracterización del material granular y llenante mineral.....	19
Tabla 2. Ensayos de caracterización del asfalto	20
Tabla 3. Criterios de diseño para MGC-25	22
Tabla 4. Resultados para contenidos de asfalto del 4% y 5%.	24
<i>Tabla 5. Resultados para probetas con contenido de asfalto del 4.7%</i>	<i>25</i>
Tabla 6. Ensayo de ahuellamiento EN 12697-22: 2003.....	26
Tabla 7. Resultados ensayo de ahuellamiento UNE-EN 12697-22.....	31
Tabla 8. Contenido de asfalto y propiedades volumétricas de las mezclas.	33
Tabla 9. Resultados ensayos de ahuellamiento MGC-25 y MSC-19	34

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS GRUESAS *

AUTOR: ALVARO JAVIER NIÑO CORREA
ANTHONY NELSON HERNÁNDEZ CASTRO **

PALABRAS CLAVE: ENSAYO DE AHUELLAMIENTO, MEZCLA ASFÁLTICA, ENSAYO MARSHALL, DEFORMACIONES PLÁSTICAS, MEZCLAS ASFÁLTICAS GRUESAS.

DESCRIPCIÓN

En este trabajo de grado se estudia las deformaciones plásticas en mezclas asfálticas gruesas en caliente de gradación continua (MGC-25). Se hizo la caracterización de los materiales usados y el ajuste de la curva granulométrica con el fin de que la mezcla presente gran porcentaje de material grueso dentro de la franja especificada para este tipo de mezclas por el INVIAS. El diseño de la mezcla se realizó con el método Marshall, consiguiendo un contenido óptimo de asfalto que cumpliera con los criterios de diseño exigidos en las especificaciones de la normatividad colombiana, considerando el nivel de tránsito y temperatura de la región, tamaño máximo del agregado y tipo de capa a utilizar. Con el diseño preliminar de la mezcla se fabricaron probetas para ensayar en la máquina de ahuellamiento con norma europea EN 12697-22:2003 Wheeltracking Test (Large Size Device) con el objetivo de estudiar la resistencia al ahuellamiento en mezclas asfálticas gruesas usadas en capas de base para pavimentos. Para el estudio se construyeron seis probetas acondicionadas a una temperatura de 60°C, y sometidas al paso una rueda con 5 kN de carga a una frecuencia de 1Hz, cuatro fueron sometidas a 10000 y dos a 30000 ciclos de carga, luego se analizaron las deformaciones progresivas y totales que presentaron las muestras para determinar el nivel de susceptibilidad al ahuellamiento de acuerdo a normativa europea.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF SUSCEPTIBILITY TO RUTTING IN COARSE ASPHALT MIXTURES *

AUTHORS: ALVARO JAVIER NIÑO CORREA
ANTHONY NELSON HERNÁNDEZ CASTRO **

KEY WORDS: WHEEL TRACKING TEST, ASPHALT MIXTURES, MARSHALL TEST, PLASTIC DEFORMATIONS, THICK ASPHALTIC MIXTURE.

DESCRIPTION

In this work were studied plastic deformations in hot coarse asphalt mixtures of continuous gradation (MGC-25). Work began with the characterization of the materials used, then an adjustment was made to the granulometric curve, so that the mixture contains a large percentage of coarse material that is within the specified range for this type of mixture by INVIAS. Design of the mixture was realized by the Marshall method, obtaining an optimum asphalt content for the mixture that met the design criteria required in the INVIAS specifications, considering the level of transit and temperature of the region, maximum size of the aggregate and type of layer to use. With the preliminary design of the mixture, test specimens were fabricated for the Wheel tracking Test (Large Size Device) with European standard EN 12697-22: 2003, with the objective of studying the resistance to rutting in coarse asphalt mixtures used in base course layers for pavements. For the study, six specimens were made and conditioned at a temperature of 60 ° C and subjected to the pass of a wheel with 5 KN of load at a frequency of 1 Hz, four were tested to 10000 cycles and two to 30000 load cycles, progressive and total deformations that the samples presented were analyzed to determine the level of susceptibility according to European normative.

*Bachelor Thesis

**Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas usadas en la construcción de pavimentos cumplen principalmente dos funciones, la primera brindar soporte estructural y la segunda mejorar las características superficiales tales como adherencia, comodidad y seguridad [1]. El paso reiterado de cargas móviles sobre una estructura de pavimento provoca pequeñas deformaciones plásticas, las cuales se van acumulando hasta formar huellas longitudinales en la vía.

Determinar si un material es susceptible al ahuellamiento permite poner correctivos en el diseño definitivo de una mezcla asfáltica evitando así el deterioro de la vía y alargando la vida útil de la estructura, por tanto, se disminuyen los costes de mantenimiento.

Para medir la resistencia a la deformación plástica de una mezcla asfáltica se recurre principalmente a ensayos de simulación conocidos como ensayos de ahuellamiento. El ensayo usado en este trabajo es el Wheel tracking test EN 12697-22 estandarizada por el Comité Europeo de Normalización (CEN).

La mezcla utilizada para los ensayos de ahuellamiento es la denominada MGC (mezcla gruesa en caliente) de gradación continua con un tamaño máximo nominal de 25 mm, Este es un tipo de mezclas usada en capas de base para pavimento.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas son una combinación de agregados pétreos y asfalto, el asfalto funciona como ligante recubriendo las partículas de agregado y uniéndolas entre sí para brindar soporte estructural al tránsito vial. El asfalto es un material viscoelástico y los áridos elastoplásticos, considerándose, por tanto, a las mezclas bituminosas como un material viscoelastoplástico [2].

1.2 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El método Marshall es el de mayor uso para el diseño de mezclas asfálticas, que consiste en medir la resistencia y deformación de probetas cilíndricas de 102 mm de diámetro y altura de 63.5 mm con diferentes contenidos de asfalto. Las probetas se fabrican según procedimientos estandarizados, para luego ser ensayadas y poder determinar su estabilidad y deformación.

Los parámetros conseguidos con el ensayo Marshall, junto con propiedades volumétricas de las probetas, deben cumplir especificaciones de diseño para garantizar una mezcla resistente y duradera. Con los resultados de las probetas elaboradas con diferentes contenidos de asfalto se define el porcentaje óptimo de asfalto.

1.3 AHUELLAMIENTO

El ahuellamiento es la acumulación de deformaciones plásticas que se manifiesta con una depresión acanalada a lo largo de la vía acompañada normalmente por abultamientos a los lados.

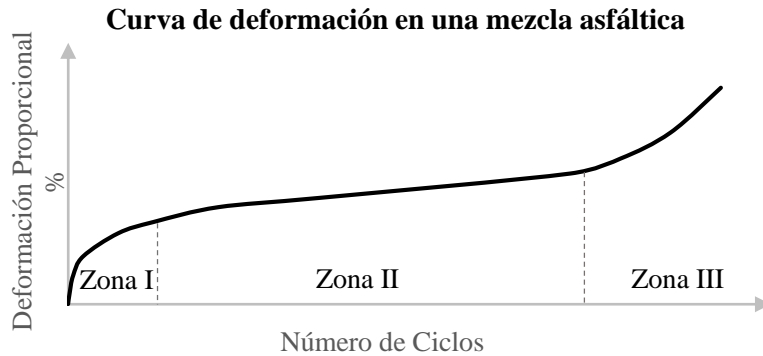
Figura 1. Formación de ahuellamiento, Calle 80 Bogotá, Colombia



Fuente: Fuente: Reyes O. & Camacho J. "Incidencia en el ahuellamiento y propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica por adición de desperdicio de llanta usada"

Las deformaciones plásticas dependen de muchos factores; Las características propias de los materiales como la granulometría, forma y textura de los agregados, tipo de ligante y contenido de vacíos en la mezcla son factores internos del material, mientras que el tránsito y las condiciones ambientales como el agua o altas temperaturas son factores externos [2].

Figura 2. Etapas en un ensayo de ahuellamiento.



Fuente: Adaptado de Marroquín, J.; Uribe, D. [3].

En la primera zona, se producen altas deformaciones, resultado de la reducción del volumen, lo que produce un aumento en la densidad del material, en esta primera etapa se produce una reacomodación de las partículas del agregado reduciendo los vacíos en el material.

En la segunda zona el material presenta una disminución en la tasa de deformación, mostrando un crecimiento casi constante donde la mayor parte de la deformación es permanente.

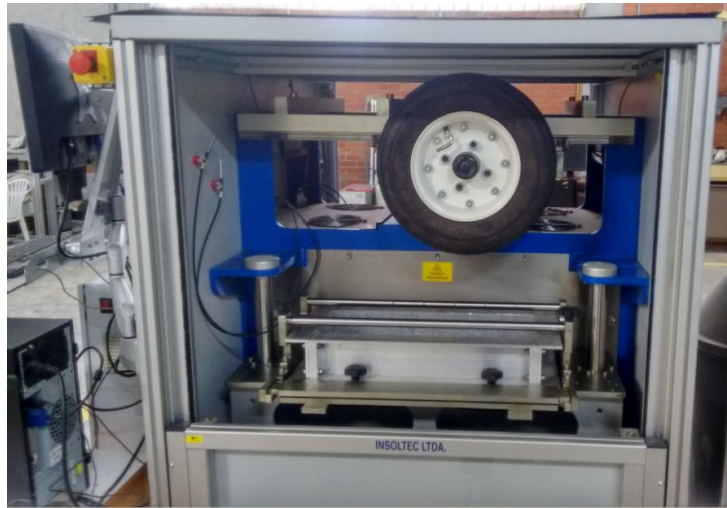
En la tercera zona se presenta un incremento pronunciado en la deformación con cada ciclo de carga, el material ofrece poca resistencia a los esfuerzos causados por las cargas de tránsito [3].

1.4 ENSAYOS DE AHUELLAMIENTO

Los principales ensayos usados para determinar la susceptibilidad a la deformación plástica de mezclas asfálticas en caliente son los ensayos de simulación en donde se recrean las condiciones de servicio a la que es sometida las capas de pavimento.

En la actual normatividad colombiana se dispone del INV E-756 “Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio” [4], este ensayo está basado en la norma europea NLT 173/00 Ensayo en pista de laboratorio, el cual, fue remplazado por el ensayo de rodadura, UNE-EN 12697-22, este último es el usado para este trabajo.

Figura 3. Máquina de ahuellamiento (Wheel tracking test - EN 12697-22)



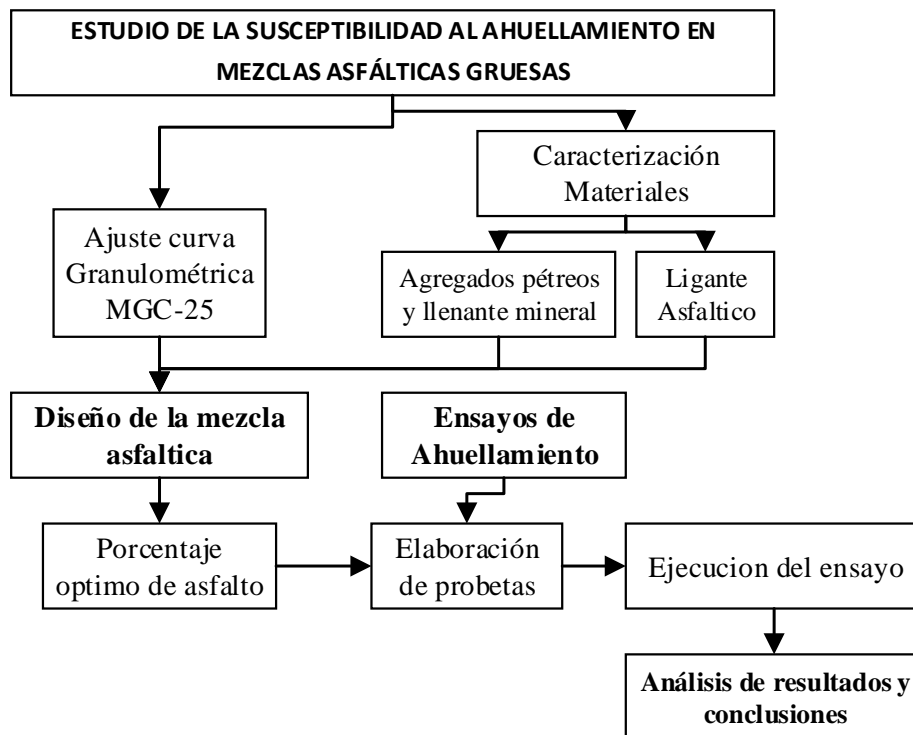
En la figura 3 se muestra la máquina de ahuellamiento usada para ensayar las probetas, la cual cumple con la normatividad europea. El dispositivo cuenta con sistema de acondicionamiento, registro de temperatura, sistema para medición de la deformación y con la posibilidad de ensayar dos muestras a la vez.

1.4.1 Wheel tracking test - EN 12697-22. El *Routes et sécurité routière*, Francia [5] especifica el valor más crítico del 5% como el límite para el ahuellamiento promedio de especímenes de mezclas usadas para base a los 30000 ciclos de carga en la máquina de ahuellamiento UNE-EN 12697-22 dispositivo grande.

2. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama se muestra la metodología empleada para el desarrollo del trabajo de investigación, con el objetivo de medir las deformaciones permanentes en capas de pavimento que cumplen especificaciones de la normativa colombiana, se hace primero el diseño de la mezcla asfáltica consiguiendo un contenido óptimo de asfalto que cumpla las especificaciones de la normatividad colombiana, luego se elaboran probetas con este contenido de asfalto para ser ensayadas en la máquina de ahuellamiento y determinar la susceptibilidad de las mezclas gruesas a las deformaciones plásticas.

Figura 4. Diagrama de la Metodología de Investigación



2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

El concreto asfáltico transmite las cargas vehiculares a las capas subyacentes, y como material compuesto responde a los esfuerzos de acuerdo a las propiedades mecánicas que poseen los materiales, debido a eso es necesario determinar las características de los materiales que componen la mezcla.

2.1.1 Agregados pétreos y llenante mineral. Los agregados fueron suministrados por la empresa ASFALTART S.A.S, ubicada en el Caucho, Girón, Santander. El material se caracterizó con los ensayos de laboratorio de acuerdo con la tabla 1.

Figura 5. Caracterización del material granular



Tabla 1. Ensayos de caracterización del material granular y llenante mineral.

Ensayo	Norma	Resultado
Densidad relativa aparente agregado grueso	INV E-223	2.73
Densidad relativa aparente agregado fino	INV E-222	2.72
Absorción agregado grueso	INV E-223	0.79%
Absorción agregado fino	INV E-222	3.09%
Densidad relativa bulk Llenante mineral	INV E-128	2.94

2.1.2 Ligante asfáltico. Asfalto 60-70 suministrado por la empresa ASFALTART S.A.S, ubicada en el Caucho, Girón, Santander. El material se caracterizó con los ensayos de laboratorio de acuerdo con la tabla 2.

Figura 6. Caracterización del asfalto.



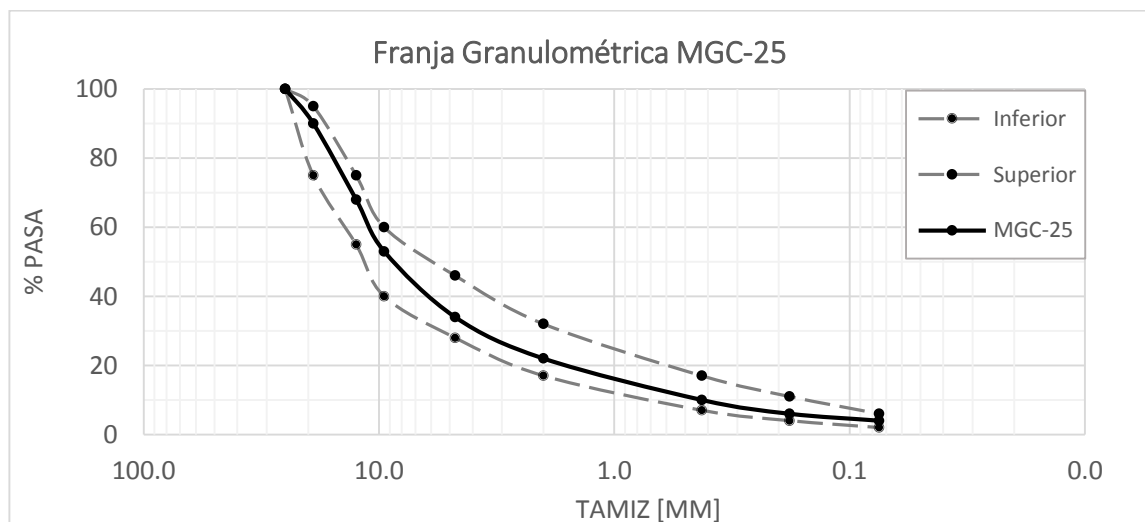
Tabla 2. Ensayos de caracterización del asfalto

Ensayo	Norma	Resultado
Densidad relativa del asfalto	INV E-707	1.001
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	INV E-706	64 (0.1 mm)
Viscosidad	INV E-801	1.70E+06 (Poises)

2.2 CURVA GRANULOMÉTRICA

En la figura 7 se muestra las franjas superior e inferior de la distribución granulométrica para una mezcla gruesa según INVIAS, con el objetivo de analizar la resistencia a la deformación plástica de mezclas gruesas en caliente MGC-25 se ajustó la curva granulométrica para que la mezcla contenga aproximadamente dos terceras partes (el 66%) de material granular grueso (material retenido en el tamiz No. 4).

Figura 7. Curva ajustada para la granulometría de la MGC-25.



2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Con el método Marshall se determina el contenido óptimo de asfalto para la mezcla, considerando especificaciones técnicas de la normatividad colombiana INVIAS, en donde se indica los criterios de diseño que limitan intervalos permisibles para las características de la mezcla, como son la estabilidad y flujo Marshall, además de propiedades volumétricas.

El tipo de mezcla a utilizar en el estudio es MGC-25 (Mezcla gruesa en Caliente de tamaño máximo nominal 25 mm). Este tipo de mezcla es normalmente utilizado en capas de base, requiriendo un espesor mínimo compactado de 75mm.

Se define que la mezcla a utilizar tomara como parámetro de diseño una categoría de transito NT3 para así especificar los criterios de diseño preliminar de la mezcla asfáltica por el método Marshall.

2.3.1 Criterios de diseño. Para el diseño de la mezcla asfáltica se consideran los principales criterios estipulados en el invias.

- Tipo de mezcla: MGC-25
- Tipo de capa: Base
- Categoría de Transito: NT3
- Compactación: 75 golpes/cara
- Temperatura para la mezcla: 150°C
- Temperatura de compactación: 135°C

En la tabla 3 se especifican los principales criterios de diseño preliminar de la MGC-25 (mezcla gruesa en caliente).

Tabla 3. Criterios de diseño para MGC-25

CARACTERÍSTICA		ESPECIFICACIÓN	NORMA INV
Propiedades Marshall	Estabilidad mínima (N)	9000.00	E- 748
	Flujo (mm)	2.0 - 3.5	
	Estabilidad/flujo	3.0 - 6.0	
Propiedades volumétricas	Vacíos con aire (Va), %	5.0 - 8.0	E- 799
	Vacíos en los agregados minerales (VAM), mínimo, %	14.0	
	Vacíos llenos de asfalto (VFA), %	65 - 75	
	Llenante/ligante efectivo	0.8 - 1.2	

Fuente: Adaptado de Especificaciones INVIAS

Basados en la experiencia se hicieron probetas con contenidos de asfalto del 4% y 5%, tres probetas con cada contenido de asfalto. Se ensayaron las probetas para determinar la estabilidad y flujo Marshall y se calcularon las propiedades volumétricas.

Figura 8. Elaboración probetas Marshall



En la figura 8, izquierda, se observa el material mezclado vertido en el molde y listo para el proceso de compactación que consiste en 75 golpes con el martillo de compactación por cada cara del cilindro. Derecha; la probeta para registrar su masa para determinar propiedades volumétricas.

Figura 9. Equipo de ensayo Marshall



En la figura 9 el montaje para el ensayo Marshall donde se determina la estabilidad y flujo de las probetas con un contenido de asfalto determinado.

Tabla 4. Resultados para contenidos de asfalto del 4% y 5%.

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	
Contenido de asfalto (%)	4.0%	5.0%
Numero de probetas	I - II	I - II-III
Densidad bulk promedio	2.371	2.393
Estabilidad corregida, N	12635	10813
Flujo, mm	3.05	4.25
Estabilidad/flujo	4.1	2.5
Vacíos con aire (Va)	6.30%	4.60%
Vacíos en los agregados minerales (VAM)	14.62%	14.65%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)	57.10%	68.80%
Llenante/ligante efectivo	1.09	0.91%

Los valores de la tabla 4 resaltados en negrita son los que no cumplen las especificaciones. Las probetas elaboradas con el 4.0% de asfalto no cumplen con el VFA. Interpolando se necesita 4.7 de asfalto para que cumpla la especificación. Se hacen dos muestras con contenido de asfalto 4.7% y se determinan todos los parámetros de diseño.

Figura 10. Probetas con contenido de asfalto del 4.7%



En la tabla 5 se muestra que la mezcla satisface los principales criterios de diseño preliminar de una mezcla asfáltica en caliente de gradación continua. Se establece que el contenido óptimo de asfalto es del 4.70%.

Tabla 5. Resultados para probetas con contenido de asfalto del 4.7%

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
Contenido de asfalto (%)	4.7
Numero de probetas	I - II
Densidad bulk	2.388
Estabilidad corregida	11320 N
Flujo	3.18 mm
Estabilidad/flujo	3.6
Vacíos con aire (Va)	5.01%
Vacíos en los agregados minerales (VAM)	14.65%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65.80%
Llenante/ligante efectivo	0.95

2.4 ENSAYOS DE AHUELLAMIENTO

2.4.1 Consideraciones generales. En la norma EN 12697-22 se describe como los métodos de ensayos a seguir para determinar la resistencia de un material a la deformación plástica.

- Aplicable a tamaños de agregados menores o iguales a 32 mm
- Se pueden ensayar probetas elaboradas en el laboratorio o extraídas de campo.
- Las probetas se deben acondicionar antes de empezar el ensayo a una temperatura de 60°C
- La duración del ensayo es al finalizar los 10.000 o 30.000 ciclos.

2.4.2 Compactación de las probetas. Los dos criterios para compactar las probetas son:

1. Suministrar una energía de compactación controlada.
2. Conseguir un volumen especificado.

Ambos criterios se derivados del proceso de compactación de las probetas cilíndricas para los ensayos Marshall donde se conoce la energía suministrada al volumen o masa a compactar y la densidad a la que se desea llevar el espécimen compactado.

Con cualquiera de los dos criterios de compactación la densidad de las probetas elaboradas para el ensayo de ahuellamiento debe ser mayor o igual al 98% de la alcanzada en el diseño Marshall.

2.4.3 Características del ensayo. A continuación, se muestra las principales características del ensayo:

Tabla 6. Ensayo de ahuellamiento EN 12697-22: 2003

Número de probetas por ensayo	2
Dimensiones de probetas	18x50x10 cm
Temperatura de acondicionamiento	60°C
Carga de la rueda	5 kN
Velocidad de aplicación	60 ciclos/minuto
Duración ensayo	10000 y 30000 ciclos
Expresión de resultados	-Deformación mm - Deformación %

2.4.4 Construcción de especímenes. La construcción de las probetas en forma de paralelepípedo se realizó recreando el procedimiento para la elaboración de las probetas cilíndricas para los ensayos Marshall, con la misma temperatura de mezclado y compactación, con cantidad necesaria para llenar un volumen de 9000 cm³ con una densidad del 98% la obtenida en el diseño.

La compactación de los especímenes se realizó con un martillo demoledor con punta terminada en una placa rectangular siguiendo el procedimiento planteado por Vergel Jhoan y Tavera Jairo en el proyecto de grado DEFINICIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PROBETAS CON CARACTERÍSTICAS HOMOGÉNEAS PARA LA UTILIZACIÓN EN LA MÁQUINA DE AHUELLAMIENTO [6].

Figura 11. Compactación de probetas para la máquina de ahuellamiento.



El proceso de compactación propuesto por [6] se basa en el suministro de energía a una masa o volumen de material definido con el fin de lograr una densidad deseada, basándose en la energía empleada en el proceso de compactar probetas Marshall.

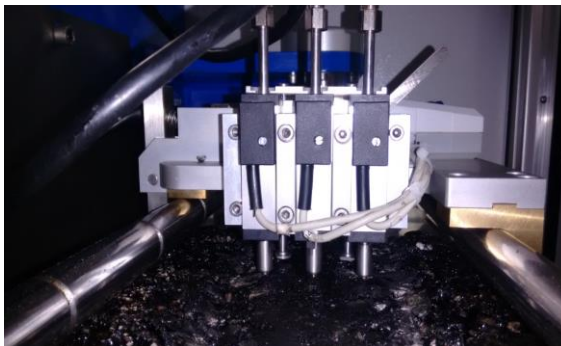
2.4.5 Ejecución del ensayo. Se introducen las 2 probetas a la máquina de ahuellamiento y se espera de 4 a 6 horas o hasta que la temperatura de los especímenes sea igual a la temperatura requerida para el ensayo, en este caso 60°C.

Figura 12. Probetas en el acondicionamiento



Se empieza el ensayo tomando las lecturas indicadas con el fin de caracterizar la curva de deformación, las lecturas de mayor relevancia son las deformaciones para 10000 y 30000 ciclos, con estas se determinan la resistencia al ahuellamiento.

Figura 13. Dispositivo para medir la deformación.



Formación del ahuellamiento en las probetas ensayadas es visible en la figura 13.

Figura 14. Probetas después del ensayo.



La forma de el ahuellamiento es igual a la comúnmente encontrada en vías que desarrollan este tipo de fallas, Consiste en la formación de una depresión a lo largo del paso de la rueda junto con levantamiento de los bordes de la llanta formando así una mayor irregularidad en la superficie de pavimento.

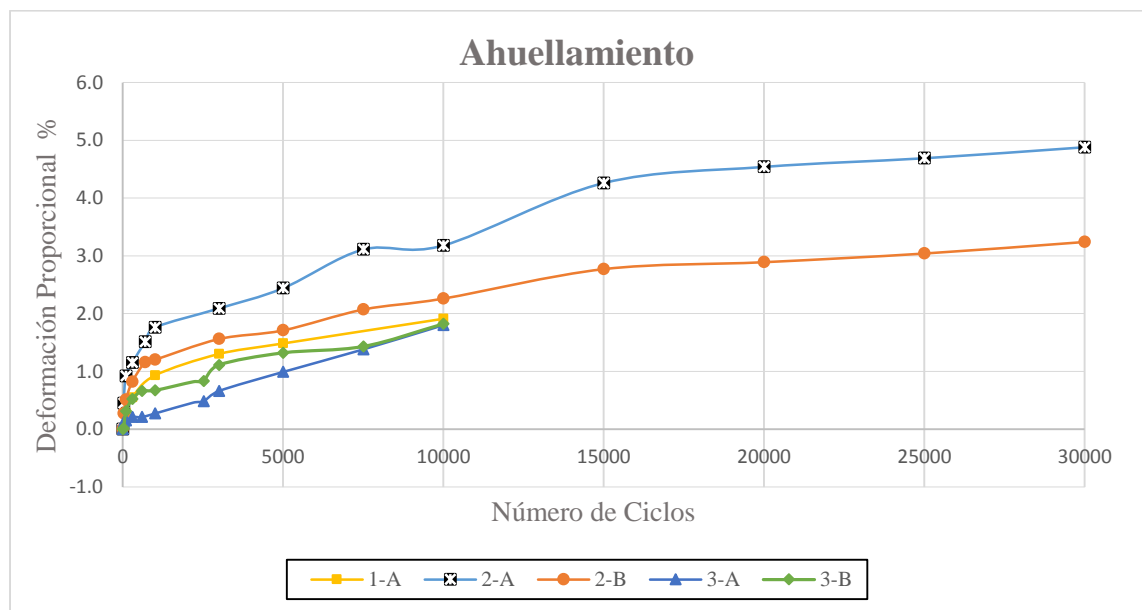
Figura 15. Vista de cerca del ahuellamiento formado en las probetas.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente figura se muestra las deformaciones medias del ahuellamiento conseguidos en los ensayos EN 12697-22:2003 Wheeltracking Test (Large Size Device).

Figura 16. Resultados de las deformaciones



En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en los ensayos de ahuellamiento, para determinar la resistencia a la deformación plástica según prescripción internacional.

El parámetro principal que indica que tan susceptible es una mezcla asfáltica al ahuellamiento es la deformación promedio de la huella formada al finalizar un número de ciclos especificado.

Tabla 7. Resultados ensayo de ahuellamiento UNE-EN 12697-22

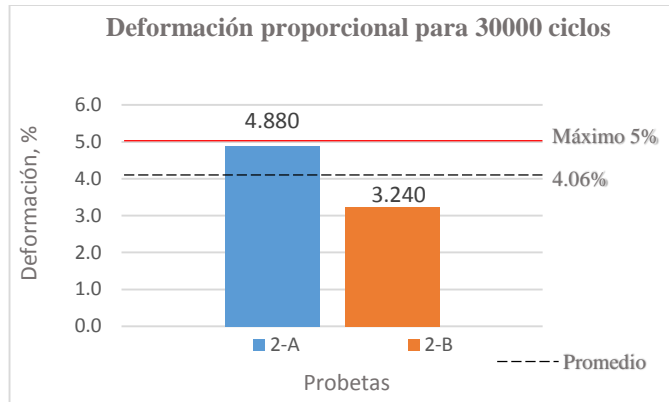
Probeta	Deformación %	
	10000 ciclos	30000 ciclos
1-A	1.910	
2-A	3.180	4.880
2-B	2.260	3.240
3-A	1.800	
3-B	1.820	

En la normatividad europea para el ensayo de ahuellamiento EN 12697-22:2003 dispositivo grande se estipula valores máximos aceptables para la deformación máxima a determinados ciclos de carga dependiendo del tipo de mezcla, nivel de tráfico pesado y tipo de capa utilizada. Siendo el más críticos para este tipo de mezclas el 5% para 30000 ciclos de carga.

3.1 DEFORMACIONES MÁXIMAS

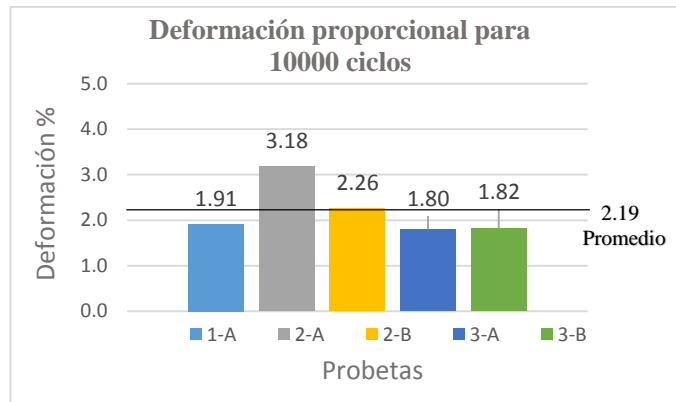
En las figuras 17 se muestran los valores de las deformaciones para 30000 ciclos y con ellas el valor permisible para la deformación según [5].

Figura 17. Deformación proporcional para 30000 ciclos.



La deformación máxima para 30000 ciclos no alcanza a superar el límite del 5% establecido en las especificaciones francesas.

Figura 18. Deformación proporcional 10000 ciclos.



La probeta 1-B ensayada fue descartada debido a que la presión de inflado de la llanta era menor a la necesaria para poder realizar adecuadamente el ensayo.

3.2 COMPARACIÓN MGC Y MSC

Para mayor comprensión en la formación de ahuellamiento en mezclas asfálticas, se comparan los resultados obtenidos en este proyecto de investigación con los resultados de los ensayos de ahuellamiento realizados por Marroquín J. y Uribe D. [3].

3.2.1 Características de las mezclas. Para los dos tipos de mezclas (MGC y MSC) el material granular y el cemento asfáltico es de la misma procedencia, suministrado por la empresa ASFALTART S.A.S; ubicada en el Caucho, Girón, Santander.

Las condiciones del ensayo tales como: dimensiones de las probetas, número de ciclos, temperatura de ensayos, carga y frecuencia de aplicación son los mismos.

Tabla 8. Contenido de asfalto y propiedades volumétricas de las mezclas.

Tipo de mezcla	MGC-25	MSC-19
	(Mezcla Gruesa en Caliente)	(Mezcla Semidensa en Caliente)
Cont. asfalto	4.7 %	4.8 %
$G_s Bulk$	2.388	2.348
Va	5.01%	4.00%
VAM	14.65%	14.86%
VFA	65.80%	73.08%

3.2.2 Comparación de resultados de deformación. En la tabla 9 se muestra los resultados de los ensayos de ahuellamiento para los dos tipos de mezcla.

Tabla 9. Resultados ensayos de ahuellamiento MGC-25 y MSC-19

Probeta	Deformación %			
	10000 ciclos		30000 ciclos	
	MGC-25	MSC-19	MGC-25	MSC-19
1-A	1.91			
1-B		2.02		
2-A	3.18	2.91	4.88	3.63
2-B	2.26	1.43	3.24	1.96
3-A	1.80			
3-B	1.82			
Promedia	2.19	2.12	4.06	2.80

En promedio las deformaciones tanto para los 30000 ciclos como para los 10000 ciclos son mayores para la mezcla gruesa como se muestra en la tabla 9, también en las figuras 19 y 20 se puede ver el rango donde se presentan las deformaciones para los dos tipos de mezcla.

Figura 19. Deformación para 30000 ciclos de carga.

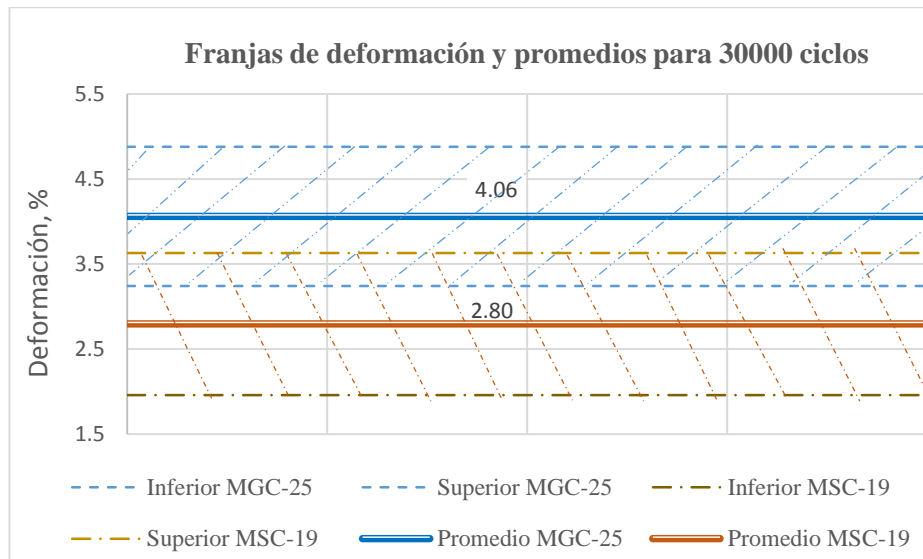
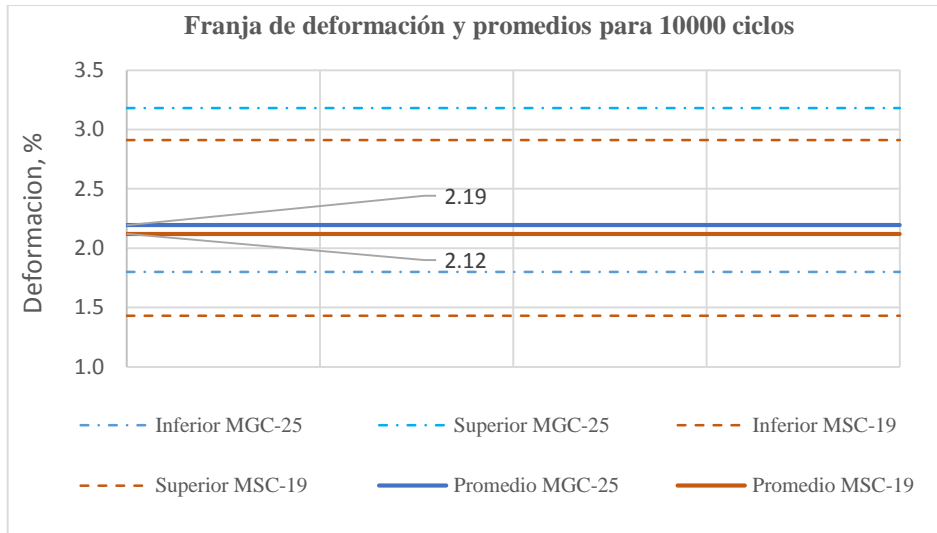


Figura 20. Deformación para 10000 ciclos de carga.



4. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados y teniendo en cuenta que la normativa francesa, se puede establecer que el material cumple con las exigencias prescritas por dicha norma, esto indica que el material compuesto es resistente a las deformaciones plásticas y puede ser usado en capas de pavimento que requieran de gran desempeño ante ahuellamiento.

De los gráficos de deformación vs número de ciclos obtenidos en los ensayos de ahuellamiento se puede determinar que las deformaciones están dentro del rango de deformación plástica sin llegar a la zona de flujo plástico como se muestra en la figura 2.

La granulometría y contenido de ligante en la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua son factores influyentes en la formación de ahuellamiento, ya que por su composición la mezcla gruesa presenta mayor deformación que la mezcla semidensa, donde se puede concluir que las mezclas asfálticas gruesas presentan un mayor grado de susceptibilidad al ahuellamiento que las mezclas asfálticas semidensas.

REFERENCIAS

- [1] BOTASSO, Gerardo, et al. Medición del ahuellamiento en mezclas densas en caliente. La Plata, Argentina. LEMaC, Centro de investigaciones Viales, 2010. p.1.
- [2] GARCÍA TRAVÉ, Gema M. Análisis comparativo del Comportamiento mecánico de mezclas bituminosas. Normativa NLT - Normativa UNE-EN. Tesis PhD. Granada, España: Universidad de Granada, 2015. 149p.
- [3] MARROQUÍN, Jose A.; URIBE, Dario J. Estudio de la susceptibilidad al ahuellamiento en mezclas asfálticas semidensas, Tesis Pregrado. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2017.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Bogota D.C.: INVIAS, 2013.
- [5] LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES. Routes et sécurité routière. Paris: Formulation des enrobés à chaud, 2006.
- [6] VERGEL Jhoan A.; Tavera Jairo D. Definición del proceso de fabricación de probetas con características homogéneas para la utilización en la máquina de ahuellamiento, Tesis Pregrado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2015.

BIBLIOGRAFÍA

CARO, S.; CORAL, L.; CAICEDO, B. Modelación del ahuellamiento en mezclas asfálticas de pavimentos, Revista, Issue 18, 7p., Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de ensayo de materiales. Bogota D.C.: INVIAS, 2013.

PARTL, Manfred N., et al. Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials. London: Springer, 2012.

REYES, O.; CAMACHO J. "Influencia de la granulometría en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas" Ingeniería y Desarrollo, Colombia, 2008.

THENOUX, Guillermo; CARRILLO, Hector. Análisis de casos de ahuellamiento en mezclas asfálticas chilenas. Santiago de Chile. Centro de Centro de Ingeniería e Investigación Vial, 2002.