

**ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD EN PROBETAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS PRODUCIDAS EN COMPACTADOR GIRATORIO**

**KEWIN FERNANDO TUTIRA CÁCERES
ALBA JOHANA REYES BARAJAS**

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

2015

**ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD EN PROBETAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS PRODUCIDAS EN COMPACTADOR GIRATORIO**

**KEWIN FERNANDO TUTIRA CÁCERES
ALBA JOHANA REYES BARAJAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director:

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Ingeniero Civil, Msc, PhD.**

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

2015

DEDICATORIA

A papito Dios que en momentos difíciles supo guiarme y mostrarme cual era y será el mejor camino.

A mi padre Leonel Tutira que con su experiencia me enseñó los fundamentos para que esto fuera posible.

A mi madre María Eddy Cáceres que con sus palabras de alientos cada día, hicieron que fueran más alegres.

A mis hermanas Karina y Vanessa que con sus palabras de cariño me fortalecían día a día

A mis compañeros, amigos y familiares que fueron indispensables en este camino.

A Giovanni Garnica por darme la oportunidad de trabajar y enseñarme hacer como profesional y como persona.

A Alba Johana Reyes compañera de tesis que con dedicación y esfuerzo logramos una meta más una meta anhelada una meta de ser un CIVIL UIS.

A los guías que tuve durante mi carrera en especial el Ing. Eduardo Alberto Castañeda que fue el pilar fundamental de esta labor.

KEWIN FERNANDO TUTIRA CÁCERES

DEDICATORIA

Agradezco esta meta a Dios, por estar siempre iluminando mi camino y dándome fuerzas cuando más lo necesite.

A mis padres Alejandro y Albina, pilar fundamental en mi vida y razón de vivir.

Gracias por tanto amor y sacrificio, por soñar y caminar siempre a mi lado.

A mis hermanos y demás familiares por su apoyo y motivación en diferentes momentos.

A mi compañero de proyecto Kevin Tutira, por su colaboración y compañía durante este proyecto. Hoy culminamos con éxito este sueño Civil UIS.

A todos mis compañeros, por su amistad incondicional durante estos cinco años.

Me llevo grades recuerdos.

A todos los profesores por sus enseñanzas, en especial al Ingeniero Eduardo Castañeda director de proyecto, su colaboración y conocimientos hicieron posible el desarrollo de esta Tesis.

Alba Johana Reyes Barajas

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
1.1 COMPACTACIÓN GIRATORIA SUPERPAVE	16
1.2 DENSIDAD NO UNIFORME DENTRO DE UN MISMO ESPÉCIMEN	17
1.3 HOMOGENEIDAD HORIZONTAL EN LAS MUESTRAS DE ASFALTO	18
2. METODOLOGÍA	19
3. ELABORACIÓN DE PROBETAS.	21
3.1 GRANULOMETRIA	21
3.2 CEMENTO ASFÁLTICO	22
3.3 COMPACTACIÓN	23
4. RESULTADOS	24
4.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS	24
4.1.1 Densidad y contenido de vacíos globales	24
4.1.2 Variación longitudinal	25
4.1.3 Variación transversal	29
4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	41
4.2.1 Esfuerzo de tracción probeta tipo 1	43
4.2.2 Esfuerzo de tracción probeta tipo 2	46
4.3 ISOGRAMAS DE DENSIDADES	51
4.4 OBTENCIÓN DE MUESTRAS HOMOGÉNEAS	53
5. CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de funcionamiento del compactador giratorio. [1]	17
Figura 2. Núcleo extraído de un espécimen producido en compactador giratorio. [1]	17
Figura 3. Variación de propiedades en la probeta.	19
Figura 4. Muestra dentro de la probeta y variación radial de las propiedades en la probeta.	20
Figura 5. Curvas granulométricas.	22
Figura 6. Propiedades del cemento asfáltico 60/70. [3]	22
Figura 7. Máquina de compactación giratoria.	23
Figura 8. Tipos de probetas compactadas.	24
Figura 9. Cortes longitudinales probeta tipo 1.	26
Figura 10. Variación longitudinal de la densidad respecto a la altura, probetas tipo 1.	27
Figura 11. Cortes longitudinales probeta tipo 2	27
Figura 12. Variación longitudinal de la densidad respecto a la altura en probetas tipo 2.	28
Figura 13. Cortes transversales probeta tipo 1.	29
Figura 14. Variación transversal de la densidad respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 1.	30
Figura 15. Variación transversal del porcentaje vacíos respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 1.	31
Figura 16. Variación transversal de la densidad respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 1.	32

Figura 17. Variación transversal de los vacíos respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 1.	32
Figura 18. Variación trasversal de la densidad respecto a la altura MD, probeta tipo 1	33
Figura 19. Variación transversal del porcentaje de vacíos respecto a la altura MD, probeta tipo 1.	34
Figura 20. Cortes transversales probeta tipo 2.	34
Figura 21. Variación transversal de densidad respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 2.	35
Figura 22. Variación transversal de vacíos respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 2.	35
Figura 23. Variación transversal de la densidad respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 2.	38
Figura 24. Variación transversal de los vacíos respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 2.	38
Figura 25. Variación transversal de la densidad respecto a la altura, probeta tipo 2.	39
Figura 26. Variación transversal de los vacíos respecto a la altura, probeta tipo 2.	41
Figura 27. Ensayo de resistencia a la tracción.	42
Figura 28. Curva esfuerzo – deformación unitaria.	42
Figura 29. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 1.	44
Figura 30. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 1.	45
Figura 31. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MD, probeta tipo 1.	46
Figura 32. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 2.	47

Figura 33. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MSC-2, probeta tipo 2.	49
Figura 34. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MSC-2, probeta tipo 2.	51
Figura 35. Isógramas de densidades para probetas tipo 1.	52
Figura 36. Isógramas de densidades probeta tipo 2	52
Figura 37. Extracción de probetas homogéneas.	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Granulometrías	21
Tabla 2. Porcentaje de asfalto	23
Tabla 3. Propiedades globales, probetas tipo 1	25
Tabla 4. Propiedades globales, probetas tipo 2.	25
Tabla 5. Variación longitudinal de mezclas asfálticas en probetas tipo 1.	26
Tabla 6. Variación longitudinal de mezclas asfálticas en probetas tipo 2.	28
Tabla 7. Variación transversal MDC-2 probeta tipo 1.	30
Tabla 8. Variación transversal MSD-2 probeta tipo 1.	31
Tabla 9. Variación transversal MD probeta tipo 1	33
Tabla 10. Variación transversal MDC-2	36
Tabla 11. Variación transversal MSD-2	37
Tabla 12. Variación transversal MD.	40
Tabla 13. Variación transversal de la resistencia a la tracción MDC-2, probeta tipo 1	43
Tabla 14. Variación transversal de esfuerzos a tracción MAD-2, probeta tipo 1	44
Tabla 15. Variación transversal de la resistencia a la tracción MDC-2, probeta tipo 1	45
Tabla 16. Variación transversal de esfuerzos a tracción MDC-2, probeta tipo 1.	46
Tabla 17. Variación transversal de esfuerzos a tracción MSC-2, probeta tipo 1.	48
Tabla 18. Variación transversal de esfuerzos a tracción MD, probeta tipo 1.	50

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD EN PROBETAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS EN COMPACTADOR GIRATORIO

AUTORES: KEWIN FERNANDO TUTIRA CÁCERES**
ALBA JOHANA REYES BARAJAS

PALABRAS CLAVE: Asfalto, densidad de bulk, porcentaje de vacíos, resistencia a la tracción.

DESCRIPCIÓN

La presente investigación propone trabajar en la evaluación de probetas de mezclas asfálticas elaboradas en compactador giratorio, con el objetivo de conocer la variabilidad presentada dentro de una probeta y lograr así la extracción de muestras homogéneas. En el proceso de investigación se realizaron ensayos de caracterización de los materiales a utilizar, seleccionando tres tipos de mezclas: Mezcla densa en caliente dos (MDC-2), Mezcla Semidensa en caliente dos (MSC-2), Mezcla asfáltica Drenante (MD-1), procediendo a definir el porcentaje de vacíos con respecto al tipo mezcla en proporciones de 5.5%, 7.5% y 20% respectivamente. El asfalto empleado se clasifica según el grado de penetración, como 60/70.

De cada mezcla asfáltica se realizaron dos tipos de probetas cilíndricas de diez centímetros (10cm) y quince centímetros (15cm). Mediante cortes horizontales y verticales se extrajeron muestras de sección rectangular, a las cuales se le evaluaron las propiedades volumétricas y mecánicas, para ser comparadas respecto a las propiedades globales.

Con el estudio se logró determinar la correcta selección del tipo de mezcla, tamaño apropiado y ubicación dentro de la probeta, de muestras homogéneas que logren garantizar la confiabilidad de posteriores ensayos. Mediante isógramas de densidades y porcentajes de vacíos.

Con los resultados de las propiedades mecánicas se encontró una tendencia heterogénea, por lo cual se observa que a mayor densidad de la probeta existe mayor resistencia

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón, Ingeniero Civil, Msc, PhD.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF UNIFORMITY IN SPECIMENS OF ASPHALT MIXTURES PRODUCED IN COMPACTOR GIRATORIO

AUTHORS: KEWIN FERNANDO TUTIRA CÁCERES**
ALBA JOHANA REYES BARAJAS

KEYWORDS: Asphalt, bulk density, percent voids, tensile strength.

DESCRIPTION

This investigation proposed work in evaluation samples of asphalt mixtures elaborated with gyratory compactor, with the goal to know variability presented inside of test tube, and get to the extraction of homogeneous samples. In the process of investigation it was carried out test of material characterization to be used, choose three types of mixture: Mix hot dense two (MDC-2), mix hot semi-dense two (MSC-2), mix draining asphalt (MD-1), proceeding to define the percentage of empty with respect to type mixing proportions of 5.5%, 7.5% y 20% respectively. Asphalt used is classified according to degree of penetration as 60/70

Of Asphalt mix was did two types of cylindrical test tube one ten centimeters (10cm) another fifteen centimeters (15cm). Through horizontal and vertical cuts extracted rectangular samples which was evaluated volumetric and mechanical properties, to be compared with respect to the global properties.

With investigation it was determined the correct selection of the type of mix, appropriate size and location inside of test tube, homogeneous samples it be able achieve reliability of assays later , through density isogram and percentages of empty. The variation of these properties along the specimen is shown.

With the results of the mechanical properties was found heterogeneous trend , whereby it is observed that the higher the density of the specimen there is greater resistance

* Degree work

** School of Physics and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón, Civil Engineer, Msc, PhD.

INTRODUCCIÓN

Un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el proceso de compactación, el cual interviene en las propiedades mecánicas de la muestra en posteriores ensayos. Este proceso debe garantizar la uniformidad de carga aplicada y el correcto entrapado de los componentes de la mezcla.

La variabilidad que se presenta en las propiedades globales y las obtenidas mediante mediciones en diferentes puntos de la probeta conduce un estudio que permita determinar la homogeneidad que se presenta en el espécimen de mezcla asfáltica una vez compactado.

Para el estudio de la homogeneidad en probetas asfálticas producidas mediante compactación giratoria, se tomaran muestras representativas de distintos puntos de la probeta mediante cortes que permitan la realización de pruebas volumétricas y mecánicas, esto con el objetivo de conocer la variabilidad de las propiedades y lograr la obtención de una probeta homogénea directamente o si se requiere extraerla de un punto específico.

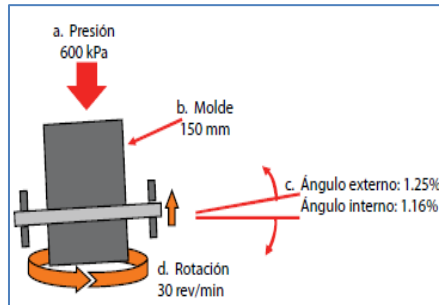
1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Algunos de los factores que se debe tener en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica son el método de compactación, las propiedades volumétricas de los componentes el ligante asfáltico y el agregado. A continuación se describe el método de compactación giratoria y las pruebas volumétricas requeridas para este estudio.

1.1 COMPACTACIÓN GIRATORIA SUPERPAVE

La metodología SUPERPAVE, representa una tecnología provista para desarrollar diseños de mezclas, evaluando los componentes sus componentes en forma individual (agregado mineral y asfaltos) y su interacción cuando están mezclados, estableciendo predicciones del desempeño del pavimento. El Compactador Giratorio Superpave (CGS) es un equipo que permite preparar en el laboratorio muestras de mezcla asfáltica en caliente para que luego sean ensayadas y simula la compactación con rodillo que se da en el sitio de pavimentación. El mecanismo de compactación consiste en aplicar una carga de compresión sobre la muestra a compactar, mientras se hace girar el molde con un ángulo de giro de $1,25^\circ$ con una velocidad de 30 revoluciones por minuto (figura 1).

Figura 1. Esquema de funcionamiento del compactador giratorio. [1]



1.2 DENSIDAD NO UNIFORME DENTRO DE UN MISMO ESPÉCIMEN

Los especímenes compactados típicamente muestran una densidad no uniforme dentro del mismo espécimen, se ha logrado determinar que se desarrollan menores densidades cerca de los bordes de la probeta.

De la extracción de núcleos de 100 mm de diámetro de las probetas de 150 mm (Figura 2), para los ensayos de desempeño SPT (Simple Performance Tests) se ha logrado determinar que tiene 1,5 % menos de vacíos de aire comparado con la cantidad de vacíos del espécimen de 150 mm de diámetro, esta situación es bien conocida pero es aceptada. [1]

Figura 2. Núcleo extraído de un espécimen producido en compactador giratorio. [1]



1.3 HOMOGENEIDAD HORIZONTAL EN LAS MUESTRAS DE ASFALTO

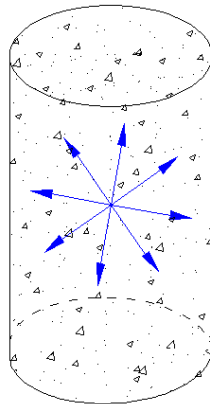
La homogeneidad es un estado de uniformidad, utilizada para describir la distribución en los materiales componentes o fases de una muestra. La homogeneidad de la mezcla de asfalto es dependiente de la distribución de sus componentes (es decir, aglutinante de asfalto, agregados, aditivos y vacíos de aire). Entre estos componentes, la distribución del agregado desempeña un papel importante en la determinación de la homogeneidad.

Mediante cortes en dirección horizontal a especímenes de mezclas asfáltica, se ha encontrado que no existe homogeneidad horizontal y que esta depende de la profundidad de las muestras de asfalto compactado en laboratorio. Los especímenes compactados mediante cizallamiento son menos homogéneos en las secciones transversales horizontales de la parte superior e inferior, debido a la dificultad para compactar las mezclas asfálticas en estas zonas, puesto que durante el proceso de llenado de moldes las partículas más grandes de agregado se localizan en la parte superior e inferior y durante la compactación ofrecen resistencia al movimiento causado por las placas del equipo compactador y la temperatura es más baja esos puntos. [2]

2. METODOLOGÍA

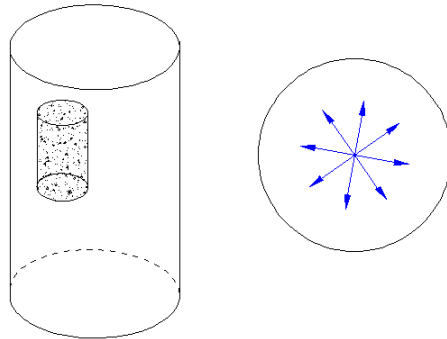
En las probetas empleadas en ensayos físicos y mecánicos en estudios de mezclas asfálticas, las propiedades mecánicas y volumétricas son analizadas de manera global y teóricamente se consideran uniformes en los diferentes puntos del espécimen.

Figura 3. Variación de propiedades en la probeta.



Mediante estudios realizados y mencionados en los numerales 2.2 y 2.3 del presente artículo se ha concluido que se presenta una variación en las propiedades, dependiendo del lugar donde se analicen (Figura 3 y 4), considerándose como propiedades globales el promedio de las encontradas en diferentes puntos. Por lo tanto si se quisiera realizar un ensayo con una probeta heterogénea, el resultado del ensayo no brindaría la confiabilidad necesaria, puesto que la muestra ensayada no conserva las mismas características en todas sus zonas.

Figura 4. Muestra dentro de la probeta y variación radial de las propiedades en la probeta.



El empleo de diferentes granulometrías permite comprobar si existen diferencias en la homogeneidad de las probetas cuando se modifican variables relacionadas con las características de los materiales y composición de la mezcla, por esta razón se analizan tres tipos de mezclas: mezcla densa en caliente (MDC-2), Mezcla Semidensa en caliente dos (MSC-2) Mezcla asfáltica Drenante (MD-1), las cuales utilizan diferentes granulometrías y porcentaje de asfalto.

Para determinar la variabilidad de las características volumétricas y mecánicas, por cada tipo de mezcla se elaboraron probetas cilíndricas de diez centímetros (10cm) y de quince centímetros (15cm) de diámetro y se midió el contenido de vacíos y la densidad en la probeta de manera global, luego se fragmentaron en cinco cilindros longitudinales y se extrajeron muestras de sección rectangular para analizar diferentes zonas de la probeta compactada. Para determinar la homogeneidad del comportamiento mecánico, a cada muestra se le realizaron pruebas de resistencia a la tracción.

3. ELABORACIÓN DE PROBETAS.

Para la elaboración de las probetas se tuvieron en cuenta parámetros de diseño como la granulometría, cemento asfáltico y porcentaje de vacíos.

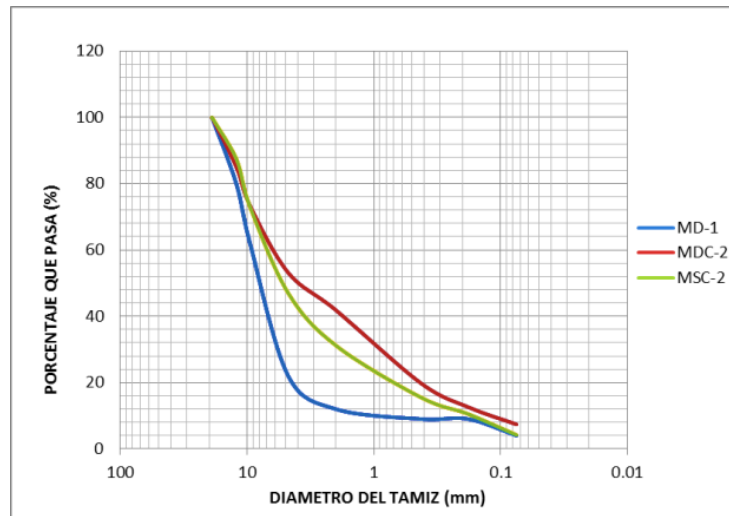
3.1 GRANULOMETRIA

La granulometría de cada uno de los tipos de mezclas, se ilustra en la tabla 1 y figura 6.

Tabla 1. Granulometrías

TAMIZ [mm]	PORCENTAJE QUE PASA		
	MD-1	MDC-2	MSC-2
19	100	100	100
12.2	80	85.05	87.5
9.5	62	73.35	73
4.75	22	53.14	47
2	12	41.86	31.2
0.425	9	19.79	15.5
0.18	9	12.58	10.5
0.075	4	7.39	4.2

Figura 5. Curvas granulométricas.



3.2 CEMENTO ASFÁLTICO

El asfalto empleado, se clasifica según el grado de penetración, como 60 / 70.

Figura 6. Propiedades del cemento asfaltico 60/70. [3]

Asfaltos 60/70

PROPIEDADES / CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	
		ASTM	Mínimo	Máximo
Ductilidad al 25°C, 5 cm/min	cm	D113	100	
Penetración a 25°C, 100 g, 5s	mm/10	D5	60	70
Punto de ablandamiento	°C	D36	45	55
Punto de inflamación	°C	D92	232	
Solubilidad en tricloroetileno	g/100 g	D2042	99	
Perdida de masa	g/100 g	D2872		1,0
Índice de penetración, IP	N/A	-1	Reportar	
Viscosidad a 60, 80, 100, 135 y 150°C	cP	ASTM D 4402	Reportar	

El porcentaje de asfalto utilizado, para cada una de las mezclas asfálticas es el siguiente:

Tabla 2. Porcentaje de asfalto

Tipo de Mezcla	% Asfalto
MD-2	5.3
MSD-2	5.5
MD	6

3.3 COMPACTACIÓN

Los tres tipos de mezclas asfálticas fueron compactados a una temperatura aproximada de

170°C empleando la Máquina de compactación giratoria con 100 giros por probeta.

Figura 7. Máquina de compactación giratoria.

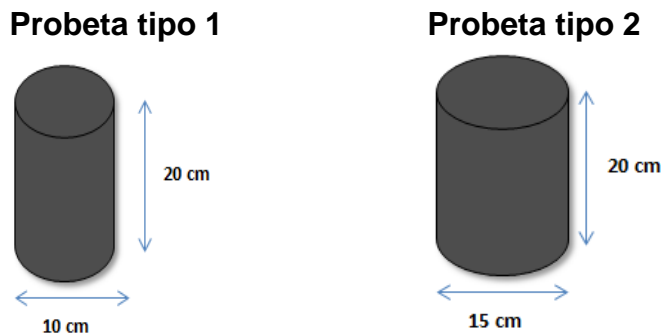


4. RESULTADOS

4.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS

Para los diferentes tipos de mezclas se calculó la densidad y el contenido de vacíos tanto global como en diferentes puntos de la probeta.

Figura 8. Tipos de probetas compactadas.



4.1.1 Densidad y contenido de vacíos globales. En las siguientes tablas se muestran los valores globales de densidad y porcentaje de vacíos obtenidos mediante pruebas de laboratorio, junto con la densidad arrojada por el equipo compactador.

4.1.1.1 Probetas de 10 cm de diámetro.

Tabla 3. Propiedades globales, probetas tipo 1

Tipo de Mezcla	Densidad (maq) [g/cm ³]	Densidad (lab) [g/cm ³]	% Vacios
MDC-2	2.273	2.382	5.242
MSC-2	2.240	2.298	8.157
MD	1.989	2.191	12.365

4.1.1.2 Probetas de 15 cm de diámetro.

Tabla 4. Propiedades globales, probetas tipo 2.

Tipo de Mezcla	Densidad (maq) [g/cm ³]	Densidad (lab) [g/cm ³]	% Vacios
MDC-2	2.265	2.389	4.961
MSC-2	2.281	2.308	7.739
MD	1.967	2.076	16.958

Las densidades en los diferentes tipos de mezclas, se comportan de acuerdo con la granulometrías empleadas, siendo más densas aquellas que utilizan mayor porcentaje de agregado fino, capaz de llenar los espacios creados durante el entrapado de los materiales.

4.1.2 Variación longitudinal

4.1.2.1 Probetas de 10 cm de diámetro: Para el cálculo de la variación longitudinal se extrajeron cilindros como se representa en la figura 10.

Figura 9. Cortes longitudinales probeta tipo 1.

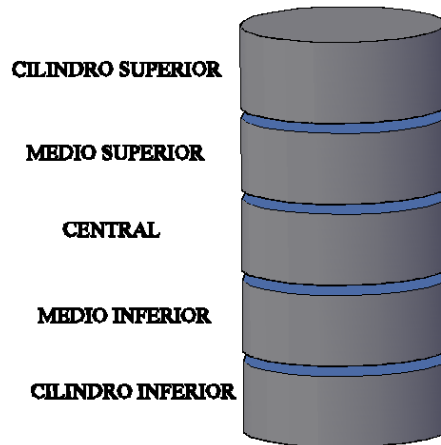
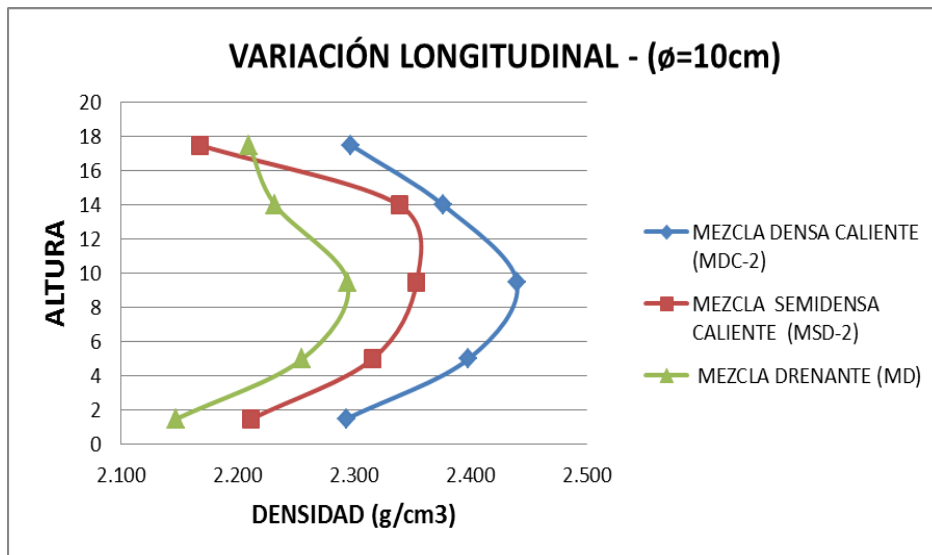


Tabla 5. Variación longitudinal de mezclas asfálticas en probetas tipo 1.

Ubicación	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA DENSA CALIENTE (MDC-2)			
Cilindro Superior	2,297	8,727	-3,6%
Cilindro Medio Superior	2,377	5,581	-0,2%
Cilindro Central	2,440	3,073	2,4%
Cilindro Medio Inferior	2,398	4,726	0,7%
Cilindro Inferior	2,293	8,888	-3,7%
MEZCLA SEMIDENSA CALIENTE (MSD-2)			
Cilindro Superior	2,167	13,533	-5,7%
Cilindro Medio Superior	2,339	6,703	1,8%
Cilindro Central	2,354	6,106	2,4%
Cilindro Medio Inferior	2,316	7,616	0,8%
Cilindro Inferior	2,212	11,757	-3,7%
MEZCLA DRENANTE (MD)			
Cilindro Superior	2,210	10,840	0,9%
Cilindro Medio Superior	2,232	10,343	1,9%
Cilindro Central	2,295	7,842	4,7%
Cilindro Medio Inferior	2,256	9,407	3,0%
Cilindro Inferior	2,148	13,751	-2,0%

Figura 10. Variación longitudinal de la densidad respecto a la altura, probetas tipo 1.



4.1.2.2 Probetas de 15 cm de diámetro: Para el cálculo de la variación longitudinal se extrajeron cilindros a lo largo de la probeta, como se representa en la figura 12.

Figura 11. Cortes longitudinales probeta tipo 2

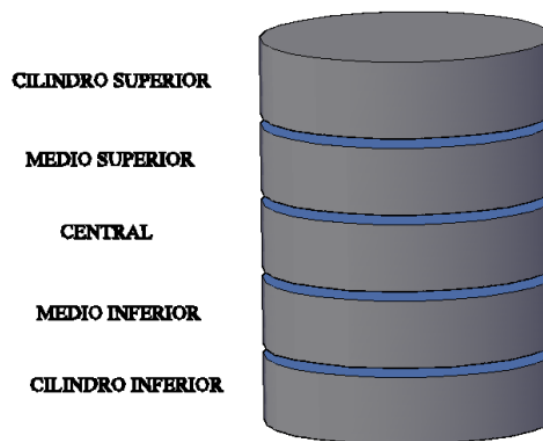
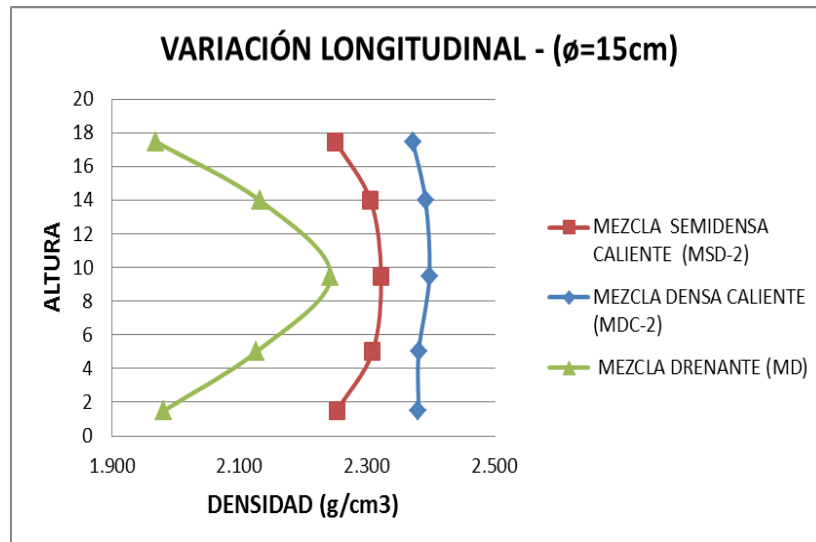


Tabla 6. Variación longitudinal de mezclas asfálticas en probetas tipo 2.

Ubicación	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA DENSA CALIENTE (MDC-2)			
Cilindro Superior	2,372	5,661	-0,7%
Cilindro Medio Superior	2,392	4,869	0,1%
Cilindro Central	2,398	4,624	0,4%
Cilindro Medio Inferior	2,381	5,295	-0,4%
Cilindro Inferior	2,381	5,303	-0,4%
MEZCLA SEMIDENSA CALIENTE (MSD-2)			
Cilindro Superior	2,251	10,048	-2,5%
Cilindro Medio Superior	2,306	7,856	-0,1%
Cilindro Central	2,322	7,198	0,6%
Cilindro Medio Inferior	2,309	7,731	0,0%
Cilindro Inferior	2,252	9,977	-2,4%
MEZCLA DRENANTE (MD)			
Cilindro Superior	1,969	21,232	-5,1%
Cilindro Medio Superior	2,132	14,701	2,7%
Cilindro Central	2,243	10,268	8,1%
Cilindro Medio Inferior	2,126	14,934	2,4%
Cilindro Inferior	1,982	20,731	-4,5%

Figura 12. Variación longitudinal de la densidad respecto a la altura en probetas tipo 2.

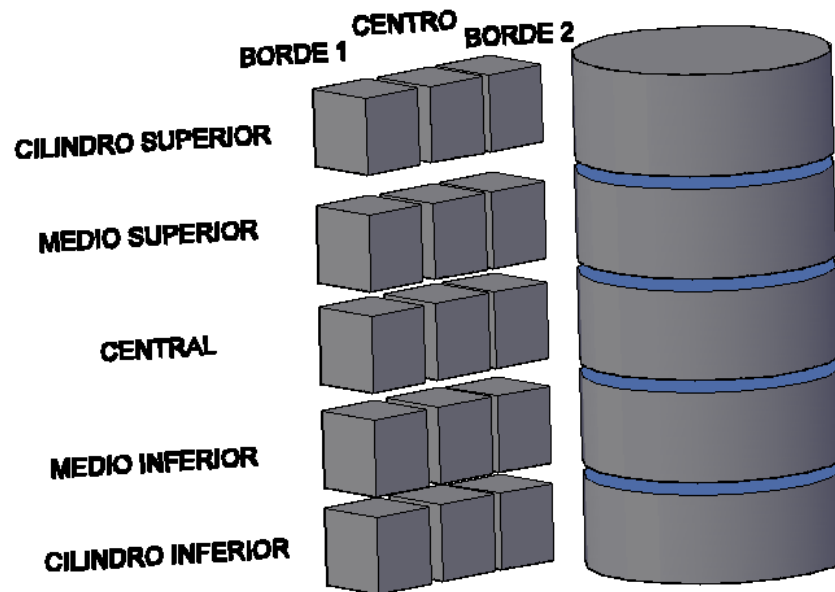


Para los dos tipos de probetas, se presenta mayor densidad en los anillos ubicados en la parte central de la probeta, respecto a los ubicados en la parte superior e inferior.

4.1.3 Variación transversal

4.1.3.1 Probetas de 10 cm de diámetro: Para el cálculo de la variación transversal se extrajeron muestras rectangulares de cada uno de los cilindro, como se representa en la figura 14.

Figura 13. Cortes transversales probeta tipo 1.



Mezcla densa en caliente:

Tabla 7. Variación transversal MDC-2 probeta tipo 1.

Ubicación	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA DENSA CALIENTE (MDC-2)				
Cilindro Superior	Borde 1	2,190	13,009	-8,1%
	Centro	2,295	8,812	-3,7%
	Borde 2	2,174	13,619	-8,7%
Cilindro Medio Superior	Borde 1	2,267	9,924	-4,8%
	Centro	2,344	6,865	-1,6%
	Borde 2	2,277	9,531	-4,4%
Cilindro Central	Borde 1	2,345	6,848	-1,6%
	Centro	2,385	5,241	0,1%
	Borde 2	2,342	6,962	-1,7%
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	2,326	7,577	-2,3%
	Centro	2,325	7,645	-2,4%
	Borde 2	2,300	8,621	-3,5%
Cilindro Inferior	Borde 1	2,189	13,015	-8,1%
	Centro	2,233	11,268	-6,2%
	Borde 2	2,224	11,624	-6,6%

Figura 14. Variación transversal de la densidad respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 1.

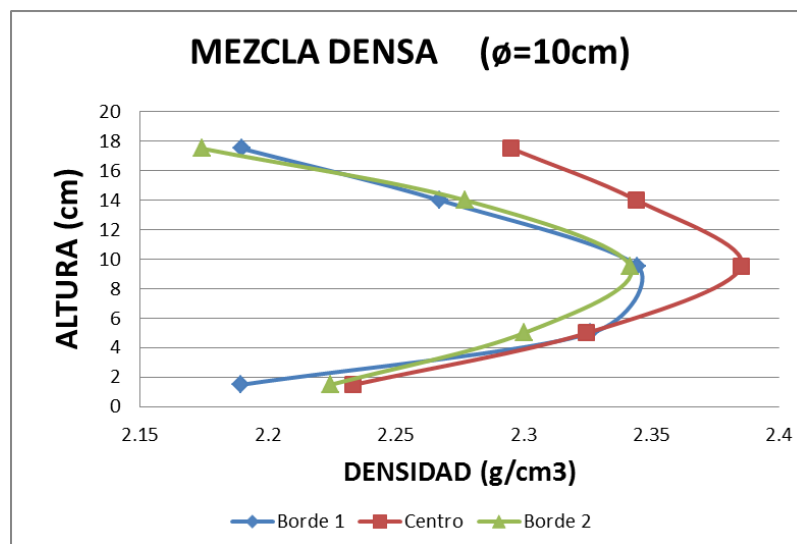
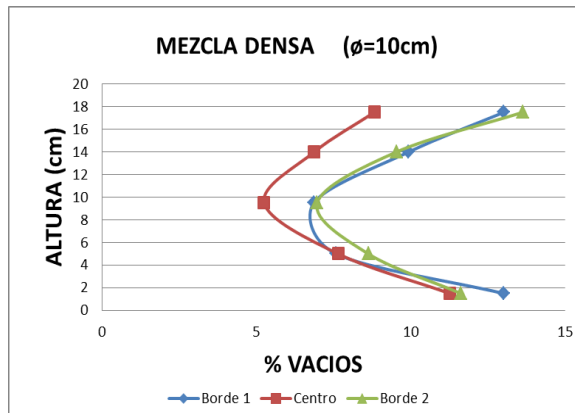


Figura 15. Variación transversal del porcentaje vacíos respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 1.



Mezcla semidensa en caliente:

Tabla 8. Variación transversal MSD-2 probeta tipo 1.

Ubicación	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA SEMIDENSA CALIENTE (MSD-2)				
Cilindro Superior	Borde 1	2,036	18,782	-11,4%
	Centro	2,131	14,985	-7,3%
	Borde 2	2,116	15,604	-7,9%
Cilindro Medio Superior	Borde 1	2,236	10,812	-2,7%
	Centro	2,308	7,937	0,4%
	Borde 2	2,235	10,824	-2,7%
Cilindro Central	Borde 1	2,245	10,457	-2,3%
	Centro	2,310	7,829	0,5%
	Borde 2	2,267	9,558	-1,3%
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	2,219	11,466	-3,4%
	Centro	2,261	9,805	-1,6%
	Borde 2	2,232	10,949	-2,9%
Cilindro Inferior	Borde 1	2,125	15,239	-7,5%
	Centro	2,176	13,197	-5,3%
	Borde 2	2,111	15,786	-8,1%

Figura 16. Variación transversal de la densidad respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 1.

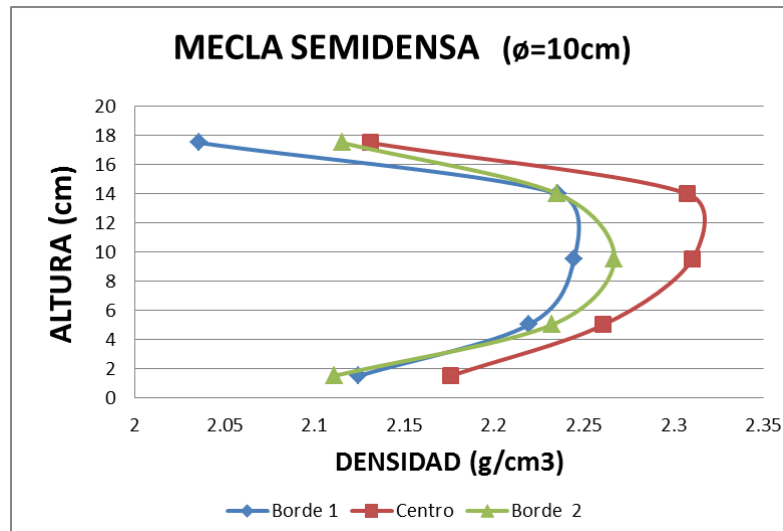
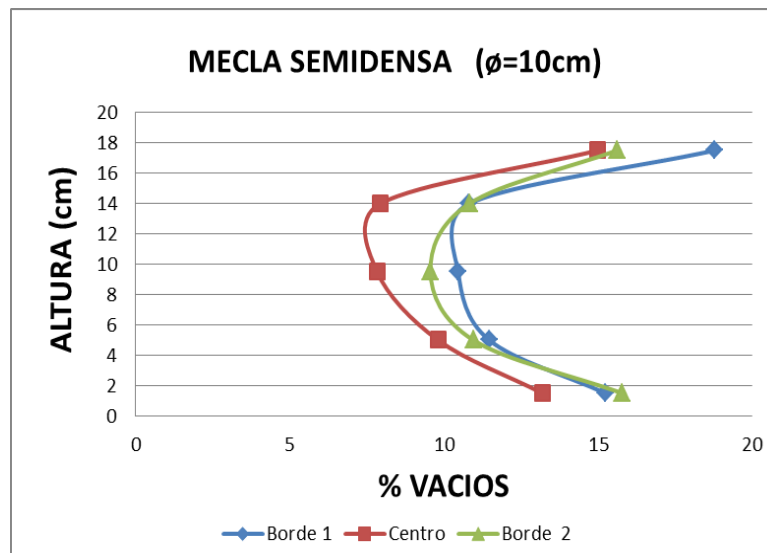


Figura 17. Variación transversal de los vacíos respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 1.



Mezcla Drenante:

Tabla 9. Variación transversal MD probeta tipo 1

Ubicación	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA DRENANTE (MD)				
Cilindro Superior	Borde 1	2,192	11,961	0,1%
	Centro	2,188	12,142	-0,1%
	Borde 2	2,150	13,663	-1,9%
Cilindro Medio Superior	Borde 1	2,189	12,093	-0,1%
	Centro	2,204	11,478	0,6%
	Borde 2	2,173	12,733	-0,8%
Cilindro Central	Borde 1	2,237	10,174	2,1%
	Centro	2,269	8,881	3,6%
	Borde 2	2,244	9,893	2,4%
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	2,210	11,231	0,9%
	Centro	2,233	10,309	1,9%
	Borde 2	2,191	12,009	0,0%
Cilindro Inferior	Borde 1	2,097	15,791	-4,3%
	Centro	2,136	14,231	-2,5%
	Borde 2	2,084	16,303	-4,9%

Figura 18 Variación trasversal de la densidad respecto a la altura MD, probeta tipo 1

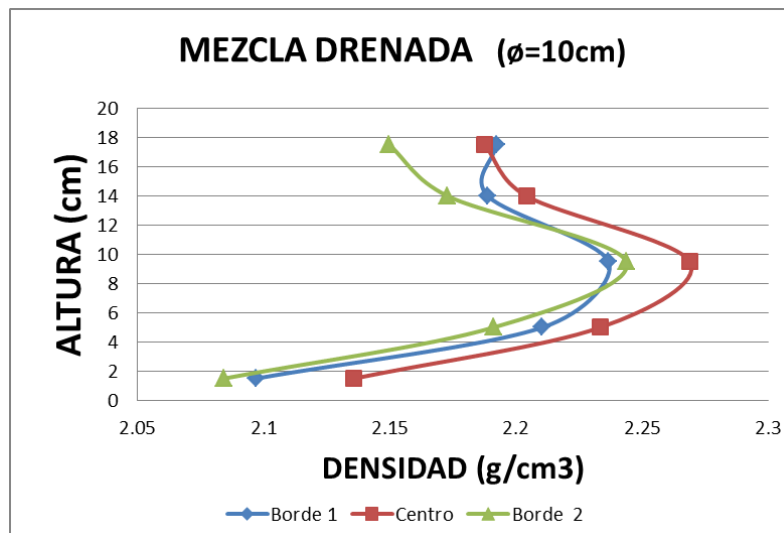
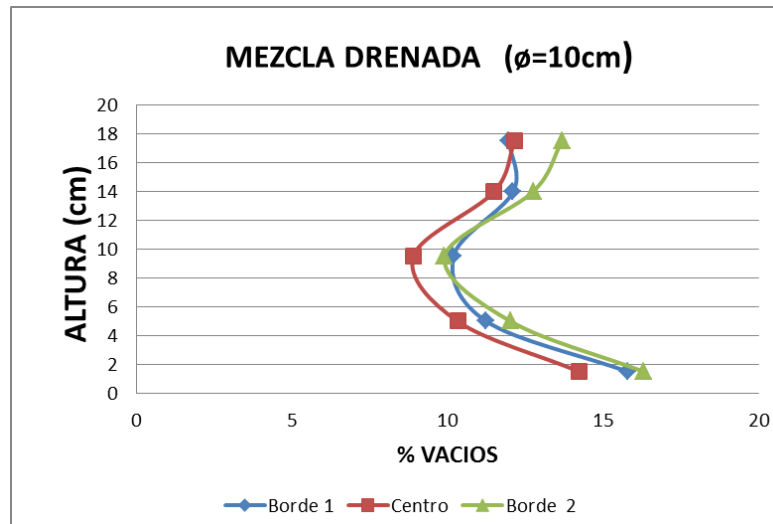
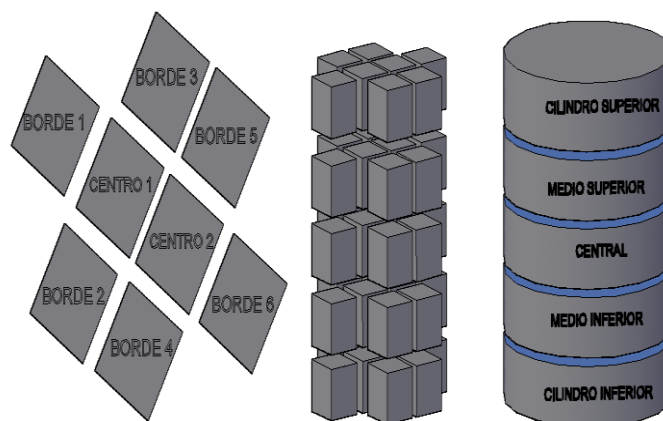


Figura 19. Variación transversal del porcentaje de vacíos respecto a la altura MD, probeta tipo 1.



4.1.3.2 Probetas de 15 cm de diámetro. Para el cálculo de la variación transversal se extrajeron cinco muestras rectangulares por cada cilindro, como se representa en la figura 21.

Figura 20. Cortes transversales probeta tipo 2.



Mezcla densa en caliente:

Figura 21. Variación transversal de densidad respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 2.

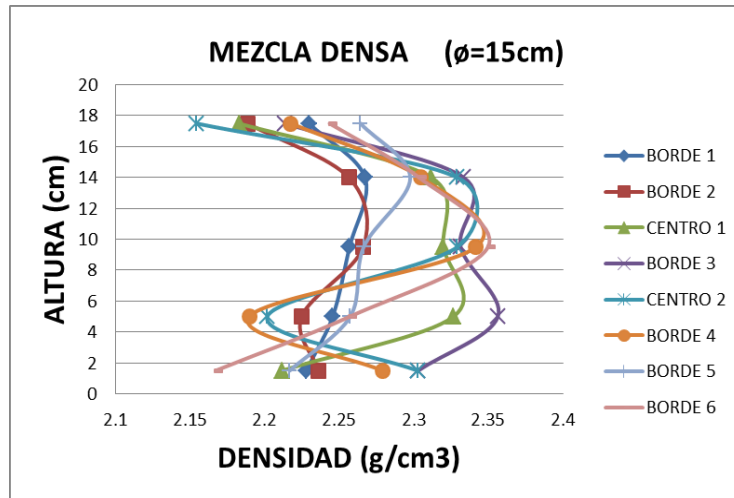


Figura 22. Variación transversal de vacíos respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 2.

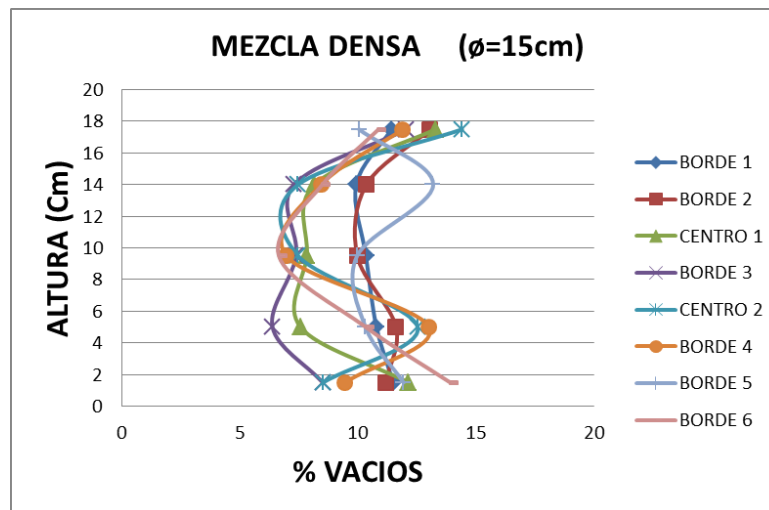


Tabla 10. Variación transversal MDC-2

Ubicación	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA DENSA CALIENTE (MDC-2)				
Cilindro Superior	Borde 1	2,357	6,364	-1,4%
	Borde2	2,367	5,944	-0,9%
	Centro 1	2,368	5,914	-0,9%
	Borde 3	2,361	6,197	-1,2%
	Borde 4	2,349	6,673	-1,7%
	Centro 2	2,368	5,914	-0,9%
	Borde 5	2,363	6,105	-1,1%
Cilindro Medio Superior	Borde 6	2,365	6,039	-1,0%
	Borde 1	2,383	5,339	-0,3%
	Borde2	2,386	5,200	-0,1%
	Centro 1	2,392	4,967	0,1%
	Borde 3	2,385	5,256	-0,2%
	Borde 4	2,380	5,444	-0,4%
	Centro 2	2,387	5,149	-0,1%
Cilindro Central	Borde 5	2,370	5,833	-0,8%
	Borde 6	2,374	5,663	-0,6%
	Borde 1	2,391	4,996	0,1%
	Borde2	2,390	5,051	0,0%
	Centro 1	2,395	4,853	0,2%
	Borde 3	2,386	5,197	-0,1%
	Borde 4	2,383	5,341	-0,3%
Cilindro Medio Inferior	Centro 2	2,392	4,981	0,1%
	Borde 5	2,383	5,310	-0,2%
	Borde 6	2,387	5,172	-0,1%
	Borde 1	2,357	6,358	-1,4%
	Borde2	2,371	5,805	-0,8%
	Centro 1	2,381	5,421	-0,4%
	Borde 3	2,360	6,249	-1,2%
Cilindro Inferior	Borde 4	2,366	6,011	-1,0%
	Centro 2	2,389	5,091	0,0%
	Borde 5	2,380	5,425	-0,4%
	Borde 6	2,369	5,878	-0,8%
	Borde 1	2,353	6,514	-1,5%
	Borde2	2,370	5,829	-0,8%
	Centro 1	2,371	5,820	-0,8%
Cilindro Inferior	Borde 3	2,379	5,495	-0,4%
	Borde 4	2,363	6,119	-1,1%
	Centro 2	2,378	5,510	-0,5%
	Borde 5	2,377	5,554	-0,5%
	Borde 6	2,379	5,466	-0,4%

Mezcla semidensa en caliente:

Tabla 11. Variación transversal MSD-2

Ubicación	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA SEMIDENSA CALIENTE (MSD-2)				
Cilindro Superior	Borde 1	2,224	11,098	-3,6%
	Borde2	2,255	9,862	-2,3%
	Centro 1	2,270	9,269	-1,7%
	Borde 3	2,234	10,707	-3,2%
	Borde 4	2,262	9,580	-2,0%
	Centro 2	2,280	8,874	-1,2%
	Borde 5	2,223	11,146	-3,7%
Cilindro Medio Superior	Borde 6	2,220	11,283	-3,8%
	Borde 1	2,298	8,160	-0,5%
	Borde2	2,299	8,119	-0,4%
	Centro 1	2,304	7,903	-0,2%
	Borde 3	2,299	8,117	-0,4%
	Borde 4	2,302	8,009	-0,3%
	Centro 2	2,305	7,877	-0,1%
Cilindro Central	Borde 5	2,299	8,105	-0,4%
	Borde 6	2,301	8,028	-0,3%
	Borde 1	2,311	7,627	0,1%
	Borde2	2,321	7,248	0,5%
	Centro 1	2,326	7,031	0,8%
	Borde 3	2,315	7,459	0,3%
	Borde 4	2,324	7,111	0,7%
Cilindro Medio Inferior	Centro 2	2,328	6,945	0,9%
	Borde 5	2,310	7,676	0,1%
	Borde 6	2,303	7,971	-0,3%
	Borde 1	2,306	7,818	-0,1%
	Borde2	2,310	7,682	0,1%
	Centro 1	2,307	7,781	0,0%
	Borde 3	2,301	8,036	-0,3%
Cilindro Inferior	Borde 4	2,303	7,944	-0,2%
	Centro 2	2,304	7,900	-0,2%
	Borde 5	2,305	7,881	-0,2%
	Borde 6	2,295	8,278	-0,6%
	Borde 1	2,246	10,239	-2,7%
	Borde2	2,238	10,560	-3,1%
	Centro 1	2,268	9,348	-1,7%
Cilindro Inferior	Borde 3	2,247	10,185	-2,7%
	Borde 4	2,241	10,446	-2,9%
	Centro 2	2,263	9,558	-2,0%
	Borde 5	2,238	10,564	-3,1%
	Borde 6	2,243	10,349	-2,8%

Figura 23. Variación transversal de la densidad respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 2.

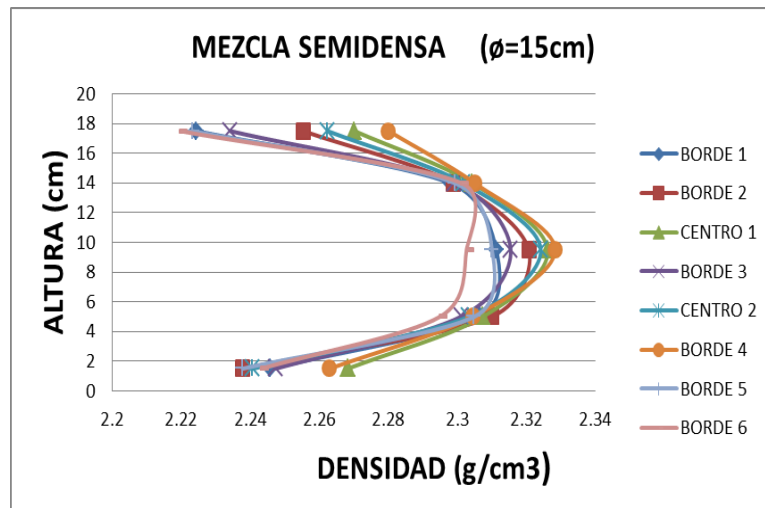
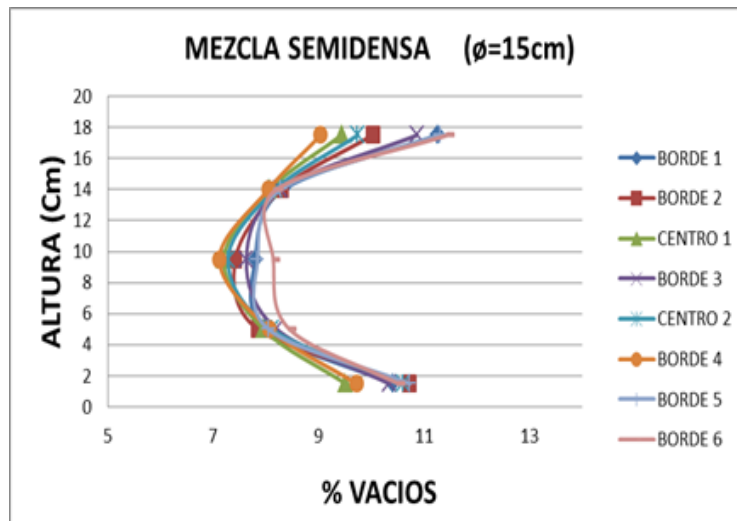


Figura 24. Variación transversal de los vacíos respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 2.



Mezcla Drenante:

Figura 25. Variación transversal de la densidad respecto a la altura, probeta tipo 2.

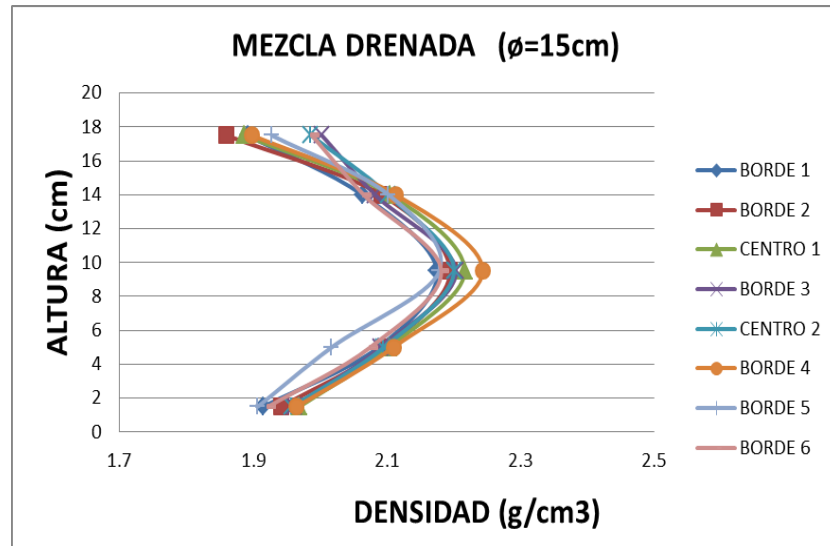
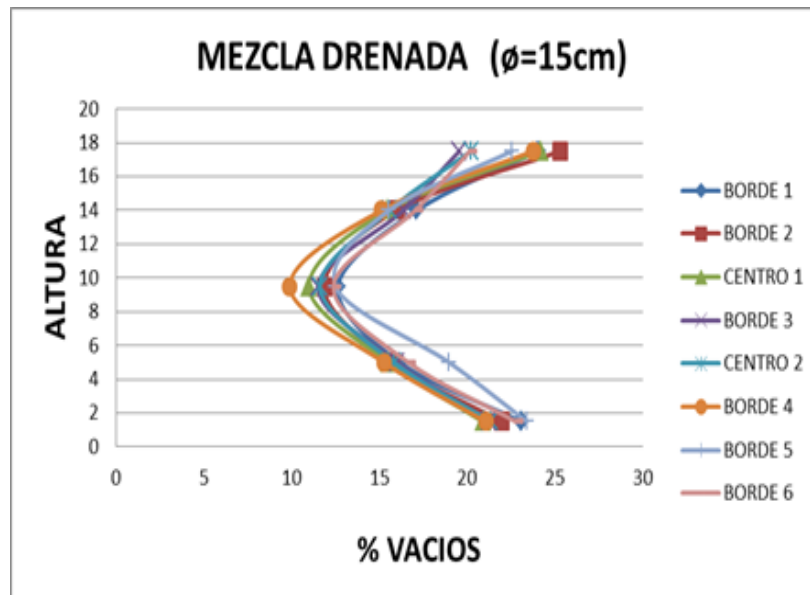


Tabla 12. Variación transversal MD.

Ubicación	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	% Variación
MEZCLA DRENANTE (MD)				
Cilindro Superior	Borde 1	1,892	24,017	-13,6%
	Borde2	1,860	25,289	-15,1%
	Centro 1	1,888	24,192	-13,8%
	Borde 3	2,003	19,559	-8,6%
	Borde 4	1,987	20,213	-9,3%
	Centro 2	1,898	23,755	-13,3%
	Borde 5	1,928	22,573	-12,0%
Cilindro Medio Superior	Borde 6	1,988	20,154	-9,2%
	Borde 1	2,063	17,136	-5,8%
	Borde2	2,092	15,993	-4,5%
	Centro 1	2,104	15,485	-3,9%
	Borde 3	2,082	16,373	-5,0%
	Borde 4	2,101	15,600	-4,1%
	Centro 2	2,113	15,131	-3,5%
Cilindro Central	Borde 5	2,103	15,555	-4,0%
	Borde 6	2,065	17,051	-5,7%
	Borde 1	2,175	12,651	-0,7%
	Borde2	2,194	11,871	0,2%
	Centro 1	2,216	10,986	1,2%
	Borde 3	2,203	11,505	0,6%
	Borde 4	2,200	11,623	0,4%
Cilindro Medio Inferior	Centro 2	2,243	9,899	2,4%
	Borde 5	2,179	12,501	-0,6%
	Borde 6	2,182	12,383	-0,4%
	Borde 1	2,087	16,163	-4,7%
	Borde2	2,098	15,744	-4,2%
	Centro 1	2,103	15,520	-4,0%
	Borde 3	2,091	16,020	-4,6%
Cilindro Inferior	Borde 4	2,096	15,834	-4,3%
	Centro 2	2,110	15,260	-3,7%
	Borde 5	2,017	18,975	-7,9%
	Borde 6	2,075	16,650	-5,3%
	Borde 1	1,915	23,076	-12,6%
	Borde2	1,942	21,994	-11,3%
	Centro 1	1,969	20,905	-10,1%
Cilindro Inferior	Borde 3	1,961	21,228	-10,5%
	Borde 4	1,958	21,350	-10,6%
	Centro 2	1,965	21,064	-10,3%
	Borde 5	1,907	23,409	-12,9%
	Borde 6	1,923	22,786	-12,2%

Figura 26. Variación transversal de los vacíos respecto a la altura, probeta tipo 2.



El comportamiento gráfico en los porcentajes de vacíos, muestra que en la parte superior, inferior y hacia los bordes los vacíos son máximos, mientras que en la zona central de la probeta disminuyen.

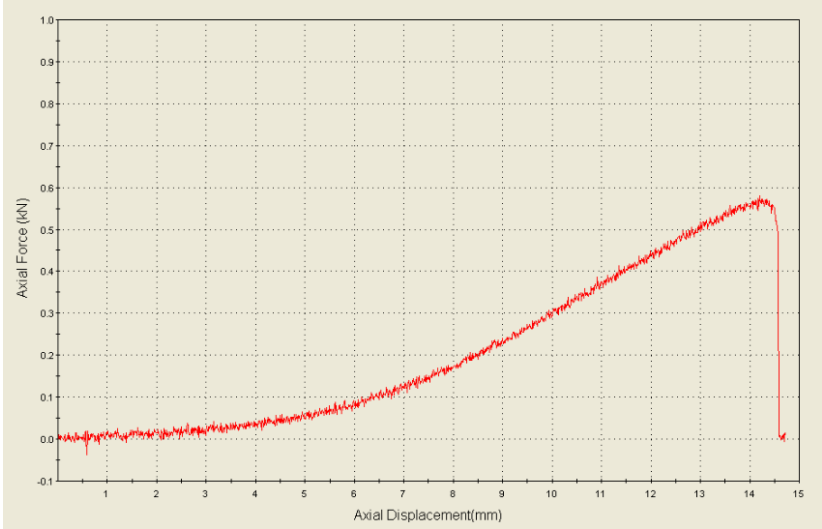
4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

Para evaluar el comportamiento mecánico de las muestras extraídas, se realizaron ensayos de resistencia a la tracción a una temperatura aproximada de 15 °C., utilizando la máquina *Material Test System* (MTS). Con este ensayo se encontró la variación de resistencias en diferentes puntos de la probeta.

Figura 27. Ensayo de resistencia a la tracción.



Figura 28. Curva esfuerzo – deformación unitaria.



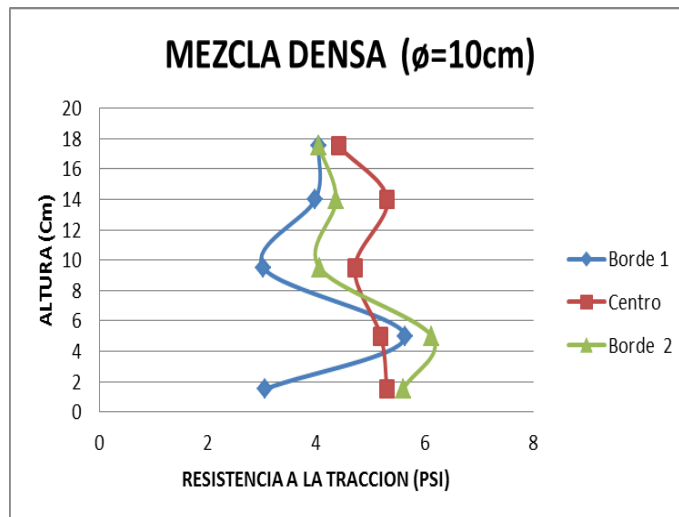
4.2.1 Esfuerzo de tracción probeta tipo 1

Mezcla densa:

Tabla 13. Variación transversal de la resistencia a la tracción MDC-2, probeta tipo 1

Ubicación	Muestra	Esfuerzo (PSI)
MEZCLA DENSA CALIENTE (MDC-2)		
Cilindro Superior	Borde 1	4,039
	Centro	4,408
	Borde 2	4,039
Cilindro Medio Superior	Borde 1	3,979
	Centro	5,305
	Borde 2	4,360
Cilindro Central	Borde 1	3,024
	Centro	4,703
	Borde 2	4,054
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	5,630
	Centro	5,183
	Borde 2	6,120
Cilindro Inferior	Borde 1	3,045
	Centro	5,296
	Borde 2	5,592

Figura 29. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 1.

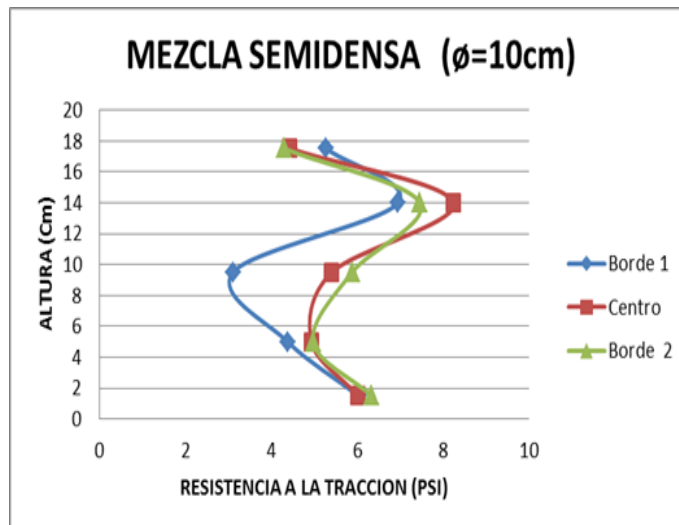


Mezcla semidensa:

Tabla 14. Variación transversal de esfuerzos a tracción MAD-2, probeta tipo 1

Ubicación	Muestra	Esfuerzo (PSI)
MEZCLA SEMIDENSA CALIENTE (MSD-2)		
Cilindro Superior	Borde 1	5,286
	Centro	4,438
	Borde 2	4,312
Cilindro Medio Superior	Borde 1	6,954
	Centro	8,239
	Borde 2	7,456
Cilindro Central	Borde 1	3,114
	Centro	5,413
	Borde 2	5,883
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	4,383
	Centro	4,937
	Borde 2	4,977
Cilindro Inferior	Borde 1	6,034
	Centro	6,021
	Borde 2	6,339

Figura 30. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MSC -2, probeta tipo 1.

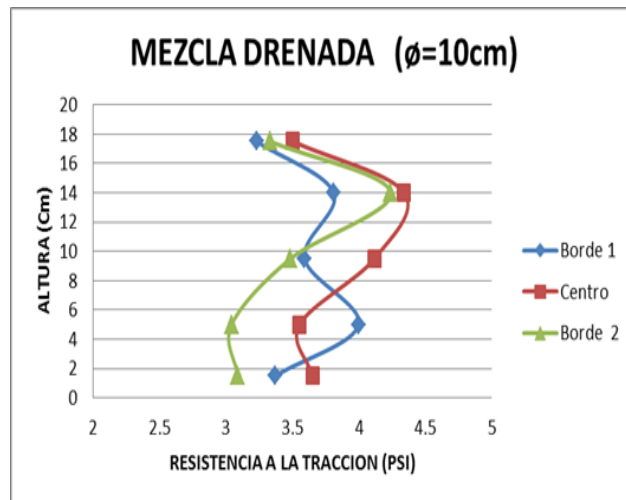


Mezcla drenada:

Tabla 15. Variación transversal de la resistencia a la tracción MDC-2, probeta tipo 1

Ubicación	Muestra	Esfuerzo (PSI)
MEZCLA DRENANTE (MD)		
Cilindro Superior	Borde 1	3,231
	Centro	3,503
	Borde 2	3,334
Cilindro Medio Superior	Borde 1	3,811
	Centro	4,341
	Borde 2	4,240
Cilindro Central	Borde 1	3,592
	Centro	4,117
	Borde 2	3,487
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	3,999
	Centro	3,554
	Borde 2	3,043
Cilindro Inferior	Borde 1	3,372
	Centro	3,652
	Borde 2	3,089

Figura 31. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MD, probeta tipo 1.



4.2.2 Esfuerzo de traccion probeta tipo 2

Mezcla densa:

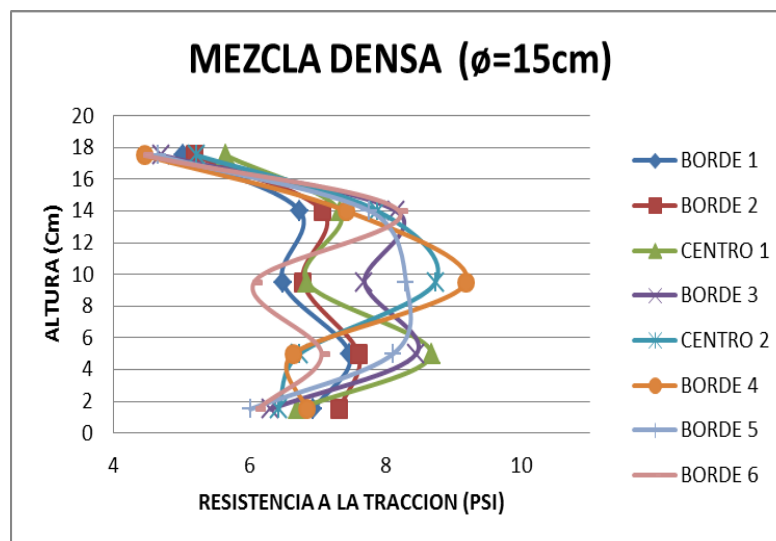
Tabla 16. Variación transversal de esfuerzos a tracción MDC-2, probeta tipo 1.

Ubicación	Muestra	Esfuerzo (PSI)
MDC-2		
Cilindro Superior	Borde 1	5,023
	Borde2	5,204
	Centro 1	5,659
	Borde 3	4,715
	Borde 4	5,234
	Centro 2	4,462
	Borde 5	4,655
	Borde 6	4,466
Cilindro Medio Superior	Borde 1	6,745
	Borde2	7,084
	Centro 1	7,333
	Borde 3	8,157
	Borde 4	7,886
	Centro 2	7,431
	Borde 5	7,771
	Borde 6	8,201

Tabla 16. Variación transversal de esfuerzos a tracción MDC-2, probeta tipo 1 (Continuación)

Cilindro Central	Borde 1	6,489
	Borde2	6,787
	Centro 1	6,847
	Borde 3	7,693
	Borde 4	8,735
	Centro 2	9,187
Cilindro Medio Inferior	Borde 1	7,476
	Borde2	7,606
	Centro 1	8,674
	Borde 3	8,454
	Borde 4	6,743
	Centro 2	6,645
Cilindro Inferior	Borde 1	6,942
	Borde2	7,320
	Centro 1	6,715
	Borde 3	6,312
	Borde 4	6,430
	Centro 2	6,843
	Borde 5	6,015
	Borde 6	6,120

Figura 32. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MDC-2, probeta tipo 2.



Mezcla semidensa:

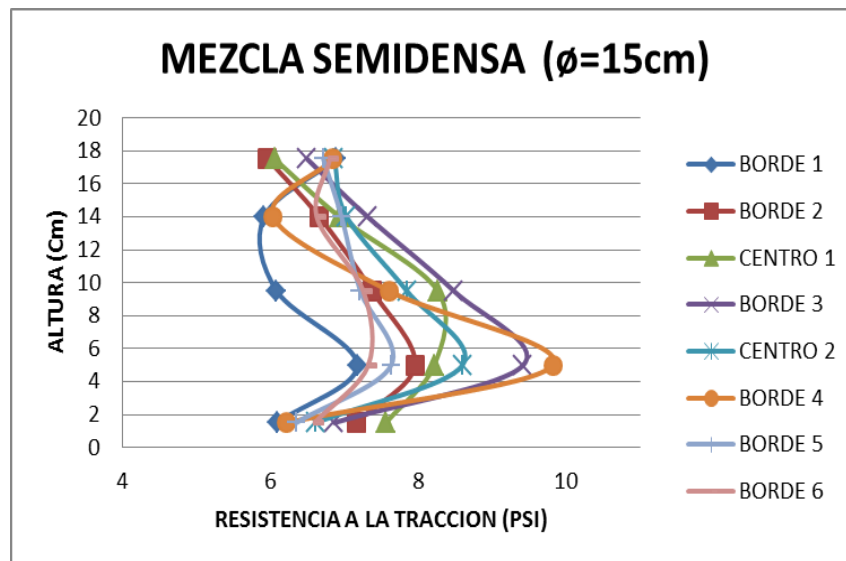
Tabla 17. Variación transversal de esfuerzos a tracción MSC-2, probeta tipo 1.

Ubicación	Muestra	Esfuerzo (PSI)
MEZCLA SEMIDENSA CALIENTE (MSD-2)		
Anillo Superior	Borde 1	6,889
	Borde2	5,968
	Centro 1	6,064
	Borde 3	6,502
	Borde 4	6,868
	Centro 2	6,854
	Borde 5	6,720
	Borde 6	6,809
Anillo Medio Superior	Borde 1	5,918
	Borde2	6,666
	Centro 1	6,939
	Borde 3	7,319
	Borde 4	7,034
	Centro 2	6,042
	Borde 5	6,965
	Borde 6	6,630
Anillo Central	Borde 1	6,088
	Borde2	7,380
	Centro 1	8,266
	Borde 3	8,484
	Borde 4	7,849
	Centro 2	7,608
	Borde 5	7,219
	Borde 6	7,258

Tabla 17. Variación transversal de esfuerzos a tracción MSC-2, probeta tipo 1 (Continuación)

Anillo Medio Inferior	Borde 1	7,178
	Borde2	7,957
	Centro 1	8,221
	Borde 3	9,422
	Borde 4	8,601
	Centro 2	9,823
	Borde 5	7,637
Anillo Inferior	Borde 1	6,095
	Borde2	7,165
	Centro 1	7,566
	Borde 3	6,868
	Borde 4	6,616
	Centro 2	6,219
	Borde 5	6,352
Borde 6	6,602	

Figura 33. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MSC-2, probeta tipo 2.

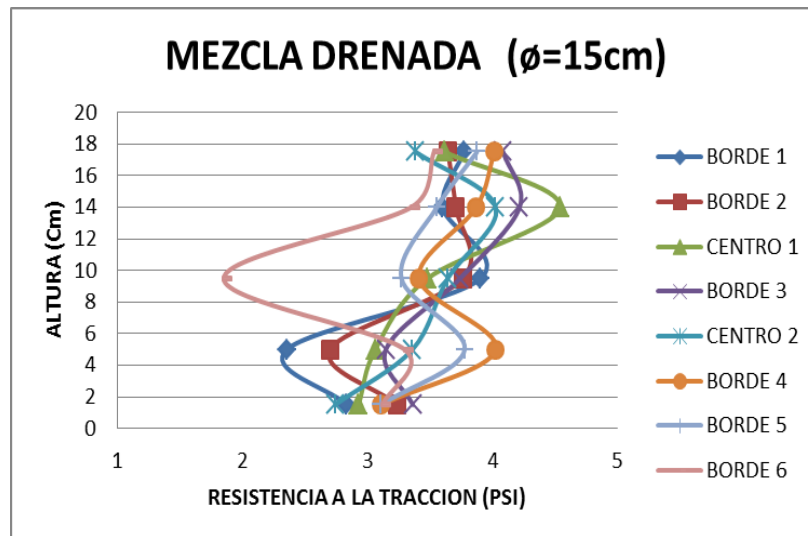


Mezcla drenante:

Tabla 18. Variación transversal de esfuerzos a tracción MD, probeta tipo 1.

Ubicación	Muestra	Esfuerzo (PSI)
MEZCLA DRENANTE (MD)		
Anillo Superior	Borde 1	3,774
	Borde2	3,645
	Centro 1	3,620
	Borde 3	4,086
	Borde 4	3,387
	Centro 2	4,016
	Borde 5	3,877
	Borde 6	3,532
Anillo Medio Superior	Borde 1	3,603
	Borde2	3,706
	Centro 1	4,540
	Borde 3	4,217
	Borde 4	4,027
	Centro 2	3,870
	Borde 5	3,556
	Borde 6	3,351
Anillo Central	Borde 1	3,906
	Borde2	3,765
	Centro 1	3,482
	Borde 3	3,743
	Borde 4	3,643
	Centro 2	3,413
	Borde 5	3,272
	Borde 6	1,851
Anillo Medio Inferior	Borde 1	2,357
	Borde2	2,702
	Centro 1	3,064
	Borde 3	3,148
	Borde 4	3,361
	Centro 2	4,028
	Borde 5	3,778
	Borde 6	3,298
Anillo Inferior	Borde 1	2,834
	Borde2	3,238
	Centro 1	2,930
	Borde 3	3,364
	Borde 4	2,743
	Centro 2	3,109
	Borde 5	3,110
	Borde 6	3,120

Figura 34. Variación transversal de esfuerzos a tracción respecto a la altura MSC-2, probeta tipo 2.



De acuerdo con los resultados de las pruebas de tracción, los sectores donde que presentan los mayores esfuerzos coinciden con puntos de mayor densidad y tienen una magnitud dos o tres veces más que la muestra donde se encontró la menor resistencia.

4.3 ISOGRAMAS DE DENSIDADES

Los isógramas representan diagramas con líneas de igual valor de densidades dentro de la probeta asfáltica. Permiten seleccionar puntos en los cuales se podría extraer una muestra con las propiedades volumétricas deseadas, a partir de los valores de densidad y porcentaje de vacíos globales en una probeta.

Los siguiente isógramas muestran la variación de densidad que se presenta en probetas de 10 y 15 cm de diámetro con una densidad global de 2.191 [g/cm³] y 2.076 [g/cm³] respectivamente.

Figura 35. Isógramas de densidades para probetas tipo 1.

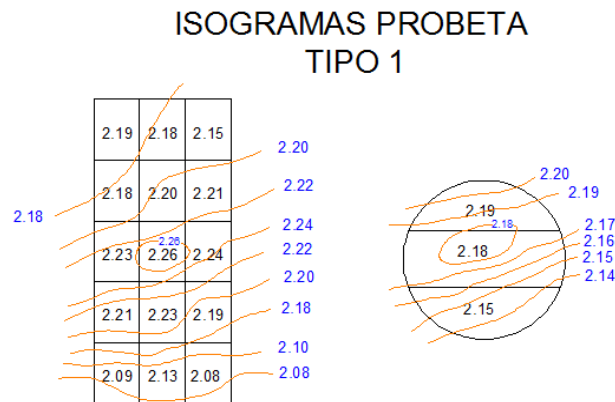
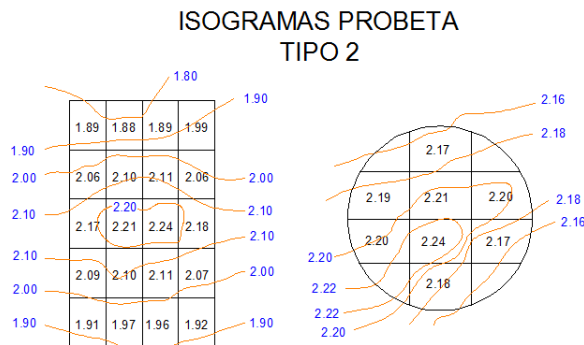


Figura 36. Isográmias de densidades probeta tipo 2



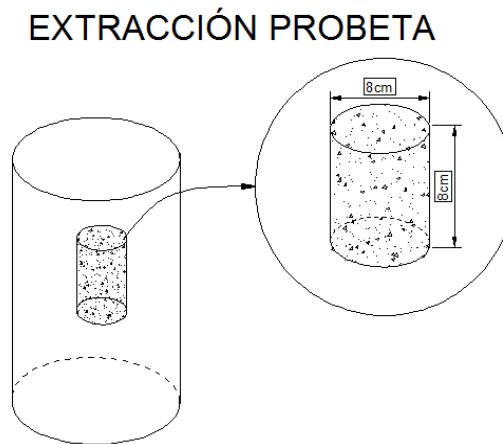
El comportamiento de los isógramas variando el tipo de mezcla presenta el mismo comportamiento en las isolíneas de densidad, respecto a la densidad global y solo depende del diámetro del molde empleado en la compactación.

4.4 OBTENCIÓN DE MUESTRAS HOMOGENEAS

Para obtener muestras más homogéneas, los cuerpos de prueba, deberían extraerse de la parte central de un bloque de material compactado.

Si el bloque es un cilindro compactado mediante cizallamiento giratorio y se desea obtener una probeta de ocho centímetros (8 cm) de diámetro y ocho centímetros (8 cm) de altura, con un contenido de vacíos especificado, se debería fabricar una probeta de quince centímetros (15 cm) con un 49% más de vacíos. En caso de fabricar una probeta de 10 cm de diámetro, este debería tener un contenido de vacíos adicional del 32%.

Figura 37. Extracción de probetas homogéneas.



5. CONCLUSIONES

- Con la presente investigación se logró estudiar la variación de las propiedades mecánicas y volumétricas en probetas de mezclas asfálticas elaboradas con compactador giratorio.
- Las probetas de mezcla asfáltica producidas mediante compactador giratorio no presentan homogeneidad. Las propiedades volumétricas varía con la profundidad de la probeta, presentado mayor homogeneidad las muestras ubicadas en los puntos centrales, en comparación a las ubicadas en la parte superior e inferior de la probeta.
- El porcentaje de vacíos en los tres tipos de mezcla asfáltica con diez centímetros (10 cm) diámetro, presenta una variación del 49% más en los bordes y cara de la probeta y del 67% menos en la parte central respecto al porcentaje global.
- El porcentaje de vacíos en los tres tipos de mezcla asfáltica con diez centímetros (15 cm) diámetro, presenta una variación del 32% más en los bordes y cara de la probeta y del 43% menos en la parte central respecto al porcentaje global.
- El comportamiento de las propiedades mecánicas tiene una tendencia heterogénea, por lo cual se observa que a mayor densidad de la probeta existe mayor resistencia; cabe aclarar que tal comportamiento depende de la fuerza de adhesión de los agregados por ende se presenta una mayor variación.

- Se obtuvieron isógramas que sirve de guía grafica para la ubicación y extracción de muestras con valores de densidad y porcentaje de vacíos deseados, a partir de valores globales de una probeta.

BIBLIOGRAFÍA

Acuña Jiménez, M. Consideraciones generales sobre la compactación de especímenes de mezcla asfáltica en caliente en el Compactador Giratorio Superpave. Métodos y Materiales, Volumen 2, Noviembre 2012. pp 6-13.

Asfaltos 60/70. Propiedades y características. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Asfaltos%2060-70%20VSM-01.pdf [citado 20 de Diciembre de 2014].

Peng, Yong; Sun, Li-jun. Horizontal homogeneity in laboratory-compacted asphalt specimens. Road Materials and Pavement Design, Vol. 15.4, Octubre 2014. Pp 10-13.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Acuña Jiménez, M. Consideraciones generales sobre la compactación de especímenes de mezcla asfáltica en caliente en el Compactador Giratorio Superpave. Métodos y Materiales, Volumen 2, Noviembre 2012. pp 6-13.

[2] Peng, Yong; Sun, Li-jun. Horizontal homogeneity in laboratory-compacted asphalt specimens. Road Materials and Pavement Design, Vol. 15.4, Octubre 2014. Pp 10-13.

[3] Asfaltos 60/70. Propiedades y características. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Asfaltos%2060-70%20VSM-01.pdf [citado 20 de Diciembre de 2014].