

**ANALISIS DE LA SEGREGACION DE MEZCLAS DE PAVIMENTO**

**JENNIFER ANDREA REMOLINA MANOSALVA**

**ANDRÉS FABIAN FIALLO MARMOL**

**Trabajo de grado modalidad investigación**

**Para optar el título de:**

**Ingeniero(a) Civil**

**Director:**

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN**

**INGENIERO CIVIL, M. Sc., Ph D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2009**

**ANALISIS DE LA SEGREGACION DE MEZCLAS DE PAVIMENTO**

**JENNIFER ANDREA REMOLINA MANOSALVA**

**ANDRÉS FABIAN FIALLO MARMOL**

**Trabajo de grado modalidad investigación**

**Para optar el título de:**

**Ingeniero(a) Civil**

**Director:**

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN**

**INGENIERO CIVIL, M. Sc., Ph D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2009**

## DEDICATORIA

*A mi padre por su entereza y por enseñarme los principios y valores fundamentales, por facilitarme los medios que me permitieran formarme como profesional y convertirme en una persona de bien y útil a la sociedad.*

*A mi madre por comprenderme en los momentos difíciles de mi carrera y por brindarme la motivación de seguir adelante sin detenerme ante ningún obstáculo.*

*A mi hermana por su constante apoyo y compañía durante mi proceso de formación.*

*A mis familiares por sus sabios consejos y voz de aliento.*

*A mis amigos por su ayuda y credibilidad.*

*A todas las personas que con su voto de confianza y seguimiento en mi proceso le doy mil gracias por hacerme posible cumplir esta meta en mis vida.*

*Jennifer Andrea Remolina Manosalva*

## DEDICATORIA

*A mis abuelos que son el principal motivo de hacer realidad uno de mis mayores éxitos propuestos en mi vida, que fueron quienes confiaron en mi y me dieron todos los medios y recursos necesarios.*

*A mis padres por darme las fortalezas necesarias en aquellos momentos de debilidad y por brindarme el apoyo e incondicionalidad siempre.*

*A mi novia por su confianza y apoyo desinteresado y por ser partícipe en el transcurso de la vida académica.*

*A mis amigos por su voto de credibilidad y compañía.*

*Andrés Fabián Fiallo Mármol*

## AGRADECIMIENTOS

A la universidad Industrial de Santander, por brindarnos una educación integral e intelectual, para así convertirnos en profesionales capaces de promover la formación ética, científica, tecnológica, cultural y administrativa.

Al Director del Proyecto, **Eduardo Castañeda**, por su invaluable conocimiento, acertadas y precisas orientaciones, por su constante motivación y el tiempo de dedicación al desarrollo del proyecto.

A **PAVIANDI** por su invaluable ayuda en la prestación de equipos para realizar ciertas pruebas de laboratorios.

A nuestras familias por apoyarnos incondicionalmente en cada momento de permanencia en la universidad, por su paciencia, confianza y comprensión.

A nuestros amigos, por su apreciada amistad que en momentos difíciles nos ayudaron y apoyaron desinteresadamente.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	19
<b>1. MARCO TEORICO</b> .....	20
1.1. Segregación .....	20
1.2. Tipos de Segregación.....	21
1.3. Consecuencias de la Segregación .....	23
1.4. Métodos de Detección de la Segregación en Campo .....	23
1.5. Pruebas de laboratorio para medir segregabilidad .....	30
1.5.1. Estudios de la Universidad de Connecticut .....	30
1.6. Acciones para evitar la segregación .....	31
<b>2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO</b> .....	32
2.1. DESCRIPCIÓN .....	32
2.2. MATERIALES EMPLEADOS .....	34
2.2.1. Material Granular.....	34
2.2.1.1 Procedencia: .....	34
2.2.1.2. Pruebas Realizadas. ....	34
2.2.2. Asfalto .....	34
2.2.2.1. Asfalto de Refinería .....	34
2.2.3. Cal .....	34
2.3. CARACTERIZACION DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PETREO .....	35
2.4. EVALUACION DE SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS .....	37
2.4.1. CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE MEZCLAS ASFALTICAS .....	38
2.4.2. DISEÑO Y FABRICACION DE PROBETAS .....	38
2.4.2.1. Metodología empleada para la fabricación de probetas .....	38
2.5. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS PROBETAS .....	41
<b>3. RESULTADOS</b> .....	43
3.1 CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD.....	43
3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO .....	43
3.1.1.1. Nomenclatura .....	43
3.1.1.2. Cálculo del parámetro de segregabilidad .....	43
3.1.2. CARACTERIZACION DE SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	46
3.1.2.1. Nomenclatura .....	46

3.2. CARACTERIZACION DE PROBETAS .....	49
3.2.1. Nomenclatura .....	49
3.3. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS PROBETAS .....	50
3.3.1. Gravedad Especifica Bulk y Densidad de Mezclas asfalticas compactadas no absorbentes empleando especimenes saturados y con superficie seca .....	50
3.3.2. Gravedad Especifica y Absorcion de Agregados Finos .....	50
3.3.3. Gravedad Especifica y Absorcion de Agregados Gruesos .....	50
3.3.4. Peso Especifico Teorico Maximo (Gmm) de mezclas asfalticas (Metodo Rice) .....	51
3.3.5. Porcentaje de vacios de aire en mezclas asfalticas compactadas densas y abiertas .....	52
3.3.6. Estabilidad y Flujo .....	52
<b>4. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Histograma típico de mediciones de la profundidad de textura láser .....	26
Figura 1.2. Ondas sísmicas generadas .....	29
Figura 1.3. Aparato de prueba de segregación típica .....	31

## LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 2.1. Curva Granulométrica (0-25) .....	35
Grafica 2.2 Curva Granulométrica (0-19) .....	36
Grafica 2.3 Curva Granulométrica (0-10) .....	36
Grafica 3.1. Curva Granulométrica (0-25) .....	44
Grafica 3.2 Curva Granulométrica (0-19) .....	45
Grafica 3.3 Curva Granulométrica (0-10) .....	45
Grafica 3.4. Curva Granulométrica (0-25) .....	47
Grafica 3.5. Curva Granulométrica (0-19) .....	48
Grafica 3.6. Curva Granulométrica (0-10) .....	48

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1. Segregación de los agregados al extenderse el material .....	21
Fotografía 1.2. Equipo ROSANv .....	24
Fotografía 1.3. Cámara de Termografía T6 .....	25
Fotografía 1.4. Equipo GPR .....	26
Fotografía 1.5. Equipo láser de textura superficial .....	27
Fotografía 1.6. Analizador espectral de ondas superficiales (SASW) .....	29
Fotografía 2.1. Extendido del material en campo .....	32
Fotografía 2.2. Simulación en laboratorio .....	33
Fotografía 2.3. Proceso de la prueba segregabilidad del agregado pétreo .....	37
Fotografía 2.4. Proceso de la evaluación de segregabilidad de mezclas asfálticas ...	37
Fotografía 2.5. Proceso de compactación .....	39
Fotografía 2.6. Probetas tipo Marshall de granulometría (0-25) .....	39
Fotografía 2.7. Probetas tipo Marshall de granulometría (0-19) .....	40
Fotografía 2.8. Probetas tipo Marshall de granulometría (0-10) .....	40
Fotografía 2.9. Equipo Rice .....	41
Fotografía 2.10. Equipo utilizado en la estabilidad y Flujo .....	42

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Resumen de la especificación límite y cambios correspondientes esperados en la mezcla .....	22
Tabla 3.1. Parámetro de segregabilidad del agregado pétreo .....	44
Tabla 3.2. Parámetro de segregabilidad de mezclas asfálticas .....	47
Tabla 3.3. % de Asfalto según el tipo de granulometría .....	49
Tabla 3.4. Valores Promedio de la Densidad .....	50
Tabla 3.5. Gravedad máxima medida para mezcla tipo (0-25) .....	51
Tabla 3.6. Gravedad máxima medida para mezcla tipo (0-19) .....	51
Tabla 3.7. Gravedad máxima medida para mezcla tipo (0-10) .....	51
Tabla 3.8. Porcentaje de vacíos con aire en la mezcla .....	52
Tabla 3.9. Porcentaje de vacíos en los agregados .....	52
Tabla 3.10. Valores obtenidos de estabilidad y flujo .....	52

## ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PETREO .....	57
ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS .....	62
ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS.....	69

## RESUMEN

### TITULO:

ANALISIS DE LA SEGREGACION DE MEZCLAS DE PAVIMENTO

### AUTORES:

REMOLINA MANOSALVA, Jennifer Andrea  
FIALLO MARMOL, Andrés Fabián

### PALABRAS CLAVES:

Segregación, tamiz No 200, asfalto.

### DESCRIPCION:

La Ingeniería Civil seguirá teniendo como labor principal el desarrollo, mejoramiento e innovación de los procesos y recursos que se manipulan, en especial en el área de pavimentos el cual no ha sido ajeno a este avance.

Contribuyendo así, a realizar un análisis de la manipulación y almacenamiento de los agregados, que no siendo adecuado puede llegar a generar la segregación; problema que se inició cuando se experimentó un incremento en el porcentaje de material que pasa el tamiz No 200 y un descenso en el contenido de asfalto.

La separación de la mezcla caliente de asfalto es un problema recurrente en la pavimentación de la industria. Hay poca investigación documentada que cuantifica el efecto de la segregación en la mezcla de propiedades y el rendimiento del pavimento.

Los factores que conducen a la segregación pueden ser el resultado de una sola fuente o de una combinación de fuentes. Uno de las principales fuentes de la segregación puede producirse durante la manipulación y colocación de la mezcla de asfalto en caliente. El uso de una prueba para determinar la tendencia de la segregación ayuda al usuario a determinar si una combinación de gradación necesita ser ajustada con especial cuidado en la manipulación de la mezcla asfáltica durante la construcción de un pavimento, evitando así la segregación de la misma.

Por lo tanto, la segregación debe recibir una atención especial si se quiere brindar una mayor durabilidad y calidad de los pavimentos.

Este proyecto propone realizar un estudio práctico comparativo para determinar la cantidad de segregación de diferentes muestras de asfalto.

---

Tesis de grado

Facultad de ingeniería físico-mecánicas. Ingeniería Civil. ING. EDUARDO ALBERTO  
CASTANEDA PINZON

## ABSTRACT

### TITLE:

ANALYSIS OF THE SEGREGATION OF MIX OF PAVEMENT

### AUTHORS:

REMOLINA MANOSALVA, Jennifer Andrea  
FIALLO MARMOL, Andrés Fabián

### KEYWORDS:

Segregation, Test Sieve No 200, asphalt.

### DESCRIPTION:

Civil Engineering work will continue leading the development, improvement and innovation of processes and resources that are manipulated, especially in the area of pavement which has not been alien to this development. Thus contributing to an analysis of the handling and storage of aggregates, which may not be adequate to generate segregation; problem that started when they experienced an increase in the percentage of material passing the No 200 sieve and a decrease the asphalt content.

The separation of hot mix asphalt is a recurring problem in the paving industry. There is little documented research that quantifies the effect of segregation in the mix of properties and performance of the pavement.

The factors that lead to segregation may result from a single source or combination of sources. One of the main sources of segregation can occur during handling and placement of hot mix asphalt. The use of a test to determine the trend of segregation helps the user determine whether a combination of grading needs to be adjusted with special care in handling the asphalt during the construction of a road surface, thus preventing segregation of the same.

Therefore, segregation should receive special attention if we want to provide greater durability and quality of pavements. This project proposes to conduct a comparative study to determine the amount of segregation of different samples of asphalt.

---

DEGREE Thesis

Faculty of Physical-Mechanical engineering. Civil Engineering. ENGINEER EDUARDO  
ALBERTO CASTANEDA PINZON

## INTRODUCCION

La ingeniería ha venido día a día, desarrollando nuevas investigaciones y técnicas, tanto en el diseño como en la construcción y evaluación de pavimentos. Esos desarrollos se vienen produciendo a la par con los avances científicos y tecnológicos de la humanidad en todos los órdenes, que conllevan al desarrollo de los campos de acción de la ciencia. En ese orden de ideas, los países industrializados como Estados Unidos y la Comunidad Económica Europea han adoptado sus propias especificaciones para materiales y procedimientos constructivos que continuamente los están actualizando.

De modo que en el diseño de pavimentos es importante suministrar vías de comunicación que dispongan de una superficie de rodamiento cómoda, confortable y estética, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir las cargas debidas al tráfico que es sometido.

Actualmente, la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible.

Hoy por hoy durante la fase de construcción y puesta en obra de las mezclas asfálticas se pueden producir errores y fallos accidentales, como es la segregación de la mezcla del pavimento: donde ocurre la separación de las partículas minerales de la superficie del pavimento, en el cual el agregado fino se separa de las partículas de mayor tamaño, lo que da lugar una apariencia de capa de pavimento erosionado y rugosa. Aparte de la incomodidad para los vehículos existen diversos factores que contribuyen a la segregación, para ello, se plantea realizar una confrontación de resultados a partir de diferentes tipos de granulometrías que permitan concluir las principales causas de la segregación.

Así mismo para construir, mantener y supervisar eficientemente las calles y carreteras que un país requiere para su desarrollo en este mundo tan independientemente económico, es necesario conocer las especificaciones técnicas correspondientes, pero además es preciso tener claro el comportamiento de los materiales utilizados y lo más importante llevar a cabo un permanente control en obra de la distribución granulométrica de los agregados que juega un papel determinante en el comportamiento de la carpetas asfálticas.

## **1. MARCO TEORICO**

La mezcla asfáltica es una combinación de agregados pétreos y ligante hidrocarbonado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua, se fabrican en centrales fijas o móviles y se transportan a la obra donde se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. La falta de alguno de ellos afecta el conjunto y puede sufrir de segregación.

El uso de una prueba para determinar la tendencia a la segregación ayuda al usuario a determinar si una mezcla necesita ser modificada o si el proceso constitutivo debe ampliarse.

### **1.1. Segregación**

La segregación en una mezcla asfáltica en caliente (HMA) se puede definir como la distribución no uniforme de los agregados gruesos y finos en la mezcla, puede producirse durante el almacenamiento, manipulación de los agregados, transporte y extensión de la mezcla asfáltica. Es un problema recurrente en la industria de pavimentos.

La segregación genera en los agregados como en la mezclas que las partículas más grandes corran hacia los lados y se acumulen en la parte inferior de la pila de material, produciendo un incremento en el porcentaje de material que pasa por el tamiz No 200 y un descenso en el porcentaje de asfalto o viceversa. Genera una mala distribución de las partículas de la mezcla y a su vez una densidad baja.

**Fotografía 1.1.** Segregación de los agregados al extenderse el material.



*Fuente: <http://www.geoengineer.org>*

## **1.2. Tipos de segregación.**

En el estudio se consideró cuatro niveles de segregación:

### **1. Zonas sin segregación**

- La rigidez es superior al 90% de la prevista para la mezcla.
- El asfalto no debe variar en mas de 0.3% del previsto en la fórmula de trabajo.
- No presenta diferencia en el porcentaje de agregado grueso.

### **2. Zonas con bajo nivel de segregación**

- La rigidez varía entre 70 y 90% del valor obtenido en zonas no segregadas.
- El porcentaje de vacíos se incrementa entre 0 y 4%.
- El porcentaje de agregado grueso podría aumentar en 5% y el contenido de ligante se reduciría entre 0.3 y 0.75%.

### 3. Zonas con medio nivel de segregación

- La rigidez varía entre 30 y 70% del valor obtenido en zonas no segregadas.
- El porcentaje de vacíos se incrementa entre 2 y 6%.
- El porcentaje de agregado grueso podría aumentar en 10% y el contenido de ligante se reduciría entre 0.75 y 1.3%.

### 4. Zonas con alto nivel de segregación

- La rigidez es menor del 30% del valor obtenido en zonas no segregadas.
- El porcentaje de vacíos es mayor del 4%.
- El porcentaje de agregado grueso es mayor del 15% y el contenido de ligante sería mayor del 1.3%.

**Tabla 1.1.** Resumen de la especificación límite y cambios correspondientes esperados en la mezcla.

Propiedad de la mezcla	Porcentaje de mezcla no segregado por nivel de segregación			
	Ninguno	Bajo	Medio	Alto
Rango de Temperatura Diferencias, °C	<10	10 a 16	17 a 21	>21
Ratios de la Textura de la superficie	<1.16	1.16 a 1.56	1.57 a 2.09	>2.09
Cambio en las propiedades de la mezcla expresado como un % de las propiedades de las zonas no segregadas.				
Permeabilidad	Aumenta ligeramente	Aumenta con el nivel de segregación		
Modulo Resiliente	Poco o ligero aumento de la rigidez	70 a 90%	50 a 70% (infrarrojo) 30 a 80% (laser)	<50% (infrarrojo) <30% (laser)
Modulo Dinámico	Poco o ligero aumento de la rigidez	80 a 90%	70 a 80%	50 a 70%
Resistencia a la tracción en seco	110%	90 a 100%	50 a 80%	30 a 50%
Resistencia a la tracción húmeda	80 a 90%	75%	50%	30%
Esfuerzo de tracción a baja temperatura	No hay conclusiones en este método debido a la dificultad del ensayo			
Pérdida de la vida de fatiga cuando la segregación está en la parte superior de la muestra	No estimado	38%	80%	99%

Potencial de Bacheo	No muy influenciada por la segregación de la muestra			
Diferencia de valores entre áreas segregadas y no segregadas				
Gradaciones mínimas números de tamices que están dados por el % de grueso	NA	1 tamiz >5%	2 tamices >10%	4 tamices >15%
Gradaciones mínimas números de tamices.	NA	2.5 a 4.5 (infrarrojo) 0 a 2.55 (laser)	4.5 a 6.5 (infrarrojo) 0 a 2.55 (laser)	>6.5 (infrarrojo) >4% (laser)
Gradaciones mínimas	NA	3 tamices >5%	4 tamices >10%	6 tamices >15%

### 1.3. Consecuencias de la Segregación

Una de las principales consecuencias se genera cuando el agregado fino se separa de las partículas de mayor tamaño, generando una capa de pavimento con apariencia rugosa y erosionada; por ello, los pavimentos segregados requieren un mantenimiento más temprano que los construidos correctamente, debido a su alta sensibilidad a la humedad y su falla prematura.

En un análisis del ciclo de vida se estimaron los sobrecostos que causan la segregación, se obtuvo un valor de 10% para niveles de segregación bajos y de 20% para niveles medios de segregación. En los niveles, donde la segregación fue alta el sobrecosto se estimó en 50%. Entre las propiedades que variaron, los vacíos con aire aumentaron con el aumento de los niveles de segregación. Del 0 a 4 por ciento de vacíos con aire en las zonas no segregadas o de bajos niveles de segregación, del 2 al 6 por ciento en los niveles medio y superior a 4 por ciento en los niveles más altos.

### 1.4. Métodos de Detección de la Segregación en Campo

La Universidad de Auburn de Alabama, de acuerdo a las condiciones del pavimento que tuvieron en cuenta para la detección de la segregación, llegaron a la conclusión que la mala compactación fue el principal problema de la segregación. Las pruebas de este estudio arrojaron daños como grietas longitudinales (que se asocian a mezclas de baja rigidez y baja resistencia a la tracción) y baches. Estos tipos de daños indicaron

que se estaba perdiendo entre 2 y 7 años de la vida útil a causa de la segregación, la cual era prevista para unos 15 años.

Debido a los daños presentados, la Universidad de Auburn de Alabama, identificó de forma selectiva algunas tecnologías como potenciales en dicha detección, los cuales corresponden a realizar mediciones con laser ROSANv.

El laser ROSANv es un sistema automatizado y portátil que fué desarrollado para la medición de la textura del pavimento a velocidades a lo largo de una trayectoria lineal como un reemplazo de la revisión del método volumétrico manual como se indica por ASTM-E965 y la ISO 10844. La “v” en ROSANv significa “vehículo montado”, es decir, que puede ser montado rápidamente en cualquier vehículo mediante enganche temporal parachoques.

**Fotografía 1.2.** Equipo ROSANv



*Fuente:* <http://www.tfhrc.gov/about/pavesurf.htm>

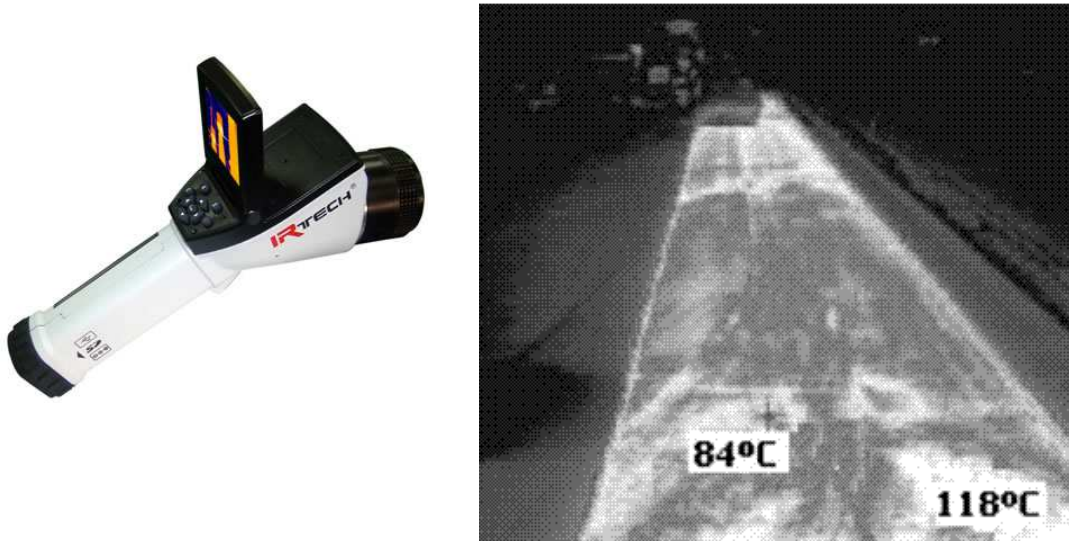
Se identificaron cuatro tipos de tecnologías para la detección de segregación:

#### 1. Análisis térmico de imágenes

En este análisis el principal componente del sistema de imágenes térmicas es un escáner óptico. Esta unidad se utiliza para detectar la radiación en el espectro infrarrojo. Otros componentes esenciales son una pantalla monitor, vídeo, informática, software, datos de adquisición, análisis y almacenamiento. El área del estudio de la

cámara está determinada por los requisitos mínimos de resolución y por la altura de los equipos por encima de la superficie.

**Fotografía 1.3.** Cámara de termografía T6.



*Fuente:* <http://www.amperis.com/productos/camaras-termograficas/t6/>

## 2. Radar penetrante de tierra

La teoría básica utilizada en el GPR es una medida de la constante dieléctrica,  $E$ , (permitividad). Un material se dice que dieléctrico si puede almacenar la energía cuando se expone a una campo. En aplicaciones de carretera, esta propiedad se ve como un pico en la amplitud de la onda reflejada en cada capa de la interfaz. El pulso de tiempo de viaje a través de la estructura debe ser utilizada para calcular el espesor de la capa. También se identificó que las anomalías en la onda reflejada, principalmente en los picos podrían utilizarse para evaluar la densidad y el contenido de humedad.

Equipo GPR. Este sistemas tienen cuatro componentes principales:

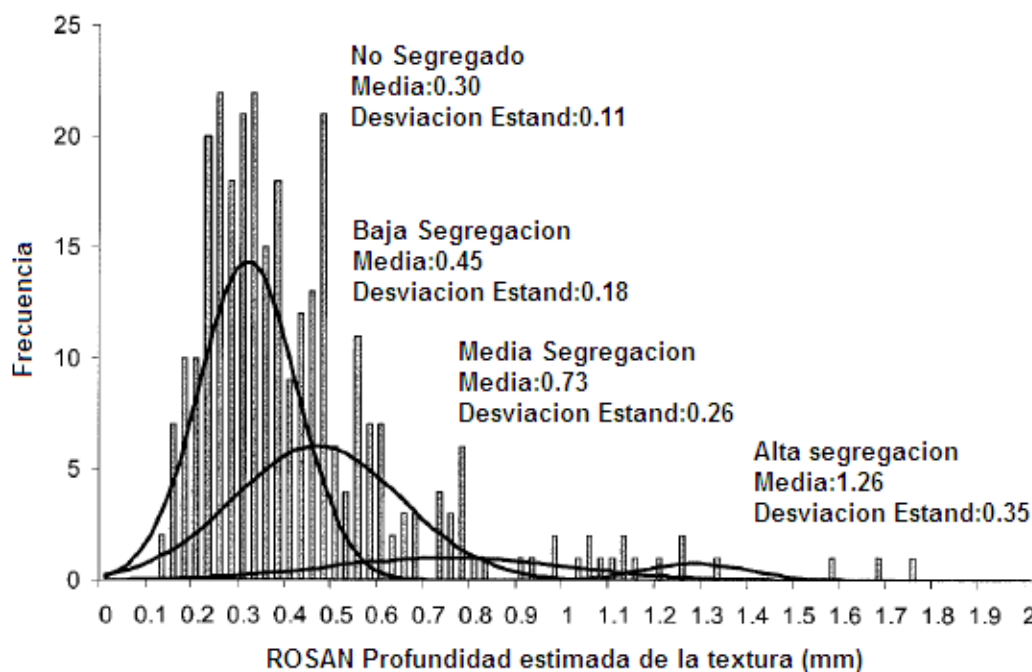
1. Un generador de pulso que produce una señal de radar.
2. Una antena que transmite el pulso en la muestra que se está evaluando.
3. Un grabador que almacena las señales reflejadas.
4. Un hardware y un software para la cuantificación de las amplitudes de onda seleccionada.

**Fotografía 1.4.** Equipo GPR.



Fuente: <http://www.worldoftest.com/datascan-2.htm>

**Figura 1.1.** Histograma típico de mediciones de la profundidad de textura láser.



### 3. Mediciones láser de la textura superficial

Este tipo de tecnología se ha utilizado en diversas formas durante varios años para medir la superficie de macrotextura. La tecnología utiliza una rápida pulsación láser para la producción de semiconductores de luz infrarroja que se proyecta sobre la superficie del pavimento. La luz se dispersa fuera de la superficie, y la recepción de una lente se centra; esta luz se difusa en una matriz lineal de fotodiodos.

La textura se determina a partir de una serie de mediciones y los datos se envían como una copia impresa. En el caso de la textura de superficies muy rugosas, el láser puede tender a subestimar la textura, debido a que el láser de luz no puede penetrar profundamente en los vacíos de aire. La Calibración y los factores de corrección se consideraron esenciales para reducir la variabilidad en los resultados de las pruebas de diferentes calibres. Después de la calibración en un diseño especial con textura de goma, los investigadores encontraron que la repetitividad y la reproducibilidad de estos sistemas fueron 0,6 y 0,10 mm, respectivamente.

El sistema está montado en cada llanta. Para informar acerca de la textura, se toman 40 puntos de datos por 280 mm y con un segundo orden polinómico para tener en cuenta el efecto de rebote en las mediciones del neumático. Al igual que con el equipo de radar de penetración, estos láseres pueden funcionar a velocidades típicas (> 80 km/h).

**Fotografía 1.5.** Equipo láser de textura superficial.





*Fuente:* <http://www.ims-rst.com/data-collection.shtml>

#### 4. Analizadores sísmicos de pavimentos

El analizador de pavimento sísmico (SPA), es desarrollado para la SHRP, utiliza cuatro técnicas de análisis de onda: análisis espectral de ondas de superficie (SASW), organismo de las ondas de ultrasonidos, el impacto eco de la técnica y el impulso de respuesta. El SASW se utiliza para la evaluación del espesor de capa y de los módulos. Las ondas de ultrasonidos y la técnica del eco de impacto, se utilizan juntos para obtener el módulo de Young y el espesor de la capa de la superficie en curso. La respuesta de la componente de impulso se utiliza para obtener información sobre la subrasante para el conjunto del sistema. La información obtenida de la superficie sería la más útil en la identificación del efecto de la segregación.

Los siguientes tipos de información que se puede obtener son:

1. El espesor de la capa superior (efecto de eco).
2. El módulo cortante de la capa superior (ultrasonidos superficie olas).
3. El módulo de Young (organismo de las ondas de ultrasonidos).

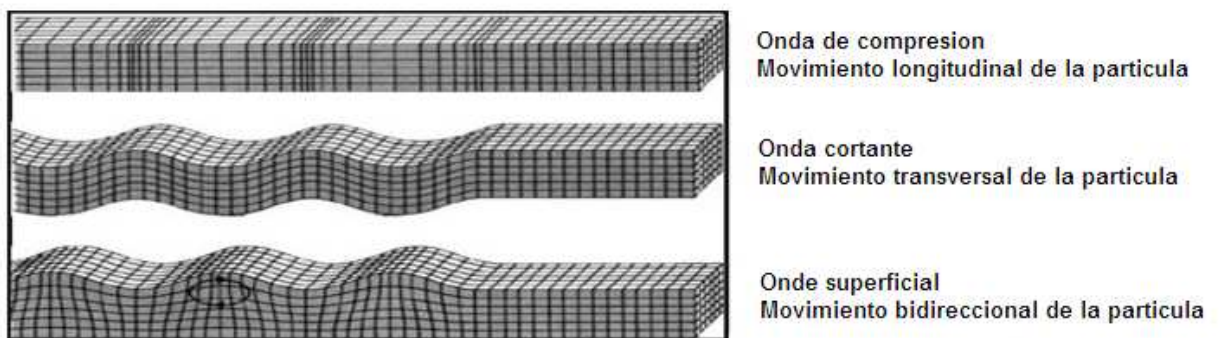
**Fotografía 1.6.** Analizador espectral de ondas de superficie (SASW).



*Fuente:* <http://www.cflhd.gov/agm/engApplications/Pavements/413SpecAnalySurfWaveandUItrSonicSurfWaveMethods.htm>

Este sistema utilizado para medir la velocidad y para determinar el módulo usa algún método de despliegue de una fuente con dos o más acelerómetros ubicados en las distancias, generalmente en línea, desde la fuente. Cuando la fuente se dispara el pulso de corta duración crea un paquete de ondas sísmicas que viajan a través del cuerpo a lo largo de la superficie del pavimento. Véase la figura 1.2.

**Figura 1.2.** Ondas sísmicas generadas.



## **1.5. Pruebas de laboratorio para medir segregabilidad**

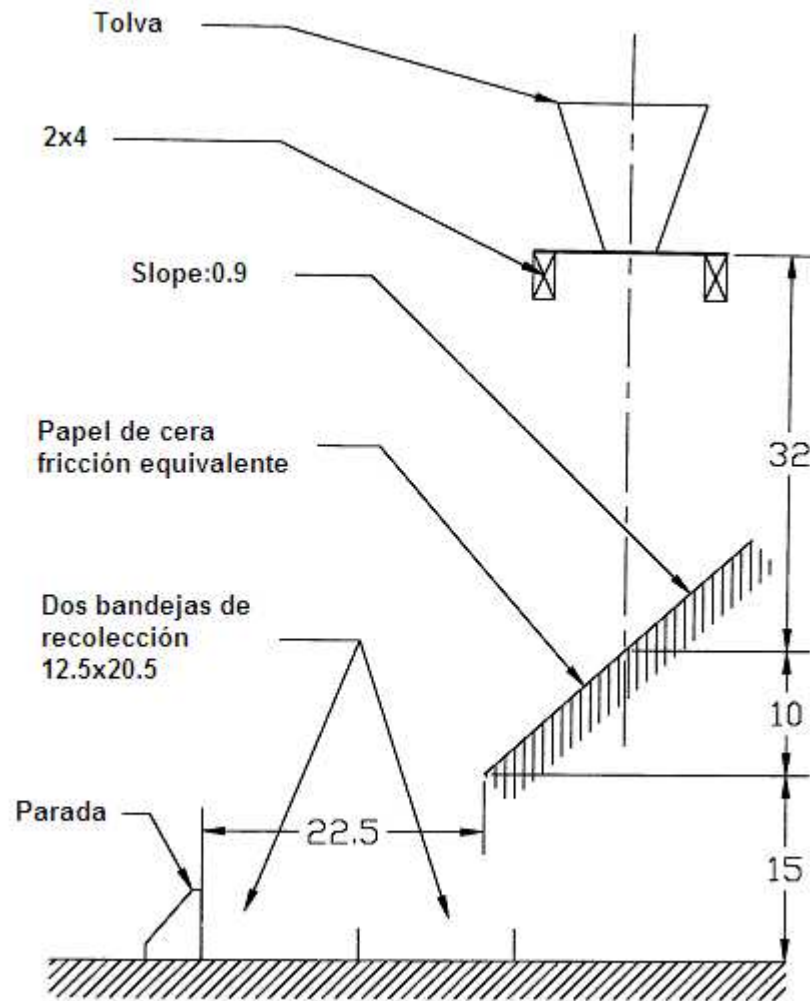
En la inspección de la superficie de los pavimentos con frecuencia se pone los diferentes grados de fisuras. Un grupo de trabajo formado en la Universidad de Connecticut se formo para analizar y abordar el problema de la segregación de mezcla en caliente. En la mayoría de proyectos, la segregación parece ser el mayor problema porque están generando áreas con diferentes texturas que son correlacionadas con los cambios de carga del camión. El problema de la segregación parece ser mas graves por la mala producción en la plantas de asfaltos y el uso del los silos.

### **1.5.1. Estudios de la Universidad de Connecticut**

En un estudio realizado por la Universidad de Connecticut, unas series de mezclas fueron sometidas a una caída libre sobre un plano inclinado seguido de una segunda caída libre desde la punta del plano inclinado. El montón de material resultante se dividió aproximadamente en dos mitades. Las dos mitades fueron tomadas para el análisis de gradación y el contenido de asfalto.

El promedio y desviación estándar de tres o más pruebas de cada material fueron comparados. Una primera estimación se hace por un valor que diferencia el problema potencial de las mezclas.

**Figura 1.3.** Aparato de prueba de segregación típica.



NOTA: Las unidades están en pulgadas pero no a escala.

### 1.6. Acciones para evitar la segregación

En Australia, Inglaterra, Bélgica, Países Bajos y Francia, se trata de minimizar o limitar el uso de mezclas que son propensas a la segregación.

En la mayoría de los casos, el tamaño máximo total es inferior a 20 mm, evitando así la discontinuidad de las gradaciones.

En los Países Escandinavos, Suiza y Dinamarca, exploran el uso de radar de penetración para la identificación de la segregación durante la construcción.

## 2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

### 2.1. DESCRIPCION

La segregación de agregados puede ocurrir durante la colocación del material en la vía; debido a un manejo inadecuado de la mezcla o puede ocurrir antes de que la mezcla llegue a la pavimentadora.

En este trabajo, la segregación de mezclas se estudia simulando las operaciones de la máquina terminadora.

Para simular las acciones de la terminadora sobre la mezcla se estableció el siguiente procedimiento, el cual fue aplicado en primer lugar a la mezcla de agregados sin asfalto y posteriormente a la mezcla de agregados y asfalto.

#### 1. Colocación del material en bandeja.

Simula el proceso de colocar el material que está en la tolva de la terminadora en el tornillo sinfín que alimenta la plancha de extendido.

**Fotografía 2.1.** Extendido del material en campo.



*Fuente:* [http://pavementinteractive.org/index.php?title=Asphalt\\_Paver](http://pavementinteractive.org/index.php?title=Asphalt_Paver)

2. Separación en dos capas del material colocado en la plancha.  
Simula el arrastre de la plancha sobre el material colocado.

**Fotografía 2.2.** Simulación en laboratorio.



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo*

El estudio de segregación se complementa estableciendo las características de las dos capas de material.

Finalmente se evalúan los resultados de ensayos sobre las dos capas, para determinar un factor de segregabilidad en el material estudiado.

El estudio comprendió las siguientes mezclas:

1. Tamaño máximo nominal 25 mm.
2. Tamaño máximo nominal 19 mm.
3. Tamaño máximo nominal 10 mm.

Los ensayos de caracterización practicados fueron los siguientes:

1. Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y con superficie seca I.N.V. E-733-07.
2. Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos I.N.V. E-222-07.
3. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos I.N.V. E-223-07.
4. Peso Especifico Teórico Máximo (Gmm) de la mezcla asfáltica (Método Rice – I.N.V. E-735).
5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas I.N.V. E-736-07.

6. Estabilidad y Flujo I.N.V. E-748.

## **2.2. MATERIALES EMPLEADOS**

### **2.2.1. Material Granular**

#### **2.2.1.1. Procedencia**

La totalidad del material pétreo empleado proviene de la cantera ubicada junto al río Chicamocha, en el sector conocido como pescadero en el departamento de Santander. Adquirido directamente por medio de la empresa Paviandi, ubicada en la vía Curos.

#### **2.2.1.2. Pruebas Realizadas**

A partir de los agregados se efectuaron las granulometrías correspondientes a los tamaños máximos nominales de 25 mm, 19 mm y 10 mm, para así realizar un análisis comparativo de los tres tipos de mezclas y poder determinar su comportamiento de homogenización y distribución del material con el propósito de establecer la variación entre las capas superiores e inferiores con las granulometrías inicialmente establecidas.

Los ensayos realizados fueron:

- Extensión del material y recuperación de muestras
- Extracción del asfalto
- Ensayo Marshall

### **2.2.2. Asfalto**

#### **2.2.2.1. Asfalto de Refinería**

Se empleó el asfalto líquido de penetración 60-70 CIB (Complejo Industrial Barrancabermeja) de ECOPETROL.

### **2.2.3. Cal**

Se utilizó este material que además de su fácil acceso, puede reemplazar la falta de material fino que pasa 200.

### 2.3. CARACTERIZACION DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO

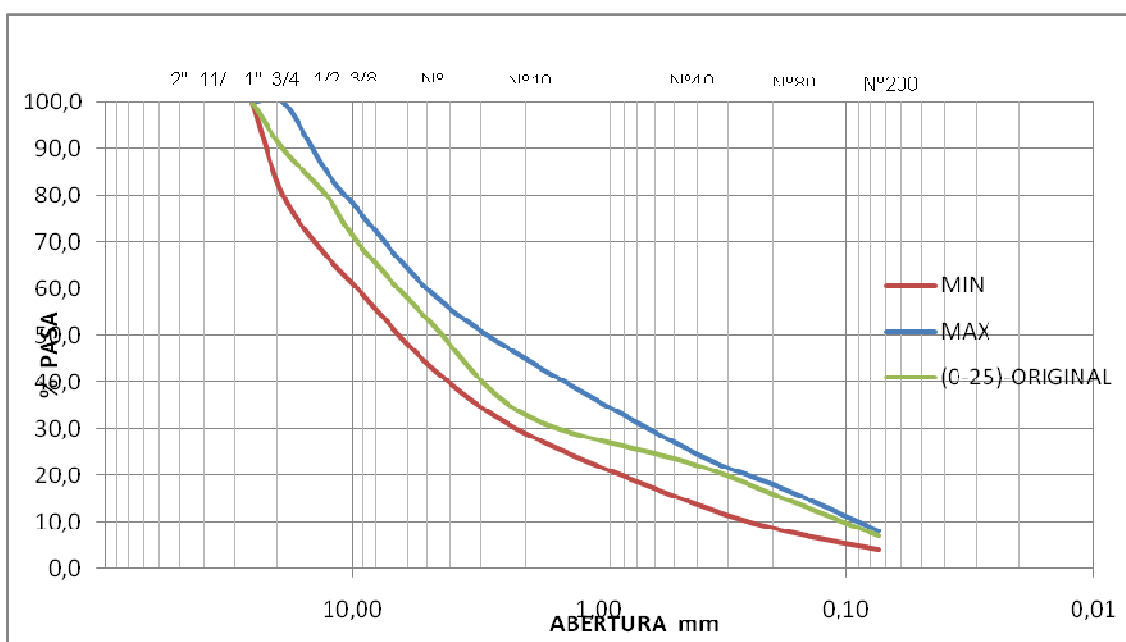
La prueba consiste en la elaboración de las tres granulometrías (0-25), (0-19) y (0-10); mostradas en las gráficas 2.1., 2.2. y 2.3.

El material previamente se vierte en una bandeja donde se mezcla y luego se procede a extenderse en la superficie para conformar una capa aproximadamente de 8 cm de espesor. El material fué separado en una capa superior e inferior, donde cada una corresponde a la mitad del espesor (4 cm).

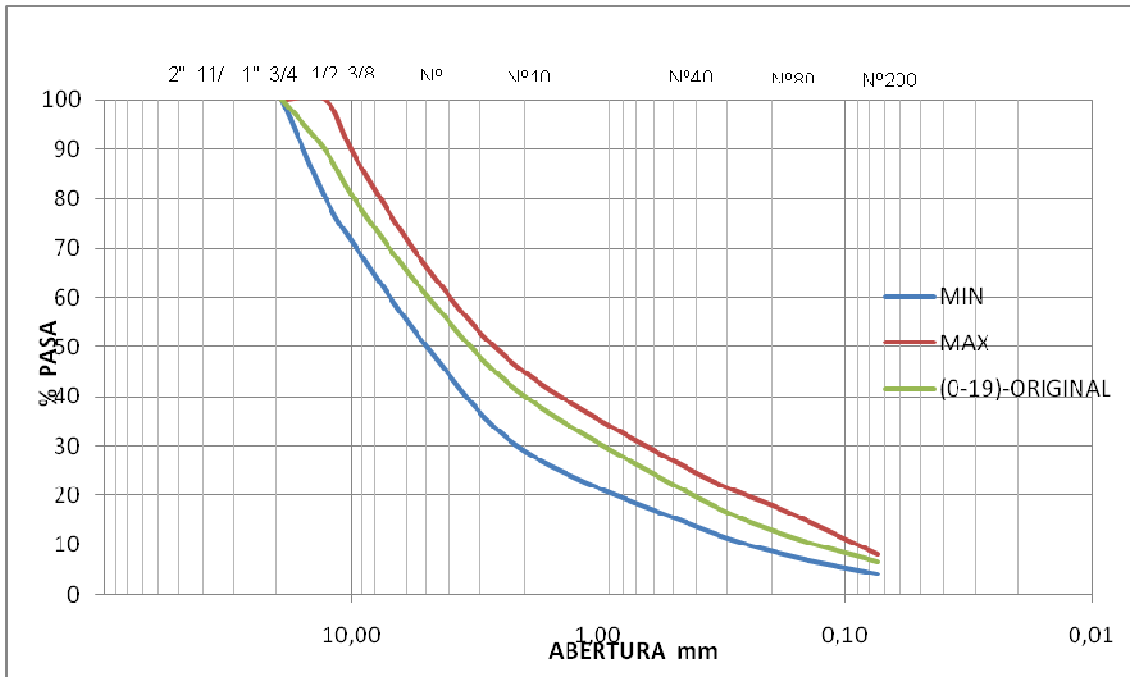
Luego se hace de nuevo la granulometría y se compara la variación de la homogenización del material de cada capa con respecto a la que se tenía inicialmente establecida.

El procedimiento descrito anteriormente se efectúa para los tres tipos de muestras y por separado cada uno.

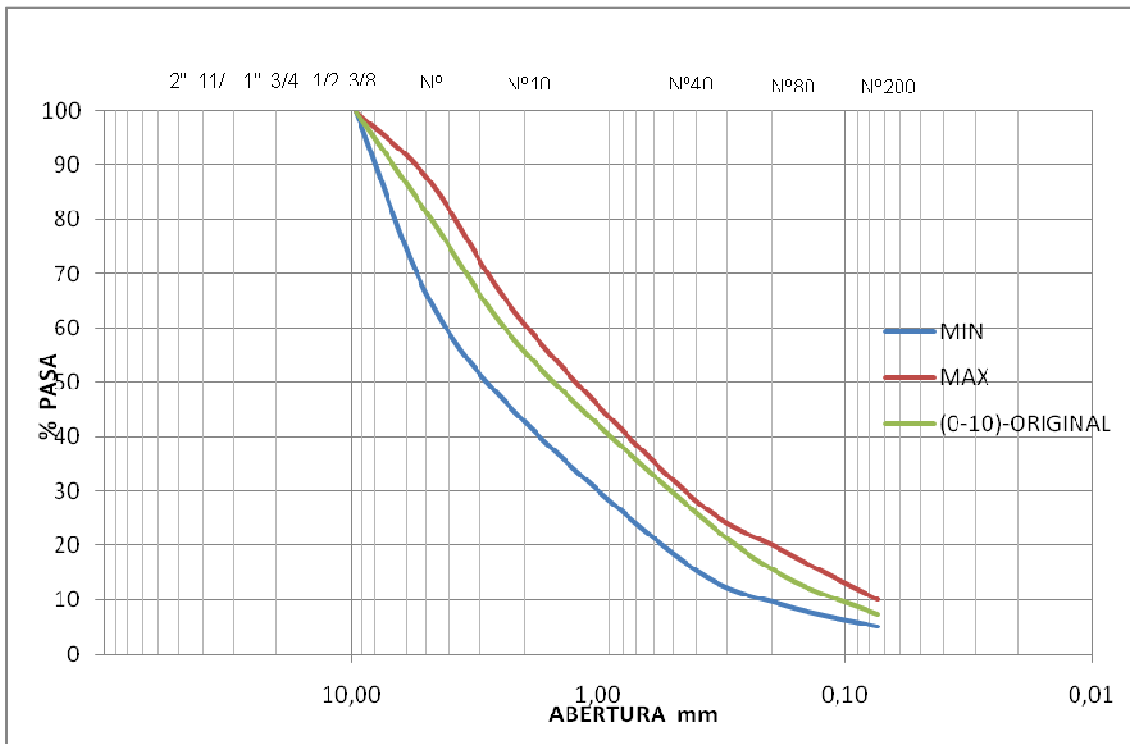
**Grafica 2.1.** Curva Granulométrica (0-25).



**Grafica 2.2.** Curva Granulométrica (0-19).



**Grafica 2.3.** Curva Granulométrica (0-10).



**Fotografía 2.3.** Proceso de la prueba de segregabilidad del agregado pétreo.



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo*

#### **2.4. EVALUACION DE SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El procedimiento que se llevó a cabo fue el de calentar el asfalto a una temperatura aproximadamente de 140° C y agregarlo en una proporción aproximadamente del 5%. Después de mezclar la muestra se extendió el material sobre la superficie, al igual que en la anterior prueba se conformó una capa aproximadamente de 8 cm de espesor. El material fue separado en una capa superior e inferior, donde cada una corresponde a la mitad del espesor (4 cm).

Luego se hace de nuevo la granulometría y se compara la variación del material de cada capa con respecto a la granulometría inicialmente establecida.

El procedimiento descrito anteriormente se efectúa para los tres tipos de muestra y por separado cada uno.

**Fotografía 2.4.** Proceso de la evaluación de segregabilidad de mezclas asfálticas.



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo*

#### **2.4.1. CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El objetivo de esta metodología es determinar cual mezcla es más o menos segregable. Los agregados obtenidos mediante este método se emplearan para el análisis granulométrico.

#### **2.4.2. DISEÑO Y FABRICACION DE PROBETAS**

Se compactaron tres probetas por cada tipo de granulometría, donde una corresponde a la capa superior, otra a la capa inferior y otra a la que se tiene originalmente, para así obtener los comportamientos y variaciones referentes a las distintas muestras de granulometrías.

##### **2.4.2.1. Metodología empleada para la fabricación de probetas**

La preparación de las probetas y ensayos de resistencia se realizó conforme a lo indicado en la norma INV E-748 “Resistencia de Mezclas Bituminosas” empleando la Prensa Marshall para la mezcla teórica.

Se compactaron 3 probetas tipo Marshall para cada una de las granulometrías establecidas (25 mm, 19 mm y 10 mm), con 5% de contenido de asfalto para cada probeta.

Se trabajó con una energía de 75 golpes por cara, según artículo 450.4.2., compactando la mezcla con martillo normalizado de 10 lb., y una temperatura de compactación sobre briquetas entre 124 y 128 °C.

Se determinó la variación de la densidad bulk, la estabilidad, los vacíos en agregados minerales, el flujo, los vacíos en la mezcla, la relación llenante/ligante y los vacíos llenos de asfalto para las diferentes probetas.

**Fotografía 2.5.** Proceso de compactación.

Calentamiento Asfalto y Agregados

Mezclado

Compactación



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo.*

**Fotografía 2.6.** Probetas tipo Marshall de granulometría (0-25).



(0-25)-SUP

(0-25)-INF

(0-25)-ORIGINAL



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo.*

**Fotografía 2.7.** Probetas tipo Marshall de granulometría (0-19).



(0-19)-SUP

(0-19)-INF

(0-19)-ORIGINAL



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo.*

**Fotografía 2.8.** Probetas tipo Marshall de granulometría (0-10).



(0-10)-SUP

(0-10)-INF

(0-10)-ORIGINAL



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo.*

## 2.5. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS PROBETAS

Los ensayos realizados en esta investigación están estandarizados por la norma de INVIAS 2007. Los ensayos son los siguientes:

- Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y con superficie seca I.N.V. E-733-07.
- Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos I.N.V. E-222-07.
- Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos I.N.V. E-223-07.
- Peso Específico Teórico Máximo (Gmm) de la mezcla asfáltica (Método Rice – I.N.V. E-735).

**Fotografía 2.9.** Equipo Rice.



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo.*

- Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas I.N.V. E-736-07.
- Estabilidad y Flujo I.N.V. E-748.

**Fotografía 2.10.** Equipo utilizado en la Estabilidad y Flujo.



*Fuente: Archivos personales Andrea Remolina y Andrés Fiallo.*

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD

Los resultados que a continuación se presentan son valores promedios obtenidos de las diferentes pruebas que se realizaron a las mezclas y probetas.

##### 3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO

###### 3.1.1.1. Nomenclatura

Cada prueba está identificada por tipo de muestra.

El tipo de muestra se representa mediante las siguientes iniciales:

- **(0-25)-ORIGINAL:** Granulometría (0-25) de la muestra original sin asfalto
- **(0-25)-SUP:** Granulometría (0-25) de la capa superior sin asfalto
- **(0-25)-INF:** Granulometría (0-25) de la capa inferior sin asfalto
- **(0-19)-ORIGINAL:** Granulometría (0-19) de la muestra original sin asfalto
- **(0-19)-SUP:** Granulometría (0-19) de la capa superior sin asfalto
- **(0-19)-INF:** Granulometría (0-19) de la capa inferior sin asfalto
- **(0-10)-ORIGINAL:** Granulometría (0-10) de la muestra original sin asfalto
- **(0-10)-SUP:** Granulometría (0-10) de la capa superior sin asfalto
- **(0-10)-INF:** Granulometría (0-10) de la capa inferior sin asfalto

###### 3.1.1.2. Cálculo del parámetro de segregabilidad.

Este parámetro de segregabilidad se propone para confrontar las variaciones de la homogenización de los diferentes tipos de muestras. El cálculo de dicho parámetro consiste en estimar una desviación estándar, la cual se calcula de la siguiente forma:

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}}$$

Donde,

$A_i$ : Valores originales

$B_i$ : Valores medidos

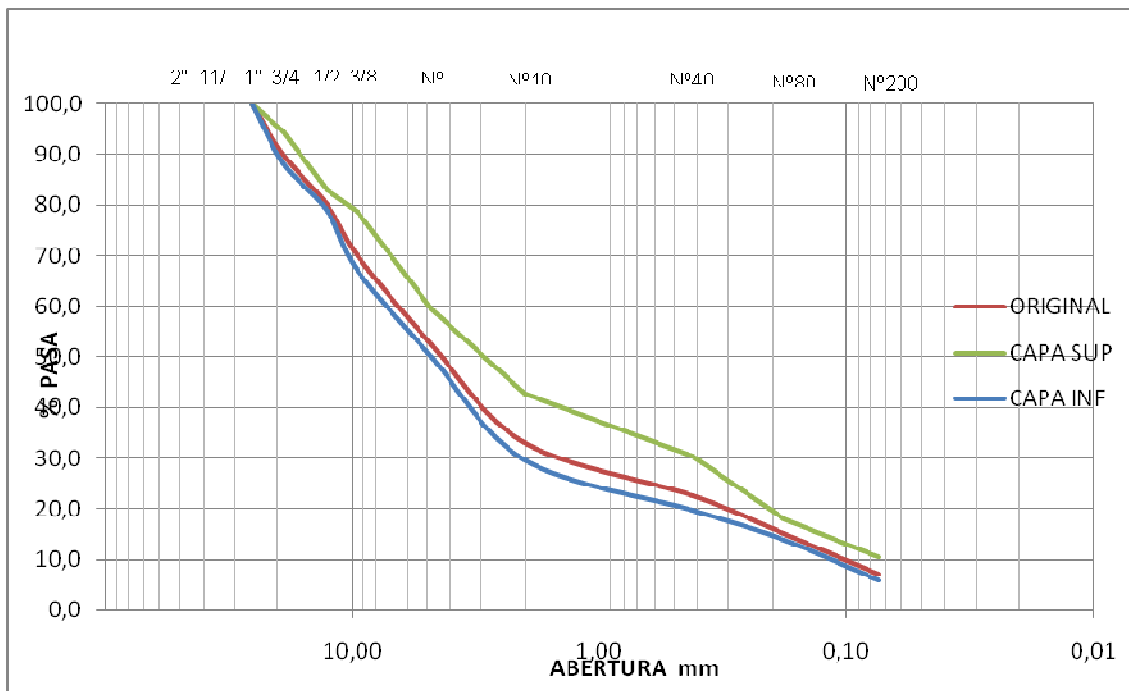
$N$ : Número de datos

A continuación se mostraran los parámetros de segregabilidad y las granulometrías obtenidas con sus respectivas gráficas:

**Tabla 3.1.** Parámetro de segregabilidad del agregado pétreo.

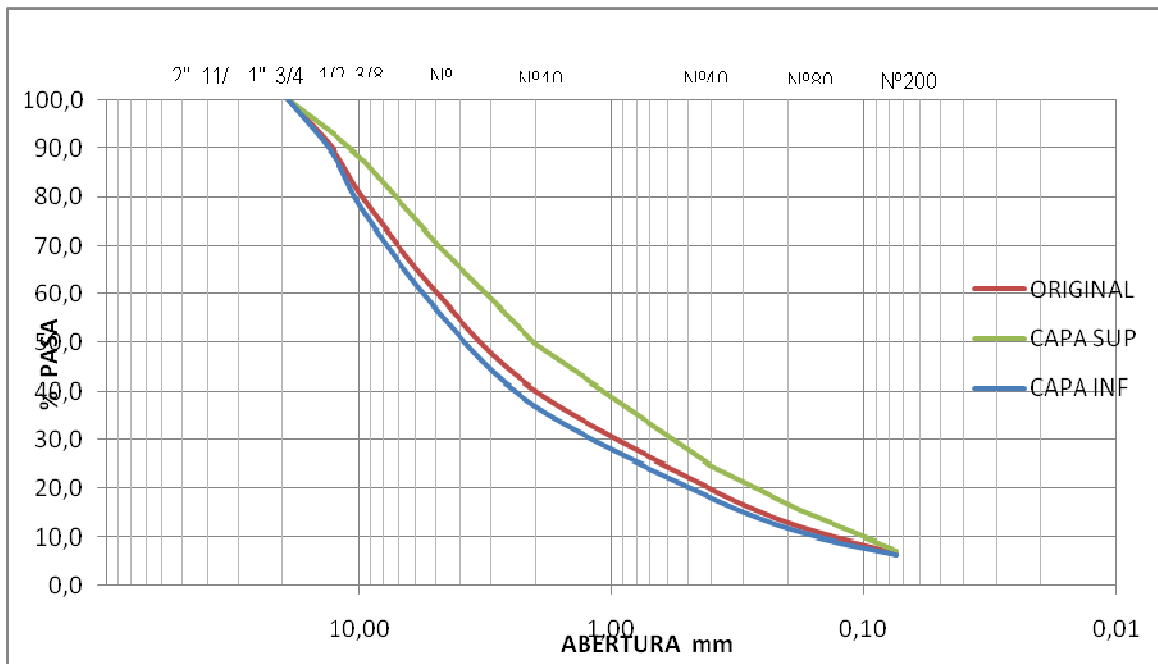
PARÁMETRO DE SEGREGABILIDAD	
(0-25)-SUP	6,04
(0-25)-INF	2,10
(0-19)-SUP	6,18
(0-19)-INF	2,17
(0-10)-SUP	2,35
(0-10)-INF	2,50

**Grafica 3.1.** Curva Granulométrica (0-25).



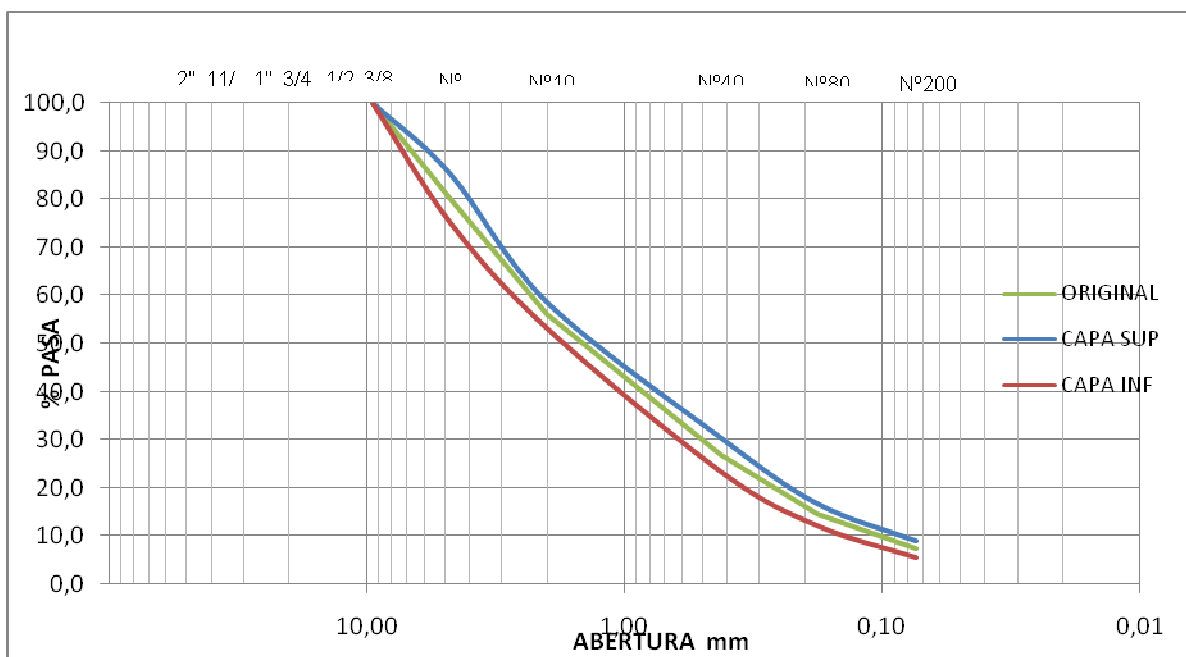
En esta gráfica se puede observar que la capa superior se aleja más de la original lo que indica que el factor de segregabilidad se hace mayor 2,876 veces. Por el contrario la capa inferior se acerca bastante a la granulometría original; obteniendo un parámetro de segregación de 6,04.

**Grafica 3.2.** Curva Granulométrica (0-19).



En esta gráfica se observa que la capa inferior se aleja poco y la grafica superior se aleja en una mayor proporción de la granulometría original, aunque la capa superior lo hace con un factor de segregabilidad de 2,845 veces más que la capa inferior, y además mostró el mayor parámetro de segregabilidad con 6,18. Siendo esta la muestra más segregable.

**Grafica 3.3.** Curva Granulométrica (0-10).



En esta gráfica se puede observar que la capa superior e inferior se alejan poco de la granulometría original; aunque la capa inferior lo hace en mayor proporción lo cual se refleja en el parámetro de segregabilidad siendo 1,06 veces mayor que el de la capa superior, donde ésta mostró un parámetro de segregabilidad de 2,35. Siendo la muestra menos segregable.

Al comparar las 3 gráficas anteriores; las pruebas de segregación del agregado pétreo, permiten concluir que la granulometría con tamaño máximo nominal de 19 mm es la más segregable y la que presenta menor segregabilidad corresponde a la de tamaño máximo nominal de 10 mm.

Ver anexos A. En los que se muestran el cálculo del parámetro de segregabilidad y las respectivas tablas de los cálculos realizados para la obtención de las gráficas.

### **3.1.2. CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

#### **3.1.2.1. Nomenclatura**

Cada prueba está identificada por tipo de muestra.

El tipo de muestra se representa mediante las siguientes iniciales:

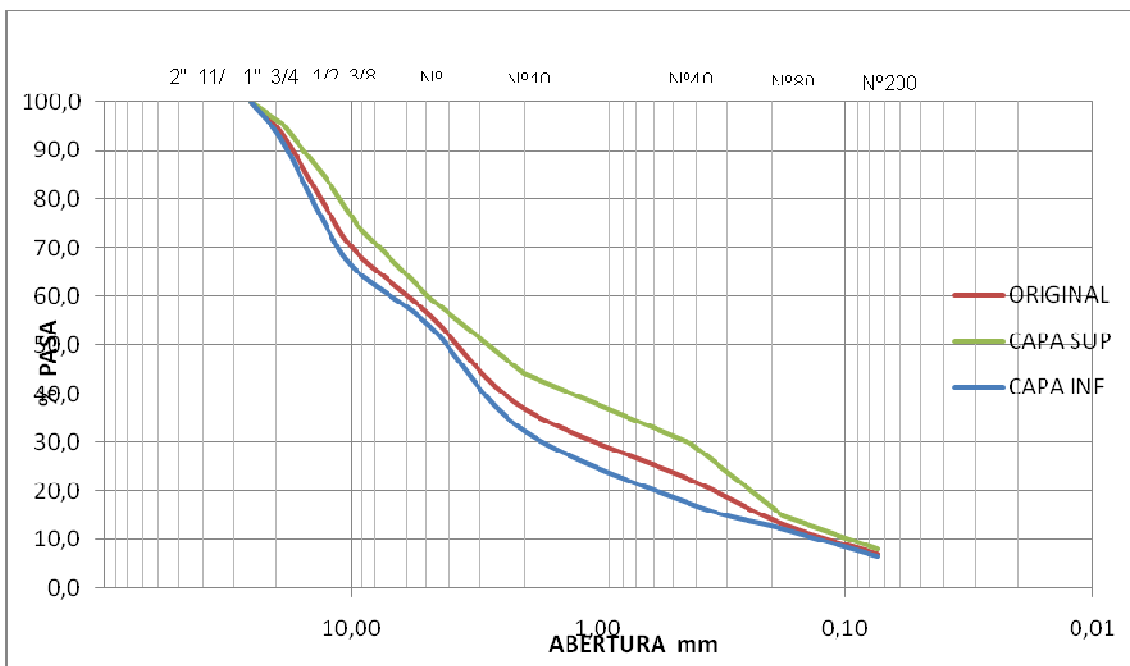
- **(0-25)-ORIGINAL:** Granulometría (0-25) de la muestra original con asfalto
- **(0-25)-SUP:** Granulometría (0-25) de la capa superior con asfalto
- **(0-25)-INF:** Granulometría (0-25) de la capa inferior
- **(0-19)-ORIGINAL:** Granulometría (0-19) de la muestra original con asfalto
- **(0-19)-SUP:** Granulometría (0-19) de la capa superior con asfalto
- **(0-19)-INF:** Granulometría (0-19) de la capa inferior con asfalto
- **(0-10)-ORIGINAL:** Granulometría (0-10) de la muestra original con asfalto
- **(0-10)-SUP:** Granulometría (0-10) de la capa superior con asfalto
- **(0-10)-INF:** Granulometría (0-10) de la capa inferior con asfalto

En las siguientes tablas se mostraran a continuación los datos después de realizada la extracción y sus respectivos parámetros de segregabilidad:

**Tabla 3.2.** Parámetro de segregabilidad de mezclas asfálticas.

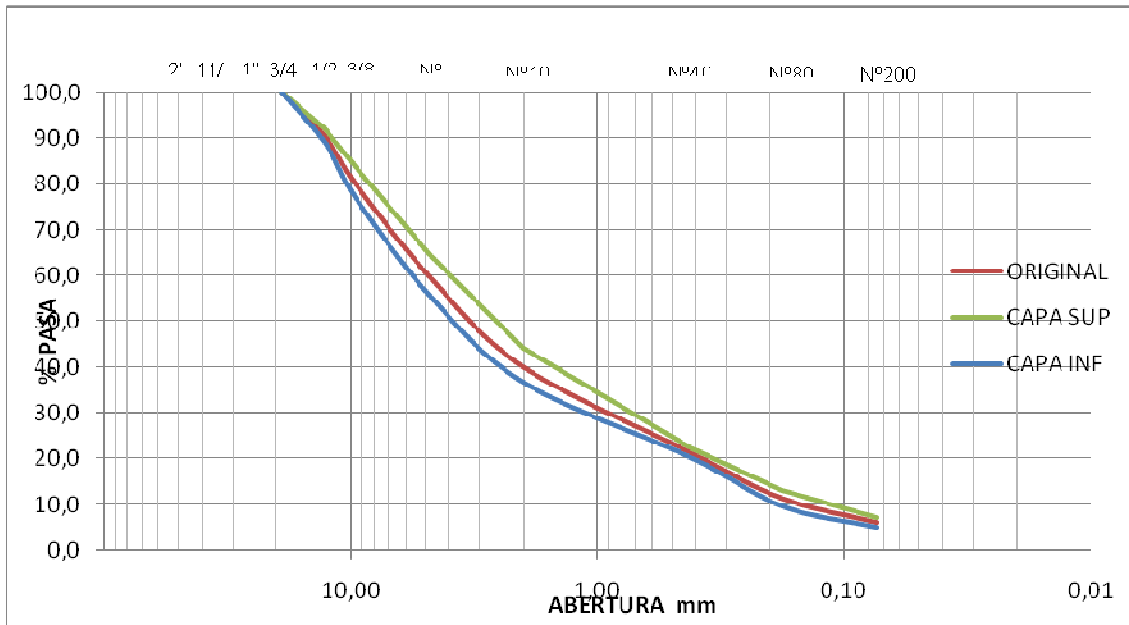
PARÁMETRO DE SEGREGABILIDAD	
(0-25)-SUP	4,59
(0-25)-INF	3,05
(0-19)-SUP	2,65
(0-19)-INF	2,16
(0-10)-SUP	1,82
(0-10)INF	2,00

**Grafica 3.4.** Curva Granulométrica (0-25).



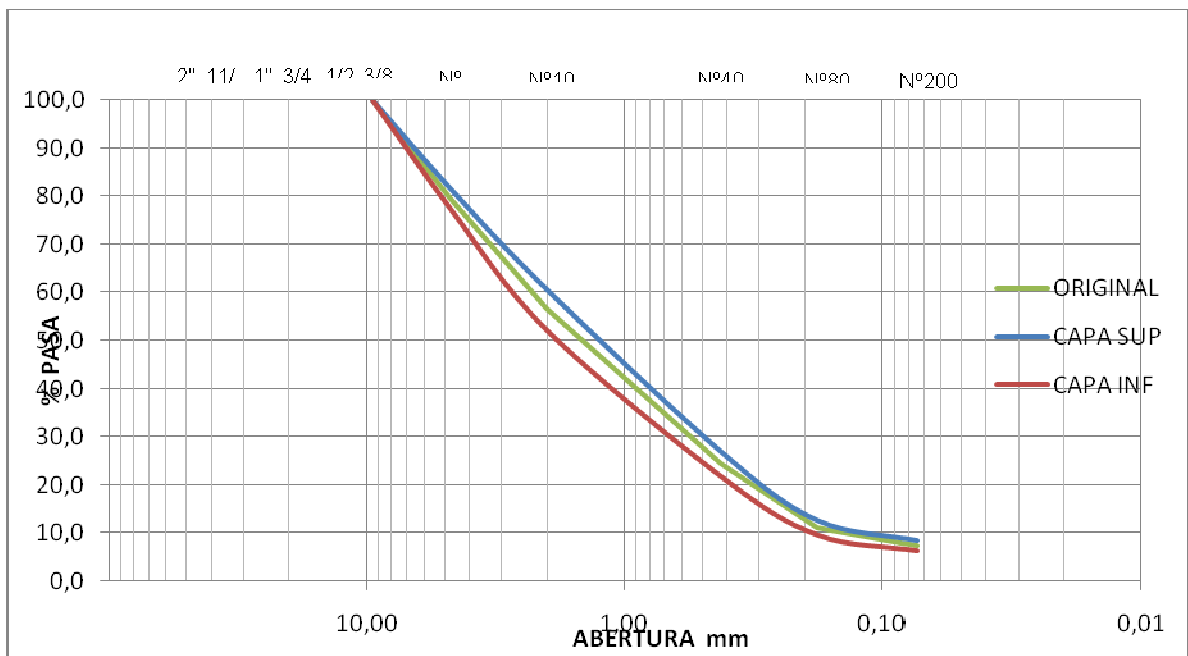
En la gráfica se puede observar que la capa superior tiene una gran concentración de material entre los tamices No 10 hasta el No 40. Siendo esta la muestra más segregable con respecto a las otras dos gráficas.

**Grafica 3.5.** Curva Granulométrica (0-19).



La gráfica nos muestra que las capa superior e inferior tienen un comportamiento similar, pero en la capa superior se observa un poco más alejada de la granulometría original.

**Grafica 3.6.** Curva Granulométrica (0-10).



En esta gráfica se observa que la capa inferior está más desfasada de la granulometría original, lo que indica que posee un mayor porcentaje de agregado grueso. Siendo la muestra menos segregable de los 3 tipos de granulometría.

Al comparar las 3 gráficas anteriores; las pruebas de segregación con asfalto al 5%, permiten concluir que la granulometría con tamaño máximo nominal de 25 mm es la más segregable y la que presenta menor segregabilidad corresponde a la de tamaño máximo nominal de 10 mm.

Ver anexos B. En los que se muestran el cálculo del parámetro de segregabilidad y las respectivas tablas de los cálculos realizados para la obtención de las gráficas.

## 3.2. CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS

### 3.2.1. Nomenclatura

Cada probeta está identificada por tipo de mezcla y porcentaje de asfalto.

El tipo de mezcla se representa mediante las siguientes iniciales:

- **(0-25)-ORIGINAL:** Granulometría (0-25) de la muestra Original
- **(0-25)-SUP:** Granulometría (0-25) Capa Superior
- **(0-25)-INF:** Granulometría (0-25) Capa Inferior
- **(0-19)-ORIGINAL:** Granulometría (0-19) de la muestra Original
- **(0-19)-SUP:** Granulometría (0-19) Capa Superior
- **(0-19)-INF:** Granulometría (0-19) Capa Inferior
- **(0-10)-ORIGINAL:** Granulometría (0-10) de la muestra Original
- **(0-10)-SUP:** Granulometría (0-10) Capa Superior
- **(0-10)-INF:** Granulometría (0-10) Capa Inferior

**Tabla 3.3.** % de Asfalto según el tipo de granulometría.

TIPO DE MEZCLA	% ASFALTO
(0-25)-ORIGINAL	5,0
(0-25)-SUP	5,1
(0-25)-INF	4,9
(0-19)-ORIGINAL	4,9
(0-19)-SUP	5,1
(0-19)-INF	4,8
(0-10)-ORIGINAL	5,0
(0-10)-SUP	5,1
(0-10)-INF	4,9

### 3.3. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS PROBETAS

#### 3.3.1. Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y con superficie seca.

**Tabla 3.4.** Valores Promedio de la Densidad

<b>Probetas</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
(0-25)-ORIGINAL	2,354
(0-25)-SUP	2,364
(0-25)-INF	2,342
(0-19)-ORIGINAL	2,361
(0-19)-SUP	2,385
(0-19)-INF	2,356
(0-10)-ORIGINAL	2,354
(0-10)-SUP	2,358
(0-10)-INF	2,332

#### 3.3.2. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos.

Los resultados obtenidos al calcular los pesos específicos Bulk, Bulk SSS, y Aparente, así como el porcentaje de absorción final de los materiales fue el siguiente:

Material que pasa el tamiz No. 4 (Finos):

	<b>(0-25)</b>	<b>(0-19) y (0-10)</b>
<b>Peso específico Bulk:</b>	2.634	2,634
<b>Peso específico Bulk SSS:</b>	2.657	2,658
<b>Peso específico Aparente:</b>	2.697	2,699
<b>Absorción (%):</b>	0.88	0,91

#### 3.3.3. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos.

Los resultados obtenidos al calcular los pesos específicos Bulk, Bulk SSS, y Aparente, así como el porcentaje de absorción final de los materiales fue el siguiente:

Material retenido en el tamiz No. 4 (Gruesos):

	<b>(0-25)</b>	<b>(0-19)</b>
<b>Peso específico Bulk:</b>	2.623	2.630
<b>Peso específico Bulk SSS:</b>	2.636	2.654
<b>Peso específico Aparente:</b>	2.657	2.694
<b>Absorción (%):</b>	0.50	0.91

✓ <b>Peso específico de los Agregados:</b>	<b>(0-25)</b>	<b>(0-19) y (0-10).</b>
	2.629 (g/cm <sup>3</sup> )	2,632 (g/cm <sup>3</sup> ).

### 3.3.4. Peso Específico Teórico Máximo (Gmm) de mezclas asfálticas (Método Rice I.N.V. E-735-07).

**Tabla 3.5.** Gravedad máxima medida para mezcla tipo (0-25).

<b>% ASF</b>	<b>Gmm</b>
5,0	2,458
5,1	2,454
4,9	2,459

**Tabla 3.6.** Gravedad máxima medida para mezcla tipo (0-19).

<b>% ASF</b>	<b>Gmm</b>
4,9	2,464
5,1	2,459
4,8	2,466

**Tabla 3.7.** Gravedad máxima medida para mezcla tipo (0-10).

<b>% ASF</b>	<b>Gmm</b>
5,0	2,446
5,1	2,443
4,9	2,448

### 3.3.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas.

**Tabla 3.8.** Porcentaje de vacíos con aire en la mezcla.

PROBETA	% ASFALTO	% VACIOS
(0-25)-ORIGINAL	5,0	4,23
(0-25)-SUP	5,1	3,67
(0-25)-INF	4,9	4,74
(0-19)-ORIGINAL	4,9	4,18
(0-19)-SUP	5,1	3,02
(0-19)-INF	4,8	4,44
(0-10)-ORIGINAL	5,0	5,07
(0-10)-SUP	5,1	3,93
(0-10)-INF	4,9	5,17

**Tabla 3.9.** Porcentaje de vacíos en los agregados.

PROBETA	% ASFALTO	%VMA	%VFA
(0-25)-ORIGINAL	5,0	14,89	71,58
(0-25)-SUP	5,1	14,65	74,97
(0-25)-INF	4,9	15,22	64,84
(0-19)-ORIGINAL	4,9	14,70	71,55
(0-19)-SUP	5,1	14,03	78,46
(0-19)-INF	4,8	14,72	69,82
(0-10)-ORIGINAL	5,0	16,29	68,72
(0-10)-SUP	5,1	16,12	70,80
(0-10)-INF	4,9	16,30	67,72

### 3.3.6. Estabilidad y Flujo.

**Tabla 3.10.** Valores obtenidos de estabilidad y flujo.

Probeta	Asfalto (%)	ESTABILIDAD			Flujo (mm)
		Estabilidad Medida (KN)	Estabilidad <sub>corr</sub> (Kgf)	Factor Corrección	
(0-25)-ORIGINAL	5,0	11,41	1191	1,024	3,31
(0-25)-SUP	5,1	11,18	1164	1,021	3,37
(0-25)-INF	4,9	11,37	1206	1,040	3,29
(0-19)-ORIGINAL	4,9	13,05	1367	1,027	3,17
(0-19)-SUP	5,1	13,01	1369	1,032	3,33
(0-19)-INF	4,8	13,11	1334	0,998	3,26

(0-10)-ORIGINAL	5,0	11,00	1154	1,029	3,23
(0-10)-SUP	5,1	11,53	1194	1,016	3,28
(0-10)-INF	4,9	11,15	1152	1,013	3,35

#### 4. RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este proceso investigativo se logró establecer las siguientes recomendaciones para proyectos futuros:

- Para obtener resultados más favorables en los ensayos realizados de granulometría se recomienda el buen lavado y secado del material pétreo antes de iniciar el laboratorio.
- Se recomienda mezclar bien las muestras antes de ser extendidas en la superficie para obtener así una mayor homogenización en las mezclas.
- Se recomienda realizar una buena granulometría y tamizado de las mezclas para evitar la insuficiencia de finos.
- Se recomienda continuar con estudios de segregabilidad con diferentes granulometrías para evaluar comportamientos de segregación.
- Adquirir nuevos equipos para complementar los ensayos que se realizan en el laboratorio ya que estos son los que nos permiten evaluar y analizar las propiedades y comportamiento de las muestras con mayor precisión.

## 5. CONCLUSIONES

En la caracterización de segregabilidad del agregado pétreo y de segregabilidad de mezclas asfálticas, se obtuvo que las granulometrías con tamaño máximo nominal de 10 mm presentaron los menores parámetros de segregabilidad. Los otros tamaños máximos nominales de 19 mm y 25 mm presentaron los mayores parámetros de segregabilidad.

Cuando se utilizó el contenido de vacíos para establecer la segregabilidad, las mezclas en el tamaño máximo nominal de 10 mm fueron también las de menor segregabilidad.

Según los resultados no se estableció diferencia significativa en la densidad de las mezclas más segregables. Este parámetro no se considera apropiado para establecer la segregabilidad de mezclas.

Con base en los resultados obtenidos la granulometría se puede afirmar que la fracción que más se segrega al extender la mezcla, es la que corresponde a las gravas gruesas.

## BIBLIOGRAFÍA

AVELLANEDA, William Miguel. CONTROL DE CALIDAD EN MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

MONTEJO, Alfonso. INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Libro. Universidad Católica de Colombia. Santa Fe de Bogotá, 1998.

GUTIERREZ ANGEL, Iván. INTRODUCCION A LOS PAVIMENTOS. Libro. Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellin, 1998.

RICO RODRIGUEZ, Alfonso. LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES: CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS. Libro. Noriega Editores, Limusa. México. 1996.

M.STROUP-GARDINER E.R. BROWN. SEGREGATION IN HOT-MIX ASPHALT PAVEMENTS. National Academy Press, Washington, D.C. 2000

RONALD CHRISTOPHER WILLIAMS. MEASUREMENT AND EFFECTS OF SEGREGATED HOT MIX ASPHALT PAVEMENT

JACK E. STEPHEN, JAMES MAHONEY AND CORY DIPPOLD. DEVELOPMENT OF A TEST TO MEASURE THE TENDENCY FOR A HOT-MIX ASPHALT TO SEGREGATE, February 2000

### **Páginas de internet:**

<http://www.amaac.org.mx/segregacion.pdf>

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/14/34065-14.pdf>

<http://www.asefma.com.es/doc/20050608/CONF%20-%20Panoramica%20espanola%20MB.doc>

<http://www.mop.gob.sv/archivo/uidv/documentos/pavimentos/2agregad.pdf>

[http://columbus.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/282/1/mi\\_919.pdf](http://columbus.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/282/1/mi_919.pdf)

<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/142/3589/236>

<http://www.asopac.com/Cartilla/cartilla.pdf>

**ANEXO A: CARACTERIZACION DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO  
PETREO**

**Anexo A.1. Granulometría de la muestra (0-25)-ORIGINAL.**

<b>P2=</b> 18600		<b>P1=</b> 20000	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>
1	100,0	0,0	0
3/4	90,0	10,0	2000
1/2	80,0	10,0	2000
3/8	70,0	10,0	2000
Nº4	52,5	17,5	3500
Nº10	33,0	19,5	3900
Nº40	22,5	10,5	2100
Nº80	15,0	7,5	1500
Nº200	7,0	8,0	1600
FONDO		7,0	1400

**Anexo A.2. Granulometría de la muestra (0-25)-SUP.**

<b>P2=</b> 4610 g		<b>P1=</b> 5155 g	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>
1	100,0	0,0	0
3/4	94,6	5,4	280
1/2	83,0	11,5	595
3/8	78,6	4,5	230
Nº4	59,4	19,2	990
Nº10	42,8	16,6	855
Nº40	30,3	12,5	645
Nº80	18,0	12,2	630
Nº200	10,6	7,5	385
FONDO		10,6	545

**Anexo A.3. Granulometría de la muestra (0-25)-INF.**

<b>P2=</b> 13990 g		<b>P1=</b> 14845 g	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>
1	100,0	0,0	0
3/4	88,4	11,6	1720
1/2	78,9	9,5	1405
3/8	67,0	11,9	1770
Nº4	50,1	16,9	2510
Nº10	29,6	20,5	3045
Nº40	19,8	9,8	1455

Nº80	13,9	5,9	870
Nº200	5,8	8,2	1215
FONDO		5,8	855

**Anexo A.4. Granulometría de la muestra (0-19)-ORIGINAL.**

<b>P1=</b> 19785 g		<b>P2=</b> 18485 g	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>
3/4	100,0	0,0	0
1/2	89,7	10,3	2040
3/8	79,3	10,4	2055
Nº4	59,4	19,9	3930
Nº10	40,2	19,3	3810
Nº40	20,2	20,0	3950
Nº80	12,1	8,1	1600
Nº200	6,6	5,6	1100
FONDO		6,6	1300

**Anexo A.5. Granulometría de la muestra (0-19)-SUP.**

<b>P2=</b> 4775 g		<b>P1=</b> 5145 g	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>
3/4	100,0	0,0	0
1/2	92,9	7,1	365
3/8	87,2	5,7	295
Nº4	69,7	17,5	900
Nº10	49,8	19,9	1025
Nº40	25,2	24,6	1265
Nº80	15,5	9,6	495
Nº200	7,2	8,4	430
FONDO		7,2	370

**Anexo A.6. Granulometría de la muestra (0-19)-INF.**

<b>P2=</b> 13710		<b>P1=</b> 14640	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>
3/4	100,0	0,0	0
1/2	88,6	11,4	1675
3/8	76,5	12,0	1760
Nº4	55,8	20,7	3030
Nº10	36,8	19,0	2785

Nº40	18,5	18,3	2685
Nº80	10,9	7,5	1105
Nº200	6,4	4,6	670
FONDO		6,4	930

**Anexo A.7. Granulometría de la muestra (0-10)-ORIGINAL.**

P2= 10000 g		P1= 10000 g	
TAMIZ (in)	%PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8	100,0	0,0	0
Nº4	80,4	19,6	1929,522
Nº10	56,0	24,4	2402,058
Nº40	26,9	29,1	2864,7495
Nº80	14,5	12,4	1220,718
Nº200	7,4	7,1	698,9595
FONDO		7,4	728,493

**Anexo A.8. Granulometría de la muestra (0-10)-SUP.**

P2= 5055 g		P1= 5055 g	
TAMIZ (in)	%PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8	100,0	0,0	0
Nº4	85,3	14,7	743,085
Nº10	58,6	26,7	1349,685
Nº40	30,3	28,3	1430,565
Nº80	16,7	13,6	687,48
Nº200	9,0	7,7	389,235
FONDO		9,0	454,95

**Anexo A.9. Granulometría de la muestra (0-10)-INF.**

P2= 4790 g		P1= 4790 g	
TAMIZ (in)	%PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8	100,0	0,0	0
Nº4	75,2	24,8	1187,796
Nº10	53,2	22,0	1053,69
Nº40	23,3	29,9	1432,0605
Nº80	12,2	11,1	531,6345
Nº200	5,6	6,6	316,107

FONDO		5,6	268,212
-------	--	-----	---------

**Anexo A.10.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-25)-SUP.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (90-94,6)^2 + (80-83,0)^2 + (70-78,6)^2 + (52,5-59,4)^2 + (33-42,8)^2 + (22,5-30,3)^2 + (15-18)^2 + (7-10,6)^2}{9}} = 6,04$$

**Anexo A.11.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-25)-INF.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (90-88,4)^2 + (80-78,9)^2 + (70-67)^2 + (52,5-50,1)^2 + (33-29,6)^2 + (22,5-19,8)^2 + (15,0-13,9)^2 + (7-5,8)^2}{9}} = 2,10$$

**Anexo A.12.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-19)-SUP.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (89,7-92,9)^2 + (79,3-87,2)^2 + (59,4-69,7)^2 + (40,2-49,8)^2 + (20,2-25,2)^2 + (12,1-15,5)^2 + (6,6-7,2)^2}{8}} = 6,18$$

**Anexo A.13.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-19)-INF.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (89,7-88,6)^2 + (79,3-76,5)^2 + (59,4-55,8)^2 + (40,2-36,8)^2 + (20,2-18,5)^2 + (12,1-10,9)^2 + (6,6-6,4)^2}{8}} = 2,17$$

**Anexo A.14.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-10)-SUP.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (80,4-85,3)^2 + (56-58,6)^2 + (26,9-30,3)^2 + (14,5-16,7)^2 + (7,4-9)^2}{6}} = 2,35$$

**Anexo A.15.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-10)-INF.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (80,4-75,2)^2 + (56-53,2)^2 + (26,9-23,3)^2 + (14,5-12,2)^2 + (7,4-5,6)^2}{6}} = 2,50$$

**ANEXO B: CARACTERIZACION DE SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS  
ASFALTICAS**

**Anexo B.1. Extracción y granulometría de la muestra (0-25)-ORIGINAL.**

<b>EXTRACCIÓN</b>				
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>	
<b>Peso inicial:</b>	18919,90		143,0	
<b>Peso final:</b>	17967,50		159,7	
<b>Diferencia:</b>	935,70		16,7	
<b>% Asfalto:</b>	4,95			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	4,95			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	16694,9 g	<b>P1=</b>	17967,5 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
1	100,0	0,0	0,0	100
3/4	93,5	6,5	1166,1	80- 100
1/2	78,5	15,0	2689,5	67 - 85
3/8	69,1	9,4	1690,8	60 - 77
Nº4	56,0	13,1	2356,1	43 - 59
Nº10	37,1	19,0	3405,8	29 - 45
Nº40	22,3	14,8	2651,7	14 -25
Nº80	13,2	9,1	1638,8 g	8 - 17
Nº200	7,1	6,1	1096,1	4 - 8
FONDO		7,1	1272,6	

**Anexo B.2. Extracción y granulometría de la muestra (0-25)-SUP.**

<b>EXTRACCIÓN</b>				
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>	
<b>Peso inicial:</b>	7568,00		42,9	
<b>Peso final:</b>	7178,50		47,7	
<b>Diferencia:</b>	384,70		4,8	
<b>% Asfalto:</b>	5,1			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	5,1			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	6607,1 g	<b>P1=</b>	7178,5 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
1	100,0	0,0	0,0	100
3/4	95,7	4,3	312,1	80- 100
1/2	84,3	11,3	813,2	67 - 85
3/8	74,8	9,5	685,4	60 - 77
Nº4	59,4	15,3	1100,2	43 - 59

Nº10	44,1	15,4	1105,4	29 - 45
Nº40	29,8	14,3	1023,4	14 -25
Nº80	14,7	15,1	1083,2	8 - 17
Nº200	8,0	6,7	484,2	4 - 8
FONDO		8,0	571,4	

**Anexo B.3.** Extracción y granulometría de la muestra **(0-25)-INF.**

<b>EXTRACCIÓN</b>				
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>	
<b>Peso inicial:</b>	11351,90		100,1	
<b>Peso final:</b>	10789,00		112,0	
<b>Diferencia:</b>	551,00		11,9	
<b>% Asfalto:</b>	4,9			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	4,9			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	10087,8 g	<b>P1=</b>	10789 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
1	100,0	0,0	0,0	100
3/4	92,1	7,9	854,0	80- 100
1/2	74,7	17,4	1876,3	67 - 85
3/8	65,4	9,3	1005,4	60 - 77
Nº4	53,7	11,6	1255,9	43 - 59
Nº10	32,4	21,3	2300,4	29 - 45
Nº40	17,3	15,1	1628,3	14 -25
Nº80	12,2	5,1	555,6	8 - 17
Nº200	6,5	5,7	611,9	4 - 8
FONDO		6,5	701,2	

**Anexo B.4.** Extracción y granulometría de la muestra **(0-19)-ORIGINAL.**

<b>EXTRACCIÓN</b>				
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>	
<b>Peso inicial:</b>	19737,8		157,3	
<b>Peso final:</b>	18750,1		175,3	
<b>Diferencia:</b>	969,7		18,0	
<b>% Asfalto:</b>	4,9			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	4,91			

<b>GRADACIÓN</b>						
<b>P2=</b>		17608,2 g	<b>P1=</b>		18750,1 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>		<b>%PASA</b>	
3/4	100,0	0,0	0,0		100	
1/2	90,3	9,7	1826,9		80 - 100	
3/8	79,8	10,4	1952,4		70 - 88	
Nº4	59,6	20,3	3799,1		49 - 65	
Nº10	40,0	19,6	3668,5		29 - 45	
Nº40	21,3	18,7	3502,7		14 - 25	
Nº80	11,3	10,0	1878,8		8 - 17	
Nº200	6,1	5,2	979,7		4 - 8	
FONDO		6,1	1141,9			

**Anexo B.5.** Extracción y granulometría de la muestra (0-19)-SUP.

<b>EXTRACCIÓN</b>						
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>			
<b>Peso inicial:</b>	8882,0		71,5			
<b>Peso final:</b>	8418,9		80,5			
<b>Diferencia:</b>	454,1		9,0			
<b>% Asfalto:</b>	5,1					
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	5,1					
<b>GRADACIÓN</b>						
<b>P2=</b>		7811,2 g	<b>P1=</b>		8418,9 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>		<b>%PASA</b>	
3/4	100,0	0,0	0,0		100	
1/2	92,0	8,0	676,5		80 - 100	
3/8	83,5	8,4	709,4		70 - 88	
Nº4	64,5	19,0	1600,4		49 - 65	
Nº10	44,0	20,5	1728,8		29 - 45	
Nº40	22,5	21,5	1812,3		14 - 25	
Nº80	13,2	9,2	778,5		8 - 17	
Nº200	7,2	6,0	505,4		4 - 8	
FONDO		7,2	607,7			

**Anexo B.6.** Extracción y granulometría de la muestra (0-19)-INF.

<b>EXTRACCIÓN</b>		
<b>PRUEBA No 1</b>		<b>FILTRO No.1</b>
<b>Peso inicial:</b>	10855,8	85,8
<b>Peso final:</b>	10331,2	94,8

<b>Diferencia:</b>	515,6	9,0		
<b>% Asfalto:</b>	4,7			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	4,75			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	9796,9 g	<b>P1=</b>	10331,2 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
3/4	100	0,0	0,0	100
1/2	88,9	11,1	1150,4	80 - 100
3/8	76,8	12,0	1243,0	70 - 88
Nº4	55,6	21,3	2198,7	49 - 65
Nº10	36,8	18,8	1939,8	29 - 45
Nº40	20,4	16,4	1690,5	14 - 25
Nº80	9,8	10,7	1100,3	8 - 17
Nº200	5,2	4,6	474,3	4 - 8
FONDO		5,2	534,3	

**Anexo B.7.** Extracción y granulometría de la muestra **(0-10)-ORIGINAL.**

<b>EXTRACCIÓN</b>				
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>	
<b>Peso inicial:</b>	9135,0		85,8	
<b>Peso final:</b>	8666,4		96,6	
<b>Diferencia:</b>	457,8		10,8	
<b>% Asfalto:</b>	5,00			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	4,95			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	16880,3 g	<b>P1=</b>	18039,6 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
3/8	100,0	0,0	0,0	60 - 77
Nº4	79,7	20,3	1759,4	43 - 59
Nº10	56,6	23,1	2006,0	29 - 45
Nº40	24,3	32,2	2794,4	14 - 25
Nº80	11,1	13,2	1143,9	8 - 17
Nº200	7,3	3,8	326,8	4 - 8
FONDO		6,4	635,8	

**Anexo B.8.** Extracción y granulometría de la muestra **(0-10)-SUP.**

<b>EXTRACCIÓN</b>		
<b>PRUEBA No 1</b>		<b>FILTRO No.1</b>
<b>Peso inicial:</b>	4784,6	42,9

<b>Peso final:</b>	4536,4	47,7		
<b>Diferencia:</b>	243,4	4,8		
<b>% Asfalto:</b>	5,10			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	5,10			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	7640,4 g	<b>P1=</b> 8099,2 g	<b>NORMA</b>	
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
3/8	100,0	0,0	0,0	60 - 77
Nº4	81,7	18,3	830,0	43 - 59
Nº10	60,6	21,1	957,0	29 - 45
Nº40	26,8	33,8	1534,8	14 - 25
Nº80	12,6	14,2	644,2	8 - 17
Nº200	8,4	4,2	190,5	4 - 8
FONDO		8,4	379,0	

**Anexo B.9.** Extracción y granulometría de la muestra **(0-10)-INF.**

<b>EXTRACCIÓN</b>				
<b>PRUEBA No 1</b>			<b>FILTRO No.1</b>	
<b>Peso inicial:</b>	4350,4		42,9	
<b>Peso final:</b>	4130,0		48,9	
<b>Diferencia:</b>	214,4		6,0	
<b>% Asfalto:</b>	4,9			
<b>% ASFALTO PROMEDIO:</b>	4,9			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2=</b>	9239,9 g	<b>P1=</b>	9940,4 g	<b>NORMA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>%PASA</b>
3/8	100,0	0,0	0,0	60 - 77
Nº4	77,5	22,5	929,3	43 - 59
Nº10	52,1	25,4	1049,0	29 - 45
Nº40	21,6	30,5	1259,7	14 - 25
Nº80	9,5	12,1	499,7	8 - 17
Nº200	6,2	3,3	136,3	4 - 8
FONDO		6,2	256,1	

**Anexo B.10.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-25)-SUP.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (93,5-95,7)^2 + (78,5-84,3)^2 + (69,1-74,8)^2 + (55-59,4)^2 + (37,1-44,1)^2 + (22,3-29,8)^2 + (13,2-14,7)^2 + (7,1-8)^2}{9}} = 4,59$$

**Anexo B.11.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-25)-INF.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (93,5-92,1)^2 + (78,5-74,7)^2 + (69,1-65,4)^2 + (55-53,7)^2 + (37,1-32,4)^2 + (22,3-17,3)^2 + (13,2-12,2)^2 + (7,1-6,5)^2}{9}} = 3,05$$

**Anexo B.12.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-19)-SUP.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (90,3-92)^2 + (79,8-83,5)^2 + (59,6-64,5)^2 + (40-44)^2 + (21,3-22,5)^2 + (11,3-13,2)^2 + (6,1-7,2)^2}{8}} = 2,65$$

**Anexo B.13.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-19)-INF.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (90,3-88,9)^2 + (79,8-76,8)^2 + (59,6-55,6)^2 + (40-36,8)^2 + (21,3-20,4)^2 + (11,3-9,8)^2 + (6,1-5,2)^2}{8}} = 2,16$$

**Anexo B.14.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-10)-SUP.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (79,7-81,7)^2 + (56,6-60,6)^2 + (24,3-26,8)^2 + (11,1-12,6)^2 + (7,3-8,4)^2}{6}} = 1,82$$

**Anexo B.15.** Cálculo del parámetro de segregabilidad de la muestra **(0-10)-INF.**

$$\delta_d = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{(100-100)^2 + (79,7-77,5)^2 + (56,6-52,1)^2 + (24,3-21,6)^2 + (11,1-9,5)^2 + (7,3-6,2)^2}{6}} = 2,00$$

## **ANEXO C: CARACTERIZACION DE PROBETAS**

**Anexo C.1. Granulometría de la muestra (0-25)-ORIGINAL.**

FORMULA DE TRABAJO			% RETENIDOS		
			TAMIZ		% RETENIDO
TAMIZ (in)	% PASA	NORMA	PASA	RETIENE	
1	100,0	100	1	3/4	6,5
3/4	93,5	100	3/4	1/2	15,0
1/2	78,5	100	1/2	3/8	9,4
3/8	69,1	100	3/8	Nº4	13,1
Nº4	56,0	65 - 87	Nº4	Nº10	19,0
Nº10	37,1	43 - 61	Nº10	Nº40	14,8
Nº40	22,3	16 - 29	Nº40	Nº80	9,1
Nº80	13,2	9 - 19	Nº80	Nº200	6,1
Nº200	7,1	5 - 10	Nº200	FDO.	7,1
TOTAL					100,0

**Anexo C.2. Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.**

MEZCLA Nº 1		
TAMIZ	%	PESO (g)
1 - 3/4	6,2	74,0
3/4 - 1/2	14,2	170,7
1/2 - 3/8	8,9	107,3
3/8 - Nº4	12,5	149,6
Nº4 - Nº10	18,0	216,2
Nº10 - Nº40	14,0	168,3
Nº40 - Nº80	8,7	104,0
Nº80 - Nº200	5,8	69,6
Nº200 - FDO	6,7	80,8
<b>ASFALTO</b>	5,0	59,4
<b>TOTAL</b>	100,0	1200,0

**Anexo C.3. Granulometría de la muestra (0-25)-SUP.**

FORMULA DE TRABAJO			% RETENIDOS		
			TAMIZ		% RETENIDO
TAMIZ	% PASA	NORMA	PASA	RETIENE	
1	100,0	100	1	3/4	4,3
3/4	95,7	80 - 100	3/4	1/2	11,3
1/2	84,3	67 - 85	1/2	3/8	9,5
3/8	74,8	60 - 77	3/8	Nº4	15,3
Nº4	59,4	43 - 59	Nº4	Nº10	15,4

Nº10	44,1	29 - 45	Nº10	Nº40	14,3
Nº40	29,8	14 - 25	Nº40	Nº80	15,1
Nº80	14,7	8 - 17	Nº80	Nº200	6,7
Nº200	8,0	4 - 8	Nº200	FDO.	8,0
TOTAL					100,0

**Anexo C.4.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

<b>MEZCLA Nº 1</b>		
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>%</b>	<b>PESO (gr.)</b>
1 - 3/4	4,1	49,5
3/4 - 1/2	10,8	129,0
1/2 - 3/8	9,1	108,8
3/8 - Nº4	14,5	174,6
Nº4 - Nº10	14,6	175,4
Nº10 - Nº40	13,5	162,4
Nº40 - Nº80	14,3	171,9
Nº80 - Nº200	6,4	76,8
Nº200 - FDO	7,6	90,7
<b>ASFALTO</b>	<b>5,1</b>	<b>61,0</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>1200,0</b>

**Anexo C.5.** Granulometría de la muestra (0-25)-INF.

<b>FORMULA DE TRABAJO</b>			<b>% RETENIDOS</b>		
			<b>TAMIZ</b>		<b>% RETENIDO</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>% PASA</b>	<b>NORMA</b>	<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	
1	100,0	100	1	3/4	7,9
3/4	92,1	80 - 100	3/4	1/2	17,4
1/2	74,7	67 - 85	1/2	3/8	9,3
3/8	65,4	60 - 77	3/8	Nº4	11,6
Nº4	53,7	43 - 59	Nº4	Nº10	21,3
Nº10	32,4	29 - 45	Nº10	Nº40	15,1
Nº40	17,3	14 - 25	Nº40	Nº80	5,1
Nº80	12,2	8 - 17	Nº80	Nº200	5,7
Nº200	6,5	4 - 8	Nº200	FDO.	6,5
TOTAL					100,0

**Anexo C.6.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

<b>MEZCLA N° 1</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>%</b>	<b>PESO (gr.)</b>
1 - 3/4	7,5	90,4
3/4 - 1/2	16,5	198,6
1/2 - 3/8	8,9	106,4
3/8 - N°4	11,1	132,9
N°4 - N°10	20,3	243,5
N°10 - N°40	14,4	172,3
N°40 - N°80	4,9	58,8
N°80 - N°200	5,4	64,8
N°200 - FDO	6,2	74,2
<b>ASFALTO</b>	<b>4,85</b>	<b>58,20</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>1200,00</b>

**Anexo C.7.** Granulometría de la muestra **(0-19)-ORIGINAL**.

<b>FORMULA DE TRABAJO</b>			<b>% RETENIDOS</b>		
			<b>TAMIZ</b>		<b>% RETENIDO</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>NORMA</b>	<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	
3/4	100,0	100	3/4	1/2	9,7
1/2	90,3	100	1/2	3/8	10,4
3/8	79,8	100	3/8	N°4	20,3
N°4	59,6	65 - 87	N°4	N°10	19,6
N°10	40,0	43 - 61	N°10	N°40	18,7
N°40	21,3	16 - 29	N°40	N°80	10,0
N°80	11,3	9 - 19	N°80	N°200	5,2
N°200	6,1	5 - 10	N°200	FDO.	6,1
<b>TOTAL</b>					<b>100,0</b>

**Anexo C.8.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

<b>MEZCLA N° 1</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>%</b>	<b>PESO (g)</b>
3/4 - 1/2	9,3	111,2
1/2 - 3/8	9,9	118,8
3/8 - N°4	19,3	231,2
N°4 - N°10	18,6	223,3
N°10 - N°40	17,8	213,2
N°40 - N°80	9,5	114,3
N°80 - N°200	5,0	59,6

Nº200 - FDO	5,8	69,5
<b>ASFALTO</b>	4,9	58,9
<b>TOTAL</b>	100,0	1200,0

**Anexo C.9.** Granulometría de la muestra **(0-19)-SUP.**

FORMULA DE TRABAJO			% RETENIDOS		
			TAMIZ		% RETENIDO
TAMIZ	% PASA	NORMA	PASA	RETIENE	
3/4	100,0	100	3/4	1/2	8,0
1/2	92,0	80 - 100	1/2	3/8	8,4
3/8	83,5	70 - 88	3/8	Nº4	19,0
Nº4	64,5	49 - 65	Nº4	Nº10	20,5
Nº10	44,0	29 - 45	Nº10	Nº40	21,5
Nº40	22,5	14 - 25	Nº40	Nº80	9,2
Nº80	13,2	8 - 17	Nº80	Nº200	6,0
Nº200	7,2	4 - 8	Nº200	FDO.	7,2
TOTAL					100,0

**Anexo C.10.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

MEZCLA Nº 1		
TAMIZ	%	PESO (gr.)
3/4 - 1/2	7,6	91,5
1/2 - 3/8	8,0	95,9
3/8 - Nº4	18,0	216,5
Nº4 - Nº10	19,5	233,8
Nº10 - Nº40	20,4	245,1
Nº40 - Nº80	8,8	105,3
Nº80 - Nº200	5,7	68,4
Nº200 - FDO	6,8	82,2
<b>ASFALTO</b>	<b>5,1</b>	<b>61,3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>1200,0</b>

**Anexo C.11.** Granulometría de la muestra **(0-19)-INF.**

FORMULA DE TRABAJO			% RETENIDOS		
			TAMIZ		% RETENIDO
TAMIZ	% PASA	NORMA	PASA	RETIENE	
3/4	92,1	80 - 100	3/4	1/2	17,4
1/2	74,7	67 - 85	1/2	3/8	9,3
3/8	65,4	60 - 77	3/8	Nº4	11,6

Nº4	53,7	43 - 59	Nº4	Nº10	21,3
Nº10	32,4	29 - 45	Nº10	Nº40	15,1
Nº40	17,3	14 - 25	Nº40	Nº80	5,1
Nº80	12,2	8 - 17	Nº80	Nº200	5,7
Nº200	6,5	4 - 8	Nº200	FDO.	6,5

**Anexo C.12.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

<b>MEZCLA Nº 1</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>%</b>	<b>PESO (gr.)</b>
3/4 - 1/2	10,61	127,28
1/2 - 3/8	11,46	137,52
3/8 - Nº4	20,27	243,25
Nº4 - Nº10	17,88	214,61
Nº10 - Nº40	15,59	187,02
Nº40 - Nº80	10,14	121,73
Nº80 - Nº200	4,37	52,47
Nº200 - FDO	4,93	59,11
<b>ASFALTO</b>	<b>4,8</b>	<b>57,0</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>1200,0</b>

**Anexo C.13.** Granulometría de la muestra **(0-10)-ORIGINAL**.

<b>FORMULA DE TRABAJO</b>			<b>% RETENIDOS</b>		
			<b>TAMIZ</b>		<b>% RETENIDO</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>NORMA</b>	<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	
3/8	100,0	100	3/8	Nº4	20,3
Nº4	79,7	65 - 87	Nº4	Nº10	23,1
Nº10	56,6	43 - 61	Nº10	Nº40	32,2
Nº40	24,3	16 - 29	Nº40	Nº80	13,2
Nº80	11,1	9 - 19	Nº80	Nº200	3,8
Nº200	7,3	5 - 10	Nº200	FDO.	7,3
<b>TOTAL</b>					<b>100,0</b>

**Anexo C.14.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

<b>MEZCLA Nº 1</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>%</b>	<b>PESO (g)</b>
3/8 - Nº4	19,3	231,2
Nº4 - Nº10	22,0	263,6
Nº10 - Nº40	30,6	367,2

Nº40 - Nº80	12,5	150,3
Nº80 - Nº200	3,6	42,9
Nº200 - FDO	7,0	83,6
<b>ASFALTO</b>	<b>5,1</b>	<b>61,1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>1200,0</b>

**Anexo C.15.** Granulometría de la muestra **(0-10)-SUP.**

FORMULA DE TRABAJO			% RETENIDOS		
			TAMIZ		% RETENIDO
TAMIZ	% PASA	NORMA	PASA	RETIENE	
3/8	100,0	100	3/8	Nº4	18,3
Nº4	81,7	65 - 87	Nº4	Nº10	21,1
Nº10	60,6	43 - 61	Nº10	Nº40	33,8
Nº40	26,8	16 - 29	Nº40	Nº80	14,2
Nº80	12,6	9 - 19	Nº80	Nº200	4,2
Nº200	8,4	5 - 10	Nº200	FDO.	8,4
			TOTAL		100,0

**Anexo C.16.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

MEZCLA Nº 1		
TAMIZ	%	PESO (gr.)
3/8 - Nº4	17,37	208,42
Nº4 - Nº10	20,02	240,26
Nº10 - Nº40	32,11	385,32
Nº40 - Nº80	13,48	161,73
Nº80 - Nº200	3,99	47,83
Nº200 - FDO	7,95	95,35
<b>ASFALTO</b>	<b>5,1</b>	<b>61,1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>1200,0</b>

**Anexo C.17.** Granulometría de la muestra **(0-10)-INF.**

FORMULA DE TRABAJO			% RETENIDOS		
			TAMIZ		% RETENIDO
TAMIZ (in)	% PASA	NORMA	PASA	RETIENE	
3/8	100	100	3/8	Nº4	22,5
Nº4	77,5	65 - 87	Nº4	Nº10	25,4
Nº10	52,1	43 - 61	Nº10	Nº40	30,5
Nº40	21,6	16 - 29	Nº40	Nº80	12,1

N°80	9,5	9 - 19	N°80	N°200	3,3
N°200	6,2	5 - 10	N°200	FDO.	6,2
TOTAL				100	

**Anexo C.18.** Porcentaje de agregado y asfalto para mezclar.

MEZCLA N° 1		
TAMIZ	%	PESO (gr.)
3/8 - N°4	21,4	256,4
N°4 - N°10	24,1	289,4
N°10 - N°40	29,0	347,5
N°40 - N°80	11,5	137,9
N°80 - N°200	3,1	37,6
N°200 - FDO	5,9	70,6
<b>ASFALTO</b>	5,1	60,6
<b>TOTAL</b>	100,0	1200,0

**Anexo C.19.** Gravedad especifica de los agregados finos de (0-25).

ARENA PASA No. 4							
Peso del material seco (g)	Peso matraz+ agua (g)	Peso matraz+arena+ agua (grs.)	Peso SSS (g)	Gravedad Especifica Bulk	Gravedad Especifica Bulk SSS	Gravedad Especifica Aparente	Absorción (%)
A	B	C	S	$A/(B+S-C)$	$S/(B+S-C)$	$A/(B+A-C)$	$(S-A)/A * 100$
495,30	676,10	988,00	500,00	2,633	2,658	2,701	0,95
496,00	676,10	987,90	500,00	2,635	2,657	2,693	0,81
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,634</b>	<b>2,657</b>	<b>2,697</b>	<b>0,88</b>

**Anexo C.20.** Gravedad especifica de los agregados finos de (0-19) y (0-10).

ARENA PASA No. 4							
Peso del material seco (g)	Peso matraz+ agua (g)	Peso matraz+arena+ agua (grs.)	Peso SSS (g)	Gravedad Especifica Bulk	Gravedad Especifica Bulk SSS	Gravedad Especifica Aparente	Absorción (%)
A	B	C	S	$A/(B+S-C)$	$S/(B+S-C)$	$A/(B+A-C)$	$(S-A)/A * 100$
495,80	676,10	988,10	500,00	2,637	2,660	2,697	0,85
495,20	676,10	987,90	500,00	2,631	2,657	2,700	0,97
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,634</b>	<b>2,658</b>	<b>2,699</b>	<b>0,91</b>

**Anexo C.21.** Gravedad específica de los agregados gruesos de (0-25).

RETIENE No. 4							
Peso del material seco (g)	Peso SSS (g)	Peso de la muestra en el agua (g)	Gravedad Especifica Bulk	Gravedad Especifica Bulk SSS.	Gravedad Especifica Aparente	Absorción (%)	I N V
A	B	C	A/(B - C)	B/(B - C)	A/(A - C)	(B - A)/A	E
2170,00	2181,20	1353,50	2,622	2,635	2,658	0,52	2
1975,60	1985,00	1232,10	2,624	2,636	2,657	0,48	2
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,623</b>	<b>2,636</b>	<b>2,657</b>	<b>0,50</b>	<b>3</b>

**Anexo C.22.** Gravedad específica de los agregados gruesos de (0-19).

RETIENE No. 4							
Peso del material seco (g)	Peso SSS (g)	Peso de la muestra en el agua (g)	Gravedad Especifica Bulk	Gravedad Especifica Bulk SSS.	Gravedad Especifica Aparente	Absorción (%)	I N V
A	B	C	A/(B - C)	B/(B - C)	A/(A - C)	(B - A)/A	E
2235,00	2256,00	1406,20	2,630	2,655	2,697	0,94	2
2046,80	2064,80	1286,40	2,629	2,653	2,692	0,88	2
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,630</b>	<b>2,654</b>	<b>2,694</b>	<b>0,91</b>	<b>3</b>

**Anexo C.23.** Gravedad máxima media para mezcla tipo (0-25).

% ASF	Peso del material aire (g)	W matraz+agua (g)	W matraz+muestra+agua (g)	Gmm
	A	B	C	
5,0	1399,2	6243,0	7073	<b>2,458</b>
5,1	2000,0	6243,0	7428	<b>2,454</b>
4,9	1350,0	6243,0	7044	<b>2,459</b>

**Anexo C.24.** Gravedad máxima media para mezcla tipo (0-19).

% ASF	Peso del material aire (g)	W matraz+agua (g)	W matraz+muestra+agua (g)	Gmm
	A	B	C	
4,9	1200,0	6,243,0	6956	<b>2,464</b>
5,1	1179,8	6243,0	6943	<b>2,459</b>
4,8	1187,6	6243,0	6949	<b>2,466</b>

**Anexo C.25.** Gravedad máxima media para mezcla tipo (0-10).

<b>% ASF</b>	<b>Peso del material aire (g)</b>	<b>W matraz+agua (g)</b>	<b>W matraz+muestra+agua (g)</b>	<b>Gmm</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
5,0	1449,7	6243,0	7100	<b>2,446</b>
5,1	1551,0	6243,0	7159,0	<b>2,443</b>
4,9	1450,5	6243,0	7101	<b>2,448</b>



