

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL MÉTODO BAILEY Y SU INFLUENCIA  
EN LA SEGREGACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE**

**GABRIEL ALEXIS PÉREZ GRANADOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2012**

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL MÉTODO BAILEY Y SU INFLUENCIA  
EN LA SEGREGACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE**

**GABRIEL ALEXIS PÉREZ GRANADOS**

**Trabajo de grado modalidad de investigación  
Para optar al título de:  
Ingeniero Civil**

**Director:  
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN  
Ingeniero Civil, M. Sc. Ph D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2012**

*A mis padres, mis esforzados sirgadores que no desfallecieron jamás y siempre me  
alentaron a mantenerme en boga a pesar de las vicisitudes y los contratiempos.*

*A mi tía, la indulgente de mis aventuras y la admiración a Clío.*

*A mi familia, la huella más profunda en el camino de mi agitado corazón.*

*Alexis Pérez Granados.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander por ampliar mis horizontes y conocimientos, mostrándome una realidad más palpable y legible.

Al Ingeniero Eduardo Castañeda por su guía, paciencia, orientación y dedicación en el desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Cristina, al Ing. Julio Rodríguez, y mis compañeros, por su colaboración y consejos.

A Laura, mi Desdémona.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN .....	16
1 MARCO TEÓRICO .....	17
1.1 SEGREGACIÓN .....	18
1.1.1 Segregación Granulométrica .....	18
1.1.2 Segregación Térmica .....	19
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS SEGREGADAS .....	20
1.2.1 Identificación Visual .....	20
1.2.2 Termografía de Infrarrojos .....	20
1.2.3 Medición de la Textura .....	21
1.2.3.1 Técnicas Volumétricas .....	22
1.2.4 Equipos de Medición Integral .....	22
1.2.4.1 Mediciones Láser de la Textura Superficial del Pavimento .....	23
1.2.4.2 GPR: Ground Penetration Radar .....	24
1.2.4.3 Analizadores Sísmicos de Pavimentos (SPA) .....	26
1.2.5 Perfiles De Densidad .....	26
1.2.6 Pruebas Destructivas: Extracción De Núcleos .....	28
1.3. EL MÉTODO BAILEY .....	29
1.3.1 Agregado Grueso y Fino .....	29
1.3.2 Análisis de los Tamices de control .....	31
1.3.3 Parámetros del Método Bailey .....	32
1.3.3.1 Proporción de los agregados gruesos (Proporción AG) .....	33
1.3.3.2 Proporción gruesa de los agregados finos (Proporción GAF) .....	35
1.3.3.3 Proporción Fina de los Agregados Finos (Proporción FAF) .....	36
2 METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	37
2.1 DESCRIPCIÓN .....	37
2.2 MATERIALES EMPLEADOS .....	39
2.2.1. Material Granular .....	39
2.2.1.1. Procedencia .....	40
2.2.1.2. Pruebas Realizadas .....	40
2.2.2 Asfalto de Refinería .....	40
2.3 EVALUACIÓN DE LA SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO .....	40
2.3.1 PRIMER GRUPO .....	41
2.3.1.1 Divisiones, Proporciones y Tamices de Control para el Primer Grupo. ....	42

2.3.2.2 Gráficas de las Granulometrías del Primer Grupo. ....	44
2.3.2 SEGUNDO GRUPO.....	47
2.3.2.1 Divisiones, Proporciones y Tamices de Control del Segundo Grupo.....	47
2.3.2.2 Gráficas de las granulometrías del Segundo Grupo. ....	48
2.4 EVALUACIÓN DE LA SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS. .	50
3. RESULTADOS.....	52
3.1. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SEGREGACIÓN.....	52
3.1.1. Nomenclatura de las mezclas. ....	52
3.1.2. Cálculo del Grado de Segregación. ....	53
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE SEGREGACIÓN EN LAS MEZCLAS SECAS Y ASFÁLTICAS. ....	53
3.2.1. Segregabilidad de las Mezclas Secas. ....	53
3.2.1.1 Gráficas Obtenidas de las Mezclas Secas y sus respectivas capas.....	54
3.2.1.2 Gráficas de las Relaciones entre los Parámetros del Método Bailey y su Grado de Segregación para las Mezclas Secas. ....	57
3.2.2 SEGREGABILIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS. ....	58
3.2.2.1 Gráficas Obtenidas de las Mezclas Asfálticas y sus respectivas capas.....	59
3.2.2.2 Gráficas de las Relaciones entre los Parámetros del Método Bailey y su Grado de Segregación para las Mezclas Asfálticas.....	62
3.3 ANÁLISIS POR MÍNIMOS CUADRADOS.....	63
3.4 ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LOS AGREGADOS.....	68
3.4.1 Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos. ....	68
3.4.2. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos. ....	68
3.4.3. Extracción del Bitumen de las Mezclas Asfálticas. ....	69
4. CONCLUSIONES .....	70
5. RECOMENDACIONES.....	72
6. BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	75

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1-1. Tamices de control del método Bailey.....	29
Tabla 1-2 Rangos sugeridos de las proporciones de los agregados para mezclas de gradación gruesa.....	31
Tabla 2-1 Rangos Recomendados de las proporciones de los agregados para mezclas gruesas y finas.....	34
Tabla 2-2 Valores Obtenidos Para Los Tamices de Control y las divisiones del agregado (primer grupo).....	40
Tabla 2-3 Valores Obtenidos Para los Tamices de Control y las Divisiones del Agregado (segundo grupo).....	45
Tabla 3-1 Significado de la nomenclatura para las mezclas secas y asfálticas...	50
Tabla 3-2 Parámetro de segregabilidad del agregado pétreo para las mezclas secas.....	52
Tabla 3-3 Parámetro de segregabilidad del agregado para las mezclas asfálticas.....	57
Tabla 3-4 Porcentaje de Asfalto presente en Cada Capa de las Mezclas Asfálticas.....	68

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág
Fotografía 1-1 Diferenciales de temperatura altos indican las irregularidades del firme.....	19
Fotografía 1-2 Una mayor homogeneidad de la temperatura y buena compactación proporcionan una alta regularidad de la superficie.....	19
Fotografía 1-3 Vehículo con montaje de GPR.....	23
Fotografía 1-4 (PSPA) y Medición de la dispersión de las ondas de superficie en las capas medias.....	24
Fotografía 1-5 Termografía y extracción de testigos.....	26
Fotografía 2-1. Colocación de la Mezcla en Obra.....	34
Fotografía 2-2 Simulación del Proceso de la Terminadora.....	35
Fotografía 2-3 Proceso de la Prueba de Segregación para el Agregado Pétreo...	38
Fotografía 2-4 Proceso de la prueba de segregación para las mezclas asfálticas.....	48.

66

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
Gráfica 2-1 Gráficas de las Granulometrías DMN 25 mm.....	42
Gráfica 2-2 Gráficas de las Granulometrías DMN 19 mm.....	43
Gráfica 2-3 Gráficas de las Granulometrías DMN 9,5 mm.....	44
Gráfica 2-4 Granulometrías DMN 25 mm.....	46
Gráfica 2-5 Granulometrías DMN 19 mm.....	47
Gráfica 2-6 Granulometrías DMN 9,5 mm.....	47

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1-1 Ensayo del círculo de arena.....	20
Figura 1-2 Obtención de la profundidad media del perfil (MPD).....	21
Figura 1-3 Montaje de los equipos de medición integral.....	22
Figura 1-4 Diseño del perfil de densidad para un área segregada.....	25
Figura 1-5. División entre agregado grueso y fino en una mezcla con DMN 19mm.....	28
Figura 1-6. Divisiones del agregado por medio de los tamices de control.....	29
Figura 1-7. Selección de la masa específica escogida para los agregados gruesos.....	30
Figura 2-1 Tamices de Control y Divisiones del Agregado.....	41
Figura 3-1 Gráficas de las Mezclas Secas DMN 25 mm (primer y segundo grupo).....	52
Figura 3-2 Gráficas de las Mezclas Secas DMN 19 mm (primer y segundo grupo).....	53
Figura 3-3 Gráficas de las Mezclas Secas DMN 9,5 mm (primer y segundo grupo).....	54
Figura 3-4 Relaciones entre los parámetros Bailey y su grado de segregación.....	55
Figura 3-5 Gráficas de Mezclas Asfálticas DMN 25 mm (primer y segundo grupo).....	58
Figura 3-6. Gráficas de Mezclas Asfálticas DMN 19 mm (primer y segundo grupo).....	59
Figura 3-7. Gráficas de Mezclas Asfálticas DMN 9,5 mm (primer y segundo grupo).....	60
Figura 3-8 Relaciones entre los parámetros Bailey y su grado de segregación.....	61
Figura 3-9 Gráficas de los factores de las proporciones y la segregación de las mezclas secas.....	65
Figura 3-10 Gráficas de los factores de las proporciones y la segregación de las mezclas asfálticas.....	66

## ANEXOS

	Pág.
A. Caracterización de Segregabilidad del Agregado Pétreo.....	75
B. Caracterización de Segregabilidad de las Mezclas Asfálticas.....	91
C. Resultados de los Ensayos Realizados al Material Pétreo.....	111
D. Relaciones entre el Grado de Segregación y las Proporciones del Método Bailey para las Mezclas Secas y Asfálticas.....	113
E. Análisis por Mínimos Cuadrados Método de Regresión Lineal Múltiple...	118

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL MÉTODO BAILEY Y SU INFLUENCIA EN LA SEGREGACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE.\*

**AUTOR:** PÉREZ GRANADOS Gabriel Alexis

**TUTOR:** CASTAÑEDA PINZÓN Eduardo Alberto. Ingeniero Civil, M.Sc. Ph.D. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Método Bailey, Segregación granulométrica, Mezclas densas en caliente, Proporciones AG, GAF y FAF. Método de mínimos cuadrados.

### CONTENIDO

El presente estudio proporciona información acerca de la influencia de las proporciones del Método Bailey, y su relación con la tendencia de cada mezcla a segregar. Para esto se realizaron 12 gradaciones con un peso de 20 Kg aproximadamente, las cuales se dividieron en dos grupos, cada uno de seis; el primero corresponde a unas granulometrías que no cumplen con los parámetros del método Bailey sugeridos por Vavrik (19), y el segundo grupo corresponde a granulometrías que están en el rango recomendado de las proporciones o por arriba de uno. Estas granulometrías se evalúan sin asfalto y con un contenido de asfalto del 5 % se forma una pila, y luego se pasa una regla simulando el proceso de la pavimentadora.

De esta manera la capa obtenida con la regla se divide en dos capas; una superior y una inferior, las cuales se caracterizan y extrae el contenido de asfalto, determinando después por una desviación estándar el grado de segregación de la mezcla respecto a las dos capas.

En el primer capítulo se hace una selección de la literatura recogida por diferentes medios, resaltando los métodos y herramientas para medir la segregación y otros factores relacionados con esta.

En el segundo capítulo se expone la manera como se llevo a cabo la investigación, los procedimientos y métodos utilizados para medir la segregabilidad en el laboratorio. Luego los resultados son analizados y se determinan las gradaciones más segregables.

Por último se hace un análisis del comportamiento de las proporciones del método Bailey y la relación de estas con el tamaño máximo del agregado, proporcionando una ecuación con un factor o coeficiente con el cual, conociendo los valores de las proporciones según la configuración de la gradación y el tamaño máximo, se pueda determinar un grado de segregación de la mezcla.

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.

## ABSTRAC

**TITLE:** ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE BAILEY METHOD AND INFLUENCE ON THE SEGREGATION OF HOT DENSE MIXTURES\*

**AUTHOR:** PÉREZ GRANADOS Gabriel Alexis

**TUTOR:** CASTAÑEDA PINZÓN Eduardo Alberto. Civil Engineer, M.Sc. Ph.D \*\*

**KEYWORDS:** Bailey Method, Gradation Segregation, Hot Dense Mixtures, Proportion AG, GAF and FAF, Method of least squares.

### DESCRIPTION

The present study provides information about the influence of Bailey Method proportions, and their relationship to the tendency of each mixture to segregate. To this end there were 12 gradations weighing approximately 20 kg, which were divided into two groups, each of six, the first corresponds to a grain size that do not meet the parameters of the method suggested by Vavrik Bailey (19), and the second group are some grain sizes which are within the recommended range of proportions or above one. These particle sizes are evaluated without asphalt and asphalt containing 5% forming a stack, and then passed a rule simulating the process of the paver.

In this way the layer obtained with the rule is divided into two layers, one upper and one lower, which are characterized and extracted asphalt content, then determining a standard deviation for the degree of segregation of the mixture in relation to the two layers .

In the first chapter presents a selection of literature collected by various means, highlighting the methods and tools to measure segregation and other factors related with this.

In the second and third chapter sets out the way it conducted the inquiry, procedures and methods used to measure the segregabilidad in the laboratory. Then the result are analyzed and identifies gradations more segregated.

Finally we analyze the behavior of the proportions of the Bailey method and the relation of these to the maximum aggregate size, providing an equation with a factor or coefficient with which, knowing the values of the proportions depending on the configuration of the gradation and the maximum size, it can determine a degree of segregation of the mixture.

\*Project grade

\*\* Faculty of Engineering Physicomechanical, School of Civil Engineering.

## INTRODUCCIÓN

Así como todos los caminos en la antigüedad conducían a Roma; uno de los caminos más importantes que debe tomar la ciencia en el desarrollo de pavimentos más durables y con una superficie de rodadura óptima, es el de resolver el problema de la segregación de las mezclas asfálticas, el cual desencadena una serie de patologías en el firme que comprometen su desempeño y función; pagando altas sumas por mantenimiento y retrasando el avance de la infraestructura vial, pues, como decía Ramón Menéndez Pidal “La historia de la humanidad es la historia de los caminos y siempre éstos han cumplido análogas funciones en relación con el desarrollo y las tecnologías. Las civilizaciones y la barbarie se sirven de los caminos, sin los cuales no se concibe su expansión. Rastro del paso del hombre fueron los primeros caminos; astro de la historia son al fin y al cabo todos los caminos”.

De esta forma es imposible concebir el desarrollo de un país sin una infraestructura vial apta para unos requerimientos futuros de tráfico, pero para esto es necesario que la calidad del pavimento proporcionado cumpla con los requerimientos de resistencia y rodadura, los cuales se alcanzan con un excelente diseño de la mezcla asfáltica y buenos procesos de elaboración, transporte y colocación. Cuando esto no sucede el pavimento se deteriora rápidamente y comienzan a aparecer agrietamientos, exudaciones, desprendimientos de agregados, baches, etc, problemas todos ligados con el problema de la segregación, el cual se presenta desde el mismo inicio de elaboración de la mezcla en planta, hasta su colocación en obra, y es el detonante para los problemas antes mencionados.

Encontrar una forma de evitar la segregación o cuantificarla durante su diseño sería una herramienta muy útil a la hora de realizar una mezcla asfáltica, además de proporcionar un punto de comparación con otras mezclas realizadas con la experiencia del diseñador y que exhiben una tolerancia a segregar.

La utilización de buenas prácticas durante la elaboración, carga de los camiones, transporte, vaciado y compactación han mostrado grandes resultados para disminuir el problema de la segregación, pero el diseño de la mezcla es crucial para que esta pueda tolerar de una mejor forma los procesos por los que pasa la mezcla hasta su apertura al tráfico.

## 1 MARCO TEÓRICO

Al finalizar el proceso constructivo de un pavimento, además de sus características de seguridad este debe exhibir unas características superficiales y estructurales que proporcionen un óptimo desempeño y un período de servicio proyectado. Para lo cual es necesario un apropiado diseño de la mezcla dependiendo de su granulometría y contenido de asfalto, asimismo de presentar unas técnicas constructivas adecuadas en campo; tales como su elaboración, transporte y colocación en obra. Estas cualidades reunidas, proporcionarían en teoría, pavimentos duraderos y resistentes que requerirán muy poco mantenimiento.

No obstante, durante la construcción del pavimento se presentan varios problemas que reducen la vida útil de éste, entre los cuales, el más dañino es la segregación. Y aunque una inadecuada elaboración del producto, largos periodos de transporte, cargas inapropiadas del camión, extendido y compactación deficiente sean fuentes importantes de la segregación, los dos factores o fuentes que pueden afectar considerablemente la tendencia de las mezclas a segregar son; su gradación y su contenido óptimo de asfalto Kennedy (et al 1986) (15).

La gradación del agregado pétreo condiciona la resistencia estructural del pavimento y su contenido de asfalto afecta su envejecimiento. Las mezclas con un gran Diámetro máximo nominal, gradación gruesa o gradación discontinua tienen una mayor tendencia a segregar que mezclas más finas, o mezclas bien graduadas (Kennedy et al, 1986). Del mismo modo, una mezcla abierta que describe una gradación en forma de "S" a través de la línea de máxima densidad, y presenta un bajo contenido de asfalto no se puede producir sin segregación (1).

Cuando se presenta la segregación en el pavimento, este se deteriora rápidamente debido a la acción del tránsito y las condiciones ambientales, de esta manera los daños superficiales se hacen más evidentes y los daños relacionados a la segregación se agudizan, como los son las grietas por fatiga, el ahuellamiento, el desprendimiento del agregado pétreo, entre otras.

## 1.1 SEGREGACIÓN

La segregación en una mezcla asfáltica en caliente se puede definir como la falta de homogenización de sus constituyentes, presentando variaciones respecto a la fórmula original de trabajo y su contenido de asfalto (4), lo que genera problemas en la estabilidad y textura del pavimento entregado, disminuyendo la comodidad del usuario y la vida de servicio de la estructura.

Existen dos tipos de segregación principalmente: la segregación granulométrica y la segregación por temperatura (es decir, diferenciales de temperatura) (2), y son causados por uno o la combinación de varios problemas. Las áreas que presentan segregación en la superficie del pavimento tienen una textura más dispareja que las texturas en sus áreas perimetrales y registran cambios en su granulometría y contenido de asfalto.

La acumulación en ciertas áreas de la carpeta asfáltica del agregado grueso de una gradación granulométrica, o de una concentración de los materiales finos en otras áreas es producto de la segregación de la mezcla. Lo que conlleva a una alta sensibilidad a la humedad y un mayor contenido de vacíos.

La segregación ocurre en casi todo el proceso constructivo del firme, desde el almacenamiento de los agregados, hasta la operación de extendido por parte de la terminadora, pasando por su elaboración en planta y las operaciones de carga y descarga del camión.

### 1.1.1 Segregación Granulométrica

Es evidente que el tipo de segregación más perjudicial y corriente es la segregación granulométrica en la mezcla, la cual provoca una concentración de materiales gruesos en unas áreas del pavimento, mientras que las demás contienen una concentración de materiales más finos.

Según esto, existen dos tipos de segregaciones granulométricas: *la segregación con predominio de agregados gruesos y la segregación con predominio de agregados finos* (2). La primera presenta una abundancia de agregado grueso con respecto a la granulometría original de la mezcla, debido a que las partículas con un mayor peso específico se esparcen durante la manipulación de la mezcla. Esto puede producir mezclas con un menor contenido de ligante, disminuciones en la

densidad junto con un incremento del contenido de vacíos y diferencias de textura apreciables respecto a zonas cercanas no segregadas.

Cuando la carpeta presenta áreas con acumulación de finos con respecto a la fórmula de trabajo de la mezcla se le llama *segregación con predominio de agregados finos*, que se asocia a mezclas con un mayor contenido de ligante, baja densidad, y una textura fina, generando una disminución a la resistencia por ahuellamiento o roderas y resistencia a la fatiga, aunque con una menor permeabilidad.

Se considera que existe segregación granulométrica cuando una muestra presenta una desviación de agregado (pasa por el tamiz 2,36 mm N°8 o 4,75 mm N°4) (1, 2) igual o superior al 10% con respecto a la fórmula de trabajo, mientras que una variación en el tamiz 3/8" (9,5 mm) del 5% indica una segregación de agregados gruesos (1, 2).

### **1.1.2 Segregación Térmica**

Estudios realizados sobre la segregación granulométrica, los cuales incluían análisis a zonas con una textura irregular no eran debidos a grandes variaciones respecto a su gradación y contenido de asfalto, pero presentaban un incremento en los vacíos de aire, determinando la presencia de diferenciales de temperatura como una causa posible.

La segregación térmica presenta áreas frías en la superficie de la mezcla asfáltica ocurridas especialmente en los camiones de acarreo y las alas de la pavimentadora (2).

Cuando existen diferenciales de temperatura durante la colocación de la carpeta, se observan diferencias de textura superficial y la compactación de estas zonas es deficiente en relación a otras zonas que no poseen diferenciales amplios causando bajas densidades y aumento de los vacíos de aire. De esta manera, la *segregación térmica*, se podría definir como la falta de homogeneidad de la temperatura de la mezcla durante la construcción del pavimento. Lo que produce el fallo prematuro de la carpeta.

## **1.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS SEGREGADAS**

Determinar las zonas segregadas durante el proceso constructivo del pavimento es de vital importancia para obtener un producto de calidad. Esta determinación es limitada, pero con las actuales tecnologías y métodos esta tarea se facilita un poco, además de complementarse con otras pruebas y hacer las correspondientes comparaciones. Los métodos para identificar la segregación se exponen a continuación para su mejor comprensión.

### **1.2.1 Identificación Visual**

Es la más común y más utilizada para identificar las diferencias significativas de la textura superficial y localizar las zonas con potencial segregación. Pero al tratarse de un enfoque subjetivo crea discrepancias, por lo que se hace necesario un procedimiento objetivo que identifique y mida la textura de la superficie del firme. La detección visual se puede usar para identificar las áreas no uniformes y complementar el estudio de estas zonas problema con una tecnología adecuada.

### **1.2.2 Termografía de Infrarrojos**

Una de las herramientas utilizadas para detectar los defectos constructivos durante la colocación del pavimento es la cámara de infrarrojos, la cual identifica las zonas segregadas por diferenciales de temperatura, basándose en la detección de la radiación del espectro infrarrojo.

Estas imágenes son tomadas por un escáner óptico que transmite las imágenes a un ordenador que posee un software apropiado para el análisis y el almacenamiento de los datos, identificando de esta manera las áreas frías en la mezcla. Además se puede utilizar durante todo el proceso constructivo, como en las tolvas de suministro del material, la carga, transporte y descarga de los camiones, la extensión del material y la posterior compactación.

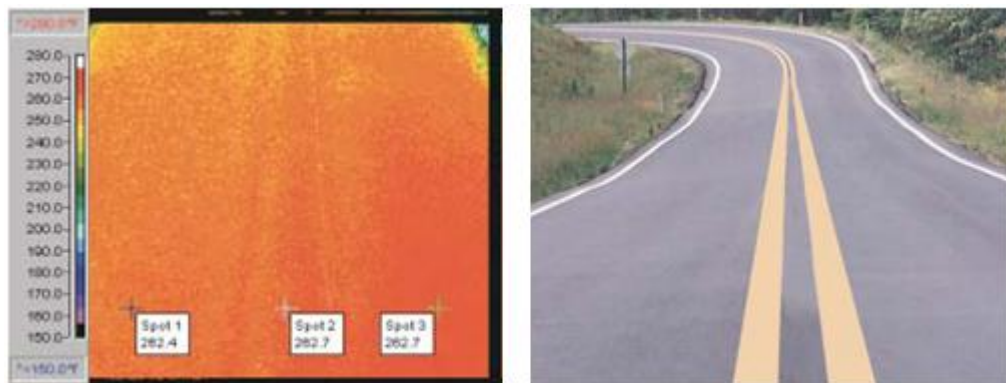
Las fotografías muestran que los puntos de baja temperatura se relacionan con los puntos deteriorados de la misma sección de la carretera. Mientras que diferenciales pequeños muestran una capa térmica uniforme y una carpeta asfáltica con alta regularidad.

**Fotografía 1-1 Diferenciales de temperatura altos indican las irregularidades del firme**



*Fuente: Don Brook, Jakob (4).*

**Fotografía 1-2 Una mayor homogeneidad de la temperatura y buena compactación proporcionan una alta regularidad de la superficie.**



*Fuente: Don Brook, Jakob (4).*

### **1.2.3 Medición de la Textura**

La regularidad superficial es un factor importante que afecta la comodidad del usuario al circular por la carretera. Esta textura superficial se relaciona con los fenómenos de adherencia entre el neumático y la capa de rodadura (microtextura) y con los de hidroplaneo (macrotextura), además de utilizarse en la cuantificación del IRI (Índice de Regularidad Internacional) y el CRD (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento) (16). Otros aspectos a tener en cuenta son el ruido al interior y exterior del vehículo, el desgaste de los neumáticos, la distancia de frenado, entre otros.

La microtextura corresponde a las irregularidades superficiales del pavimento menores de 0.5 mm, y define la aspereza del pavimento; la macrotextura

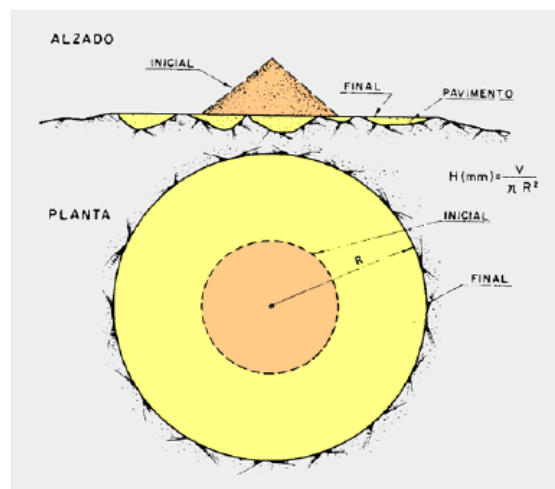
comprende los valores de 0.5 a 50 mm, y determina la rugosidad y es necesaria para mantener esa adherencia a altas velocidades o con el pavimento mojado; la megatextura de 50 a 500 mm, asociada a los baches o peladuras que aparecen en la superficie de rodadura (17).

### 1.2.3.1 Técnicas Volumétricas

#### 1.2.3.1.1 Método del Círculo de Arena

Este método se basa en extender un volumen conocido de arena fina de granulometría uniforme formando un círculo, del cual se mide su diámetro. Cuantificando las diferencias visibles en la macrotextura de la superficie, mediante la división entre el volumen extendido y el área ocupada se obtiene el valor de la profundidad media o profundidad de textura aproximada por sus siglas en inglés ETD (2).

**Figura 1-1** Ensayo del círculo de arena.



*Fuente: Bañón- Beví (16).*

### 1.2.4 Equipos de Medición Integral

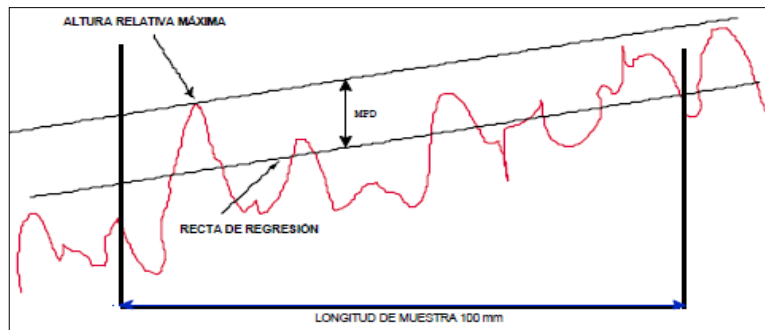
Este tipo de equipos integra diferentes tecnologías para la medición de diversas características superficiales de la carpeta de rodadura, determinando simultáneamente la regularidad y la textura superficial, la resistencia al deslizamiento además de las fisuras de la superficie y la profundidad del ahuellamiento o roderas.

### 1.2.4.1 Mediciones Láser de la Textura Superficial del Pavimento

Los equipos más utilizados actualmente por su precisión, una lectura rápida y continua de la superficie, velocidades normales de tráfico y fácil manejo, ya que no provocan interrupciones de tráfico ni tienen la necesidad de mantener una velocidad constante durante la medida, son los sistemas perfilométricos basados en la tecnología láser.

Las mediciones de la superficie hechas definen un perfil superficial, que permite determinar *la profundidad media del perfil* MPD (Mean Profile Depth) que es la diferencia (en una distancia del mismo orden de magnitud que el contacto pavimento-neumático) entre la recta de regresión de los puntos del perfil y una paralela trazada por su punto más alto.

**Figura 1-2 Obtención de la profundidad media del perfil (MPD).**

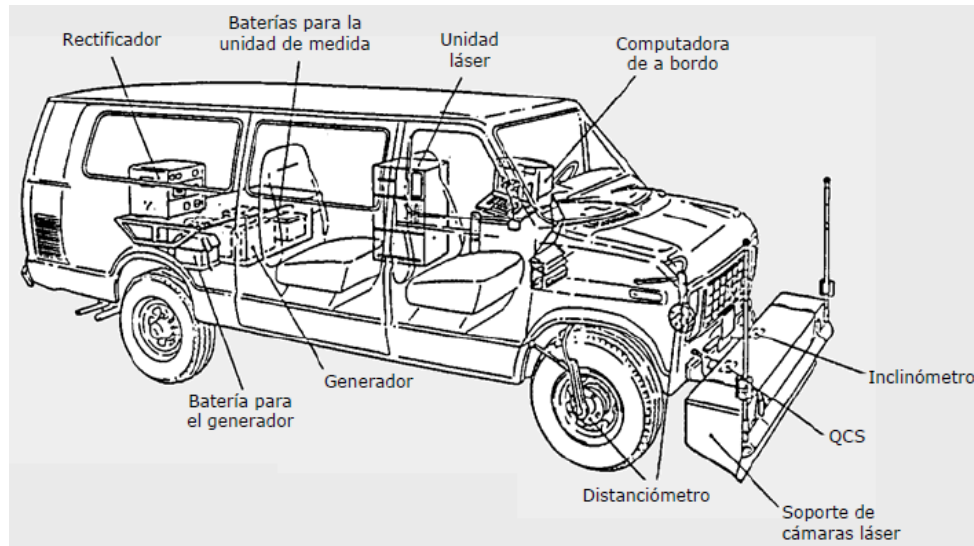


Fuente: AEPO (24)

La evaluación de la textura con dispositivo de medición láser montados sobre un vehículo está bien establecida como se ilustra en la siguiente figura. Esta tecnología se funda en la emisión de un rayo láser que toca la superficie del firme y se refleja en un potenciómetro óptico, pudiendo obtenerse la altura de reflexión en función de la zona de incidencia del rayo reflejado (16).

Existen varios perfilómetros disponibles en el mercado, la ubicación de los sensores en estas unidades multipropósito depende del uso o estudio que se quiera llevar a cabo. Entre estas unidades se cuenta con el Greenwood Engineering (Dinamarca) con un montaje de hasta 25 láseres sobre su viga frontal, el ARAN (Automatic Road Analyzer), el ARBB (Australian Road Research Board), ROSANv (Rosan Surface Analyzer), WDM- HSTM (High Speed Texture System), entre otras.

**Figura 1-3 Montaje de los equipos de medición integral.**



*Fuente: Bañón- Bevía (16).*

Estas unidades permiten conocer el IRI y las deformaciones permanentes, además de obtener de forma continua perfiles longitudinales y transversales rápidamente, el software de análisis es fácil de usar y puede proporcionar un análisis estadístico de los datos obtenidos (2). Algunos equipos son portátiles y se pueden instalar en cualquier vehículo.

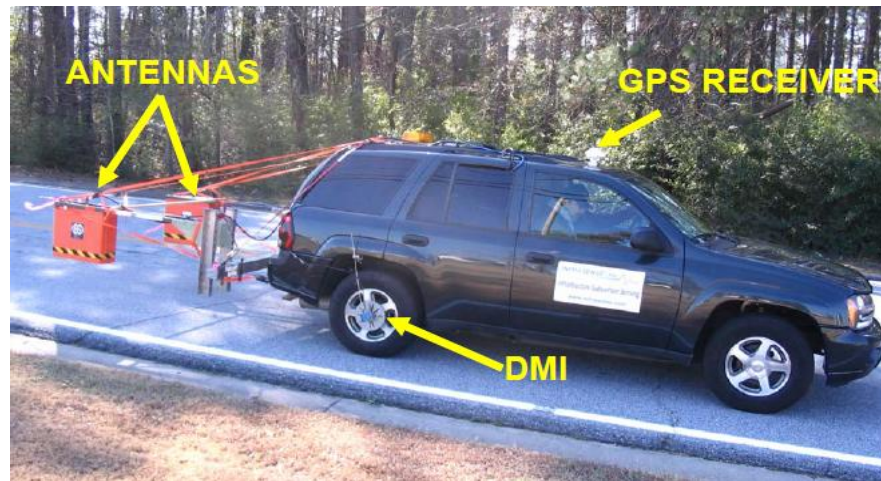
Una superficie seca es necesaria para evitar alteraciones de la lectura por desviación del láser, como también para una mejor resolución es necesaria una menor velocidad del vehículo, hacen parte de las desventajas de usar esta tecnología, pero la más significativa es la imposibilidad de hacer lecturas que penetren la superficie del pavimento.

El informe NCHRP (2) propone unos límites para distinguir los cambios de la textura asociada a cada nivel de segregación. La predicción de la *profundidad media del perfil* MPD se calcula utilizando la información de la mezcla producida (i.e, tamaño máximo del agregado y las características de gradación).

#### **1.2.4.2 GPR: Ground Penetration Radar**

La teoría básica utilizada en el radar de penetración de tierra o georadar GPR es una medida de la constante dieléctrica,  $E$ , (o permitividad). Un material se dice que es dieléctrico si puede almacenar la energía cuando se expone a un campo eléctrico externo (1). En las aplicaciones de carreteras, esta propiedad se ve como un pico en la amplitud de la onda reflejada en cada interfaz de la capa (2). El tiempo de viaje del pulso a través de la estructura puede ser usado para calcular el espesor de la capa.

**Fotografía 1-3 Vehículo con montaje de GPR.**



*Fuente: Applied Research Associates, Inc. (20).*

Su componente principal es un generador de pulsos que produce una señal de radar para una frecuencia y potencia dadas. Al generador se conecta una antena que transmite el pulso y que opera por encima de la superficie a velocidades normales de carretera, y donde la profundidad de penetración de la señal depende de la frecuencia de la señal. Asimismo cuenta con un ordenador que almacena los datos y un software para la cuantificación de las amplitudes de onda seleccionada.

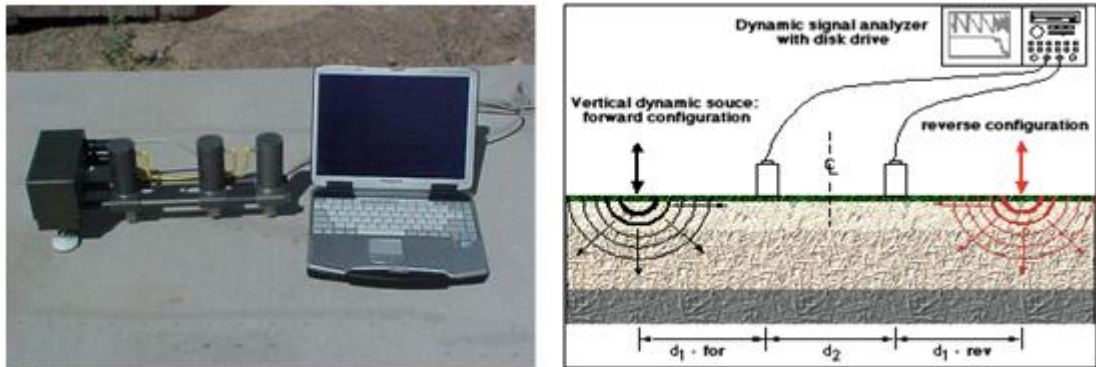
Las lecturas realizadas con el GPR no muestran cambios significativos en el contenido de asfalto. En tanto que las superficies húmedas alteran la deflexión del rayo láser.

El Departamento de Transporte de Texas indica que si los cambios de densidad son las irregularidades principales que existen en la capa asfáltica, el GPR es la mejor herramienta para la investigación que el dispositivo infrarrojo. (7)

### 1.2.4.3 Analizadores Sísmicos de Pavimentos (SPA)

Los daños por la humedad y la falta de adhesión entre las partículas del agregado de la mezcla, disminuyen significativamente el modulo de corte de las mezclas HMA. Los métodos sísmicos generan una onda de tensión en un punto de la superficie del pavimento y miden el tiempo necesario para que las ondas se propaguen a otros puntos de la superficie del pavimento (18).

#### Fotografía 1-4 (PSPA) y Medición de la dispersión de las ondas de superficie en las capas medias.



Fuente: Texas Department of Transportation (21).

El analizador de pavimento sísmico (PSPA), utiliza cuatro técnicas de análisis de onda: análisis espectral de ondas de superficie (SASW), conjunto de las ondas de ultrasonidos, la técnica eco-impacto y la respuesta del impulso. El SASW se utiliza para la evaluación del espesor de la capa y de su módulo. Las ondas de ultrasonido y la técnica del eco-impacto, se utilizan en conjunto para obtener el módulo de Young y el espesor de la capa de la superficie en el recorrido, pero no mide el espesor de una capa específica. La respuesta del impulso se utiliza para obtener información sobre el módulo de corte de la subrasante para el sistema.

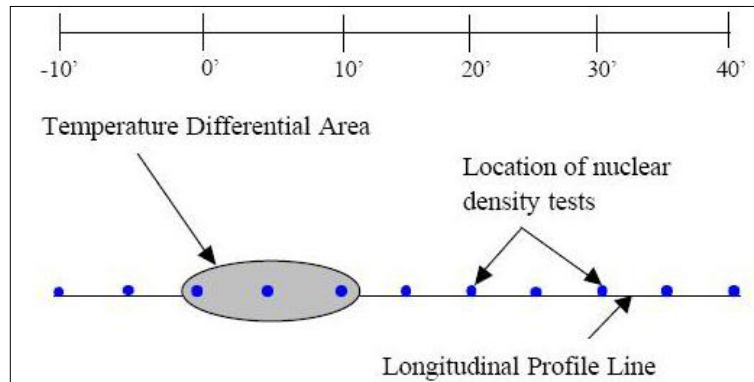
La unidad portátil (PSPA) es la más adecuada para evaluar los cambios en las propiedades del material una vez las áreas no uniformes se han identificado por medio de otras técnicas. La información obtenida de la superficie sería la más útil en la identificación del efecto de la segregación.

### 1.2.5 Perfiles De Densidad

Para la elaboración de los perfiles de densidad, se determina la ubicación del perfil de densidad usando una cámara de tecnología infrarroja. Las mediciones de

densidad están realizadas usando un dispositivo de densidad nuclear. El criterio para escoger la localización de un perfil de densidad está basado sobre la variación de temperaturas mayores a  $25^{\circ} F$  ( $13.9^{\circ} C$ ) en un área de la capa asfáltica recién pavimentada antes de su compactación. La utilización de perfiles de densidad no distingue entre segregación térmica y granulométrica.

**Figura 1-4 Diseño del perfil de densidad para un área segregada**



*Fuente: Gonzála Gómez (8).*

Las imágenes infrarrojas y los perfiles de densidad deben ser además realizados en áreas de notable segregación visual y en cualquier momento que haya una parada/inicio de la operación de pavimentación. Una vez definidos los puntos del perfil, se colocará el dispositivo de densidad nuclear sobre uno de los puntos marcados para el ensayo.

Para la determinación de la densidad se pueden usar: métodos nucleares y no nucleares. Los densímetros nucleares miden la densidad de capas de poco espesor (de 2.5 a 10 cm). Proporciona resultados rápidos y de gran exactitud a partir de una fuente de emisiones gamma que penetran el material evaluado y son recibidas por los detectores para ser cuantificadas. Además no se requieren cálculos adicionales ni la aplicación de gráficos para la determinación de la densidad de la capa.

En los métodos no nucleares el aparato genera un campo eléctrico toroidal en el material y la densidad se determina a partir de cambios en este campo eléctrico debidos a la impedancia eléctrica del material (1). Pero ninguno se debe utilizar para cuantificar la segregación.

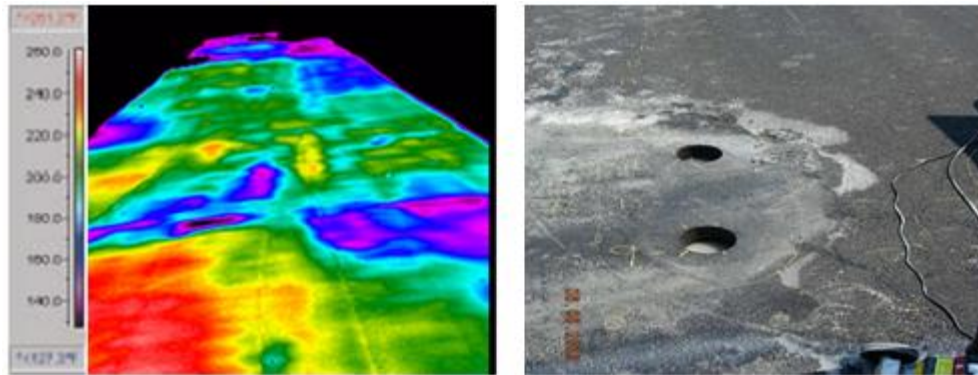
### 1.2.6 Pruebas Destructivas: Extracción De Núcleos

La extracción del núcleo o testigo permite conocer distintas variaciones de la mezcla respecto a su fórmula de trabajo de la mezcla (JMF) determinando su nueva configuración granulométrica, su contenido de asfalto, la densidad y el contenido de vacíos, todos ellos factores ligados a la segregación de la mezcla.

Los vacíos de aire se incrementan con el aumento de la segregación por la gradación de partida de la JMF por debajo de la línea de densidad máxima. Debido a que las proporciones de los componentes de HMA en las zonas segregadas pueden ser significativamente diferentes que en las zonas no segregadas, la densidad Bulk y la gravedad específica máxima deben ser determinadas para cada área (1).

Una buena manera de comparar las densidades, es tomar termografías para señalar las posibles zonas segregadas con una textura de la superficie no uniforme, utilizar posteriormente un medidor de densidad y extraer los testigos para verificar las densidades y gradaciones para compararlas con la JMF.

**Fotografía 1-5 Termografía y extracción de testigos.**



*Fuente: Henault, Larsen (5b).*

El área se considera segregada si el contenido de asfalto está por debajo de un valor umbral y la granulometría está fuera de unos rangos preestablecidos.

Las medidas de densidad por sí solas no deben ser utilizadas para detectar la segregación.

### **1.3. EL MÉTODO BAILEY**

El agregado de un concreto asfáltico puede ser considerado como el esqueleto de una mezcla, porque es responsable de la mayoría de la resistencia a las cargas de tráfico. Las propiedades de este esqueleto se refieren principalmente a la dureza, textura superficial, angulosidad, la forma y distribución granulométrica de los agregados.

El método de Bailey, desarrollado por el ingeniero Robert Bailey, del departamento de Transporte de Illinois, es un método de selección granulométrica que está directamente relacionado con las características de compactación de cada fracción de los agregados, con los vacíos en el agregado mineral (VAM) y los vacíos de la mezcla (Vv) (19). Selecciona la estructura de los agregados de la mezcla buscando una mayor interacción del agregado grueso y se puede utilizar con cualquier método de dosificación de mezclas de asfalto (Superpave, Marshall, Hveem etc.).

La granulometría resultante de aplicar el método de Bailey permite el intertrabamiento del agregado grueso, y una buena compactación de los agregados, si se desea, proporcionando resistencia a la deformación permanente; y al variar la cantidad de agregados gruesos y finos en la mezcla, los vacíos en el agregado mineral (VAM) pueden cambiar para garantizar una cantidad óptima de asfalto. Así, las mezclas seleccionadas granulométricamente por el Método Bailey pueden tener un esqueleto de agregados con alta estabilidad y un volumen adecuado de (VAM) para una buena durabilidad (9).

#### **1.3.1 Agregado Grueso y Fino**

La ASTM (C 294, 1989) considera agregado grueso todo el material retenido en el tamiz 4,75 mm y, por tanto, se considera material fino todo el material que pasa en el mismo tamiz. Hay otros organismos que utilizan el tamiz de 2,38 mm (por ejemplo, el Instituto de asfalto) o de 2,00 mm para la división entre el agregado fino y grueso. De esta manera, el mismo tamiz de separación se utiliza en cada organismo, desde un material con el diámetro máximo nominal (DMN) de 9,5 mm a 37,5 mm (9).

En el Método de Bailey, la definición de agregado fino y grueso es más específica, por lo que determina la compactación y el intertrabamiento a través de una

combinación de los agregados de diversos tamaños. Según la definición del método de Bailey, son considerados agregados gruesos las partículas que dispuestas en un determinado volumen crean espacios vacíos que pueden ser ocupados por agregados de menor tamaño. Por tanto, todas las partículas que llenen los vacíos dejados por el agregado grueso son consideradas agregados finos.

Con esta definición, se necesita más de un tamiz para el control de la división entre agregados finos y gruesos, y estos tamices dependerán del diámetro máximo nominal de la mezcla. El diámetro máximo nominal (DMN) se define, de acuerdo con la especificación Superpave, como el primer tamiz encima de la malla que retiene más de 10% del material (19).

En el Método de Bailey, el tamiz que define la división entre el agregado fino y grueso es llamado el *Tamiz de Control Primario (TCP)*, que se basa en el *diámetro máximo nominal (DMN)* de la mezcla, como se muestra en la Figura 1-5. El TCP se considera como el tamiz con el diámetro de apertura más próximo al resultado de la siguiente ecuación.

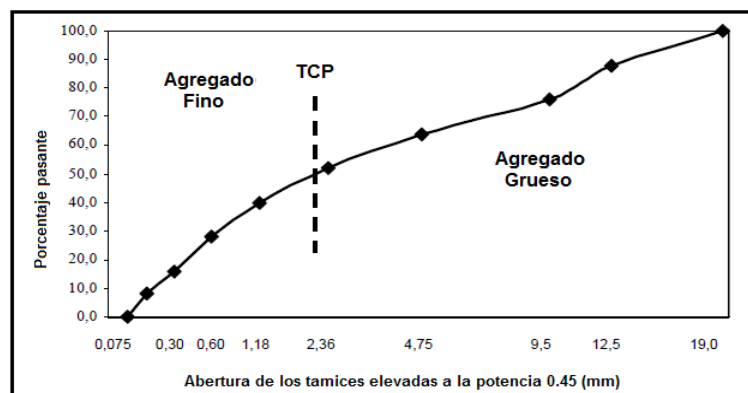
$$TCP = DMN \times 0,22 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

TCP = Tamiz de control primario.

DMN = Diámetro máximo nominal.

**Figura 1-5. División entre agregado grueso y fino en una mezcla con DMN 19,0 mm**



Fuente: Vavrik (19).

Cabe señalar que el factor 0,22 usado para determinar los tamices de control resultó del análisis en dos y tres dimensiones (11), y la compactación de los

agregados de diferentes maneras, lo que demuestra que la relación entre el diámetro de las partículas entre 0,18 y 0,28 sería ideal para los diferentes tipos de agregados y se adoptó el valor de 0,22 como el estándar.

### **1.3.2 Análisis de los Tamices de control**

Después de haber determinado la gradación, la mezcla se divide en tres partes diferenciadas, donde cada una se evalúa individualmente. La parte gruesa de la mezcla incluye desde la mayor partícula, es decir, desde el DMN hasta la TCP. El agregado fino, a su vez, se divide y se analiza en dos partes. La división del agregado fino se realiza multiplicando el TCP por un factor de 0,22, que proporciona el *Tamiz de Control Secundario* (TCS), que determina una división entre la fracción gruesa y fina del agregado fino. La fracción fina de agregado fino es evaluada por el *Tamiz de Control Terciario* (TCT), que se determinará multiplicando el TCS por un factor de 0,22.

El tamiz medio o promedio (TM), es definido como la apertura de tamiz más cerca de la mitad del diámetro máximo nominal de la mezcla. Este tamiz es necesario conocerlo para el posterior cálculo de los parámetros del método Bailey y la división de la fracción gruesa de la mezcla, su ecuación está dada por:

$$TM = 0,5 \times DMN$$

**Ecuación 1.2**

En la división de la fracción fina del agregado, se obtienen los tamices de control secundario y terciario, necesarios para el cálculo de los parámetros; sus ecuaciones respectivamente son:

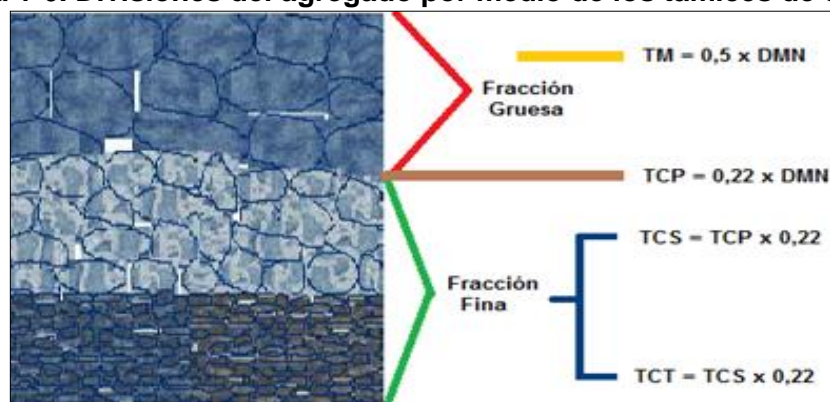
$$TCS = TCP \times 0,22$$

**Ecuación 1.3**

$$TCT = TCS \times 0,22$$

**Ecuación 1.4**

**Figura 1-6. Divisiones del agregado por medio de los tamices de control**



Fuente: Elaboración propia.

Después de conocer los tamices de control, se procede a conocer las proporciones de los agregados a través de los parámetros propuestos por el método. En la siguiente tabla se muestran los tamices de control para determinar las diferentes proporciones del método Bailey.

**Tabla 1-1. Tamices de control del método Bailey.**

Tamices de control del Método Bailey						
DMN (mm)						
	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75
TM	19	12,5	9,5	*	4,75	2,36
TCP	9,5	4,75	4,75	2,36	2,36	1,18
TCS	2,36	1,18	1,18	0,6	0,6	0,3
TCT	0,6	0,3	0,3	0,15	0,15	0,075

\*El tamiz de 4,75 mm es normalmente usado como TM para un DMN de 12,5 mm, pero se recomienda usar el tamiz de 6,25 mm. Fuente: Vavrik (19).

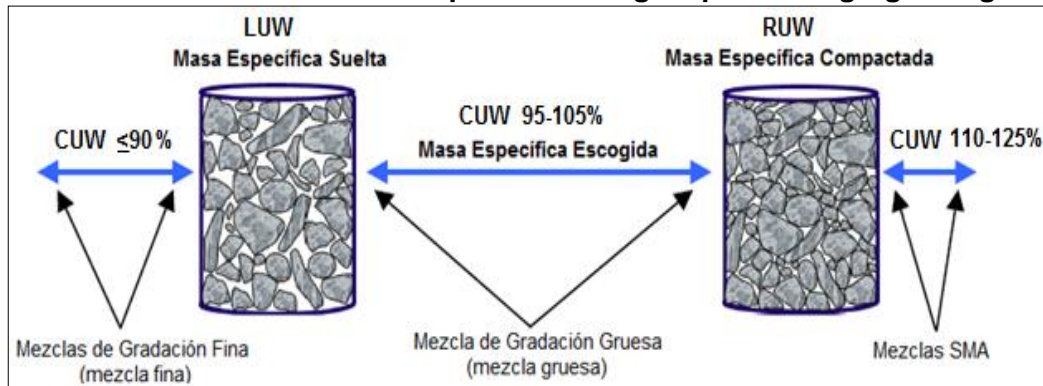
### 1.3.3 Parámetros del Método Bailey

El método de Bailey evalúa la forma en que las partículas de agregado encajan entre sí y sus efectos sobre la volumetría, la susceptibilidad a la segregación, y la compactación. Este *encajonamiento* depende de la gradación, el tipo y cantidad de esfuerzo de compactación, la forma de las partículas, la textura superficial de las partículas, y la dureza de la partícula.

Para comprender mejor este *encajonamiento* o arreglo granular del agregado, es necesario conocer la LUW (Loose Unit Weight) masa específica suelta del agregado grueso, que representa el volumen de vacíos presentes cuando las

partículas están apenas en contacto y sin ningún esfuerzo de compactación aplicado; y la RUW (Rodded Unit Weight) masa específica compactada o varillada, representa el volumen de vacíos presentes cuando las partículas están en un contacto mayor gracias el esfuerzo de compactación aplicado por una varilla (19), ambas tienen unidades de densidad  $\text{Kg/m}^3$ .

**Figura 1-7. Selección de la masa específica escogida para los agregados gruesos.**



*Fuente: Vavrik (19).*

La LUW y RUW determinan el límite inferior y superior respectivamente del inter-trabamiento del agregado grueso y teóricamente definen la división entre una mezcla de gradación fina y otra de gradación gruesa. Esta clasificación se realiza a través de la masa específica escogida CUW (Chosen Unit Weight) que establece el volumen de agregado grueso presente en la mezcla de agregados y el grado de inter-trabamiento o encajonamiento del agregado. De esta manera el método establece que para mezclas de gradación densa, una gradación fina es aquella que posee una CUW menor al 90% de la LUW y una gradación gruesa exhibe una CUW con un rango entre el 95-105 % de la LUW (Aurilio, Pine y Lum) (10).

### 1.3.3.1 Proporción de los agregados gruesos (Proporción AG)

El factor de proporción de los agregados gruesos evalúa la compactación de la porción gruesa y los vacíos resultantes de la mezcla. La evaluación de esta porción de la estructura del agregado introduce la idea del "Tamiz Medio" (TM), y se define como la mitad del DMN. Las partículas retenidas sobre el TM son llamadas "Espaciadores" (Pluggers). Las partículas que pasan el tamiz medio pero retenidas en el TCP son llamadas "Interceptores" (Interceptors). Los "interceptores" son demasiado grandes para caber en los vacíos creados por las partículas más grandes del agregado grueso (Espaciadores) y por lo tanto tratarán

de separarlas o esparcir las. De esta manera un ajuste en la cantidad de partículas que pasan por el TM puede ser usado para modificar las propiedades volumétricas de la mezcla como lo son los VAM.

**Ecuación 1.5**

$$proporciónAG = \frac{\% \text{ que pasa T.M} - \% \text{ que pasa TCP}}{100 - \% \text{ que pasa T.M}}$$

El grado de compactación de la fracción del agregado grueso, como se indica por la Proporción AG, es el factor más importante en la selección de la mezcla. La disminución de la Proporción AG (por debajo de 1,0) aumenta la compactación de la fracción de agregado fino, porque hay pocos “Interceptores” necesarios para limitar la compactación de las partículas más grandes de agregado grueso (19). Por lo tanto, una mezcla con una baja Proporción AG necesitará una estructura fuerte de agregado fino para alcanzar las propiedades volumétricas requeridas. Además, una mezcla con la Proporción AG por debajo de los rangos recomendados por Vavrik (2002) en la siguiente tabla puede dar lugar a una mezcla con tendencia a la segregación.

**Tabla 1-2 Rangos sugeridos de las proporciones de los agregados para mezclas de gradación gruesa.**

	Rangos recomendados para los factores de los agregados					
	DMN (mm)					
	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75
Ppccion AG	0,8-0,95	0,7-0,85	0,6-0,75	0,5-0,65	0,4-0,55	0,3-0,45
Ppccion GAF	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5
Ppccion FAF	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5

*Fuente: Vavrik (19).*

Si la proporción AG aumenta cerca a uno, la fracción del agregado grueso comienza a quedar desequilibrada porque las partículas que pasan a través del TM tratan de controlar el esqueleto del agregado grueso (9). Aunque esta mezcla, por contener una gran cantidad de “Interceptores” no suele ser propensa a la segregación, pero puede presentar dificultades para la compactación en campo y una tendencia al agrietamiento con la aplicación de las cargas de tráfico, por no estar bien inter-trabada. A medida que la proporción AG supera el valor de 1,0 la porción gruesa del agregado grueso, los “Espaciadores”, no controlan el

esqueleto del agregado, pero las partículas del agregado grueso quedan flotando en una matriz de partículas finas.

### 1.3.3.2 Proporción gruesa de los agregados finos (Proporción GAF)

Todo agregado fino, es decir, por debajo del TCP puede ser considerado como una mezcla en sí misma, que contiene una fracción gruesa y otra fina, y se pueden evaluar por separado, al igual que toda la mezcla. La fracción gruesa del agregado fino crea vacíos en la mezcla que son llenados por la fracción fina del agregado fino (19), además se le considera *arena gruesa* el material que pasa el TCP pero retenido en el TCS.

Los vacíos no deben ser llenados por completo, porque debe haber espacios para ser llenados con asfalto, además de los vacíos necesarios para el buen desempeño de la mezcla. La ecuación para el cálculo de la proporción gruesa de los agregados finos es:

$$\text{proporción GAF} = \frac{\% \text{ que pasa TCS}}{\% \text{ que pasa TCP}} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Con el aumento de la proporción GAF, el agregado fino, es decir, aquel por debajo de la TCP, queda más compactado, debido al aumento en el volumen de la porción fina del agregado fino. Lo ideal es que la proporción GAF quede siempre por debajo de 0.50, ya que valores superiores indican un exceso de la porción fina del agregado fino en la mezcla, o indican una cantidad excesiva de arena natural o arena muy fina. Este tipo de mezcla, cuando se analizan en la gráfica de potencia 0,45, por lo general muestra un desvío para abajo en la porción fina, lo que indica una mezcla potencialmente débil.

Cuando la proporción GAF cae por debajo del intervalo indicado por Vavrik, la graduación no es uniforme, caracterizando, generalmente, mezclas abiertas lo que puede indicar la inestabilidad y la posibilidad de problemas de compactación. La proporción de GAF tiene un impacto considerable en los vacíos en el agregado mineral (VAM) de la mezcla, debido a la creación de vacíos en el agregado fino. Los VAM de la mezcla aumentan con el incremento de la proporción GAF (9).

### 1.3.3.3 Proporción Fina de los Agregados Finos (Proporción FAF)

La fracción fina de los agregados finos llena los vacíos creados por la porción gruesa de los agregados finos. La proporción FAF indica cómo la porción fina del agregado fino es compactada. Para calcular la proporción FAF es necesario más de un tamiz de control, llamado el tamiz de control terciario (TCT). El TCT se define como el tamiz de apertura más próximo a la multiplicación del TCS por el factor de 0,22, y al material retenido entre estos dos tamices se le considera *arena fina*. La ecuación para calcular la proporción fina de los agregados finos es:

$$\textit{proporciónFAF} = \frac{\% \text{ que pasa TCT}}{\% \text{ que pasa TCS}} \quad \text{Ecuación 1.7}$$

La proporción FAF se utiliza para evaluar las características de la compactación de la porción de los agregados de menor tamaño en la mezcla. Al igual que en Proporción GAF, la Proporción FAF debería ser inferior a 0,50 para las mezclas de graduación densa. Los vacíos en el agregado mineral aumentan con la disminución de la proporción FAF.

## 2 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

### 2.1 DESCRIPCIÓN

La segregación granulométrica y/o térmica puede ocurrir durante la producción, carga del camión, transporte y vaciado de las mezclas en caliente para pavimentación. La segregación se manifiesta en la irregularidad de la textura superficial asociada con una distribución no homogénea de la mezcla (8). Una gradación cuidadosa del agregado pétreo junto con un óptimo porcentaje de asfalto y vacíos, teóricamente producirían una mezcla que tolere de una mejor manera los diferentes procesos por los que pasa una mezcla desde su elaboración hasta su puesta en obra, y que sumados contribuyen al problema de la segregación.

El propósito principal de esta investigación se enfoca en realizar un análisis de los parámetros del método Bailey para mezclas densas, y estudiar su aplicabilidad al definir la granulometría para disminuir el problema de la segregación en las mezclas bituminosas; mediante la simulación del proceso de extensión del material llevado a cabo por la pavimentadora o extendedora para la posterior caracterización del material pétreo y la estimación de su grado de segregabilidad. La caracterización se lleva a cabo para comprobar la variación entre las capas superiores e inferiores respecto a las fórmulas de trabajo de la mezcla (2), estableciendo un grado cuantificable de segregación a través de una desviación estándar. Determinando si existe alguna relación entre los parámetros del método Bailey y la tendencia de las mezclas a segregar, cuando estas presentan valores que no cumplen con los rangos recomendados, y de esta manera establecer las relaciones que se presentan entre las proporciones y el grado de segregación de las mezclas.

Para simular la operación de extendido de la maquina terminadora, se llevaron a cabo los siguientes pasos, los cuales se aplicaron a las mezclas diseñadas por el método Bailey, pero que no cumplen con los rangos propuestos por Vavrik (Tabla 2-1) (VAVRIK *et al.*, 2002), los cuales están definidos por el DMN (Diámetro Máximo Nominal) de la mezcla; primero para la mezcla de agregados sin contener asfalto (mezcla seca) y después a las mezclas asfálticas con un porcentaje de asfalto del 5% para todas las mezclas.

**Tabla 2-1 Rangos Recomendados de las proporciones de los agregados para mezclas gruesas y finas.**

	DMN (mm)					
	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75
<b>Ppcion AG</b>	0,8-0,95	0,7-0,85	0,6-0,75	0,5-0,65	0,4-0,55	0,3-0,45
<b>Ppcion GAF</b>	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5
<b>Ppcion FAF</b>	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5	0,35-0,5

*Fuente. (VAVRIK et al., 2002)*

1. Vaciado del material en una superficie plana y lisa.

Este paso simula el proceso de transferir el material que está en la tolva de la terminadora hacia el tornillo sinfín que alimenta la plancha de extendido.

**Fotografía 2-1. Colocación de la Mezcla en Obra.**



*Fuente: Pavimento asfáltico.*

2. Conformación y separación del material vaciado en dos capas.

Simula el arrastre de la plancha de la terminadora sobre el material colocado y se separa en dos capas para su posterior clasificación y disposición del agregado dentro de cada capa.

El estudio se realizó sobre doce granulometrías que comprenden tres DMN (diámetro máximo nominal) 25, 19 y 9,5 mm elaborando cuatro mezclas por cada DMN; las cuales se dividieron en dos grupos. El primer grupo se refiere a un grupo de seis granulometrías, elaborando dos mezclas por cada DMN, de las cuales tres presentan rangos inferiores a los recomendados en la tabla 2.1, mientras que las otras tres muestran valores superiores a estos.

**Fotografía 2-2 Simulación del Proceso de la Terminadora.**



*Fuente: Archivos personales*

El segundo grupo consta de las otras seis granulometrías pero que cumplen con alguno o ninguno de los rangos recomendados por Vavrik. De esta forma se busca verificar si estos rangos son eficaces al momento de diseñar una mezcla por el método Bailey.

El material pétreo fue lavado, secado y almacenado en recipientes separados de acuerdo al tamaño para mejorar la caracterización del material y evitar diferencias por una cantidad de filler adicional adherido al agregado más grueso.

Los ensayos que se ejecutaron al material pétreo fueron los siguientes:

1. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos I.N.V. E-222-07.
2. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos I.N.V. E-223-07.

## **2.2 MATERIALES EMPLEADOS**

### **2.2.1. Material Granular**

### **2.2.1.1. Procedencia**

El tipo de material pétreo utilizado es grava y fue adquirido directamente con la empresa Paviandi, ubicada en la vía Curos. El cual proviene de la cantera ubicada junto al río Chicamocha, en el sector de pescadero, departamento de Santander.

### **2.2.1.2. Pruebas Realizadas**

Se realizaron cuatro granulometrías por cada tamaño máximo nominal de 25 mm, 19 mm y 9,5 mm, dos por cada grupo de mezclas de la investigación y de esta manera realizar un análisis comparativo de los diferentes tipos de mezclas y las características que estas presentan con los valores asumidos de las proporciones del método Bailey y los tamices de control de cada mezcla. Determinando su comportamiento de homogenización y distribución del material pétreo con el propósito de establecer la variación entre las capas superiores e inferiores respecto a las fórmulas de trabajo originales, y de definir su grado de segregación a través de una desviación estándar. Luego se definirán las relaciones entre los valores de las Proporciones y el grado de segregabilidad de la mezcla; si estas existen, para comprobar de esta manera la efectividad de los parámetros del método Bailey y establecer la tendencia de las mezclas a segregar.

Los ensayos realizados sobre las muestras son los siguientes:

- Extensión del material y recuperación de muestras, tanto como para el material pétreo como para la mezcla asfáltica.
- Tamizado y caracterización del material pétreo para la mezcla seca.
- Extracción del bitumen para la mezcla asfáltica.

### **2.2.2 Asfalto de Refinería**

Se empleó asfalto líquido de penetración 60-70 CIB de ECOPETROL (Refinería de Barrancabermeja).

## **2.3 EVALUACIÓN DE LA SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO**

La prueba consiste en doce granulometrías elaboradas por medio del método Bailey, divididas en dos grupos, el primer grupo consta de seis granulometrías que no cumplen con los parámetros recomendados por Vavrik (9) y en el segundo

grupo se elaboran seis gradaciones las cuales cumplen con alguno o ninguno de los rangos sugeridos para los parámetros.

### Fotografía 2-3 Proceso de la Prueba de Segregación para el Agregado Pétreo.

Mezcla del material pétreo



Conformación de la pila



Extensión del material con regla



Separación de las capas



*Fuente: Archivos personales.*

#### 2.3.1 PRIMER GRUPO

La primera parte del proceso consiste en mezclar el material sin calentar sobre una bandeja o recipiente alrededor de veinte minutos, y en seguida se vierte en una superficie plana, lisa y seca a modo de pila, donde se procede a extender con la ayuda de una regla de madera soportada en dos cachos del mismo material de 8 cm simulando el proceso de la extendedora o terminadora y así obtener una capa uniforme de agregado pétreo de este espesor. El material es separado en una capa superior e inferior, donde cada una corresponde más o menos a la mitad del espesor de dicha capa. Posteriormente se caracteriza cada capa para conocer su nueva configuración granulométrica comparando su variación respecto de la fórmula de trabajo original.

Se realizaron dos granulometrías por cada DMN de 25, 19 y 9,5 mm y que no cumplen con ninguno de los rangos aconsejados por Vavrik para las proporciones del método, cuyas gráficas y valores de sus respectivas proporciones se presentan más adelante.

### **2.3.1.1 Divisiones, Proporciones y Tamices de Control para el Primer Grupo.**

Los parámetros del método Bailey son calculados a partir de los tamices de control, los cuales son dependientes del diámetro máximo nominal (DMN) de la mezcla. La tabla 2-2 presenta los tamices de control hallados para las mezclas del primer grupo de acuerdo a su respectivo DMN y los porcentajes de “Espaciadores” (pluggers) e “Interceptores” (interceptors) que dividen respectivamente la fracción gruesa y fina de la porción gruesa del agregado, así como los porcentajes de arena gruesa y fina que dividen las fracciones del agregado fino de la mezcla. Estas divisiones complementan las definiciones de las proporciones (AG, GAF y FAF) que son calculadas con los porcentajes que pasan los tamices de control.

En la tabla se consignan los valores obtenidos de los parámetros del método Bailey para las granulometrías estudiadas, así como los tamices de control y las divisiones que realizan estos al material pétreo. Se observa que la Proporción AG es la relación entre el porcentaje de “Interceptores” y “Espaciadores”, y arroja el mismo valor de la *Ecuación 1.5*; asimismo, analiza el empaquetamiento del material encima del TCP, es decir de la fracción gruesa y su influencia dentro de la mezcla.

La Proporción GAF es la relación entre el contenido de *arena fina* más la cantidad de *filler* dividido sobre la cantidad de agregado fino (AF) más *filler*; y evalúa el contenido retenido de *arena gruesa* hasta el TCS y su empaquetamiento en la fracción fina, además es el principal factor en el control de los VMA y Vv en la mezcla (22), llenando los vacíos dejados por la Proporción AG (25).

**Tabla 2-2 Valores Obtenidos Para Los Tamices de Control y las divisiones del agregado (primer grupo).**

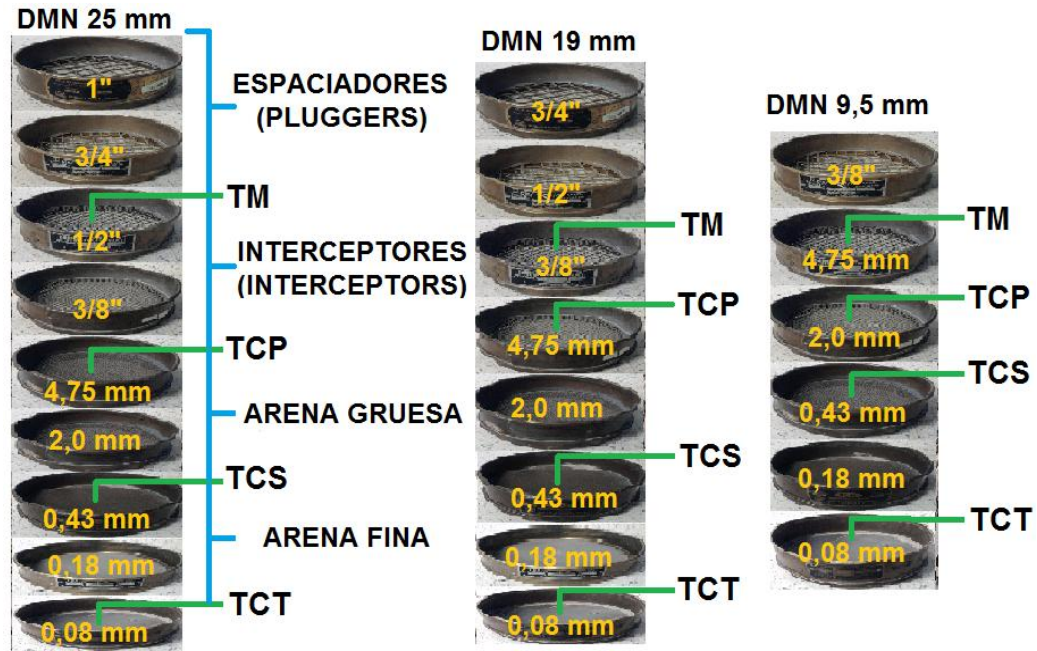
Tamices de control del Método Bailey, divisiones del agregado y respectivas Proporciones						
Divisiones , Proporciones y Tamices de control	Primer Grupo DMN (mm)					
	25,4 mm		19 mm		9,5 mm	
	Inferiores	Superiores	Inferiores	Superiores	Inferiores	Superiores
Pluggers	30%	31%	27%	29%	42%	30%
<b>TM</b>	12,5		9,5		4,75	
Interceptors	20%	28%	15%	23%	16%	19%
<b>TCP</b>	4,75		4,75		2,00	
Proporción AG	Recomendado 0,7-0,85		Recomendado 0,6-0,75		Recomendado 0,4-0,55	
	0,67	0,9	0,56	0,79	0,38	0,63
Agregado Grueso AG	50%	59%	42%	52%	58%	49%
Arena Gruesa	33%	20%	40%	23%	28%	24%
<b>TCS</b>	0,43		0,43		0,43	
Proporción GAF	Recomendado 0,3 - 0,55					
	0,34	0,51	0,31	0,52	0,33	0,53
Arena Fina	12%	10%	13%	12%	9,5%	13%
Filler	5%	11%	5%	13%	4,5%	14%
<b>TCT</b>	0,075		0,075		0,075	
Proporción FAF	Recomendado 0,3 - 0,55					
	0,29	0,52	0,28	0,52	0,32	0,52
Agregado Fino AF	45%	30%	53%	35%	37,5%	37%

Fuente. Elaboración propia.

La Proporción FAF es la relación entre el contenido de *filler* sobre el porcentaje de de *arena fina* más *filler*; y evalúa la parte más *fina* del agregado, es decir el empaquetamiento alcanzado en el material que pasa el TCS y que rellenará los vacíos dejados por la *arena gruesa*. El porcentaje de filler depende de la cantidad de *arena fina* retenida hasta el TCT y este es usado como la división entre las partículas que crean vacíos, y las partículas que los llenan (19).

En la figura se consignan de manera ilustrativa los tamices utilizados para las granulometrías, los tamices de control y las divisiones que estos realizan a cada porción del agregado.

Figura 2-1 Tamices de Control y Divisiones del Agregado.



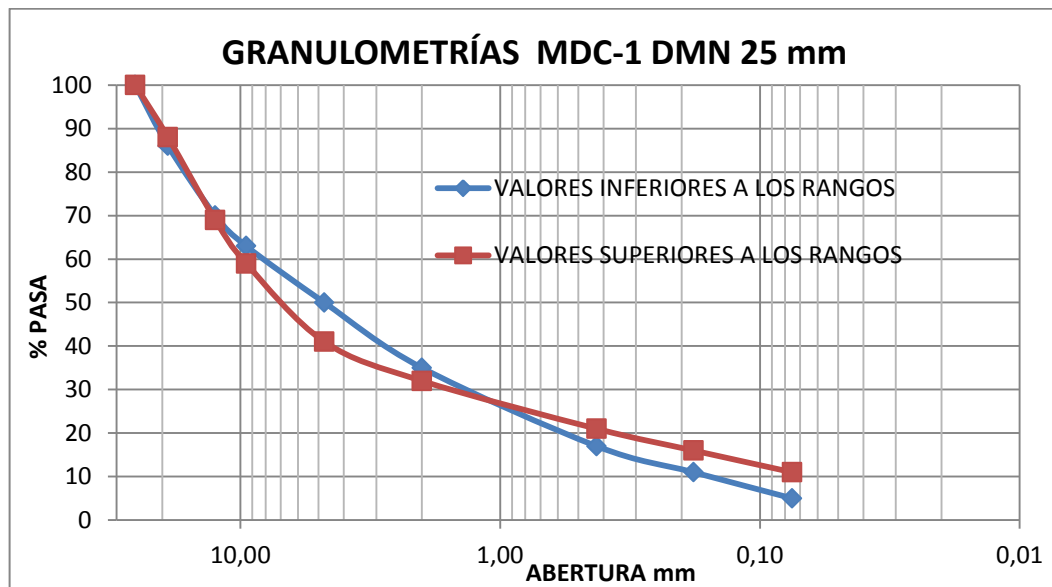
Fuente. Elaboración propia.

Se advierte que el TCT y el TCS es el mismo para los tres conjuntos de tamices, mientras que el TCP es el mismo para las granulometrías de 25 mm y 19 mm. Mientras que los TM son diferentes para las tres granulometrías, indicando la dependencia del Diámetro Máximo Nominal en la Ecuación 1.2.

### 2.3.2.2 Gráficas de las Granulometrías del Primer Grupo.

A continuación se exhiben las gráficas de las granulometrías que no cumplen con los rangos recomendados por Vavrik para los parámetros del método Bailey según su Diámetro Máximo Nominal.

Gráfica 2-1 Gráficas de las Granulometrías DMN 25 mm.

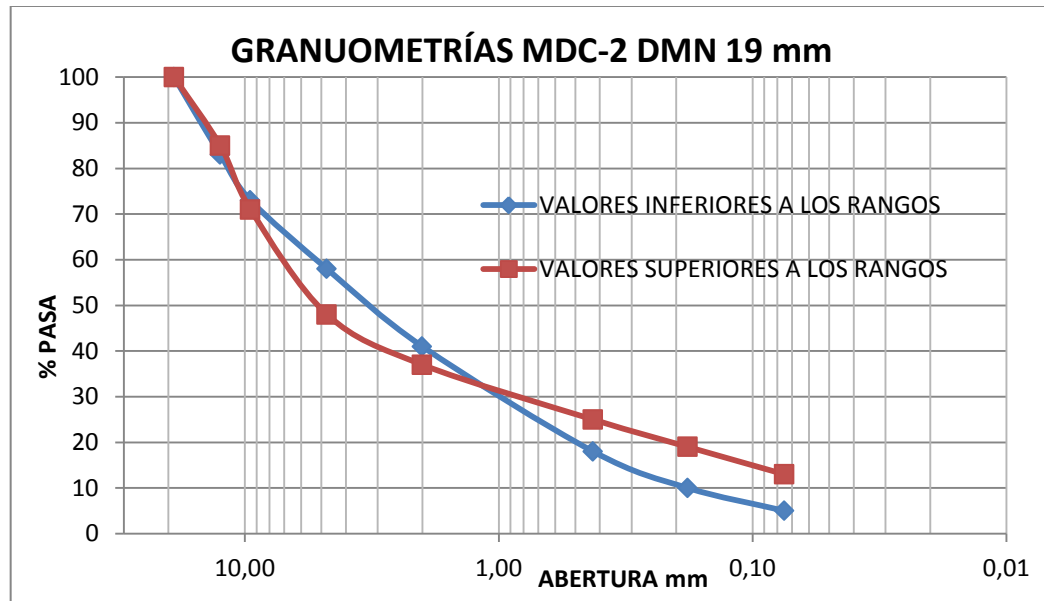


Fuente. Elaboración propia.

Las granulometrías con valores inferiores a los rangos recomendados en su proporción AG en teoría son más propensas a la segregación, teniendo en cuenta la cantidad de “Espaciadores” e “Interceptores” que posean y su DMN; a medida que la cantidad de “Espaciadores” crece las probabilidades de segregación aumentan (11),” y hace que la fracción arriba del TCP sea menos continua. En proporciones AG con valores próximos a uno, la fracción del agregado grueso comienza a quedar desbalanceada, hay aparente grado de contacto partícula-partícula del agregado grueso (19); y los “Interceptores” comienzan a manejar el esqueleto del agregado grueso, aunque estas mezclas por contener una gran cantidad de partículas que pasan por el TM no son típicamente propensas a la segregación, pero pueden presentar problemas de compactación (19, 11, 10).

En valores mayores a uno los “Interceptores” dominan la formación del esqueleto del agregado grueso, y aumenta el grado de contacto partícula-partícula, y mayor tendencia a separar los “Espaciadores”, porque el agregado más grueso queda disperso en una matriz de agregado “fino”.

Gráfica 2-2 Gráficas de las Granulometrías DMN 19 mm.

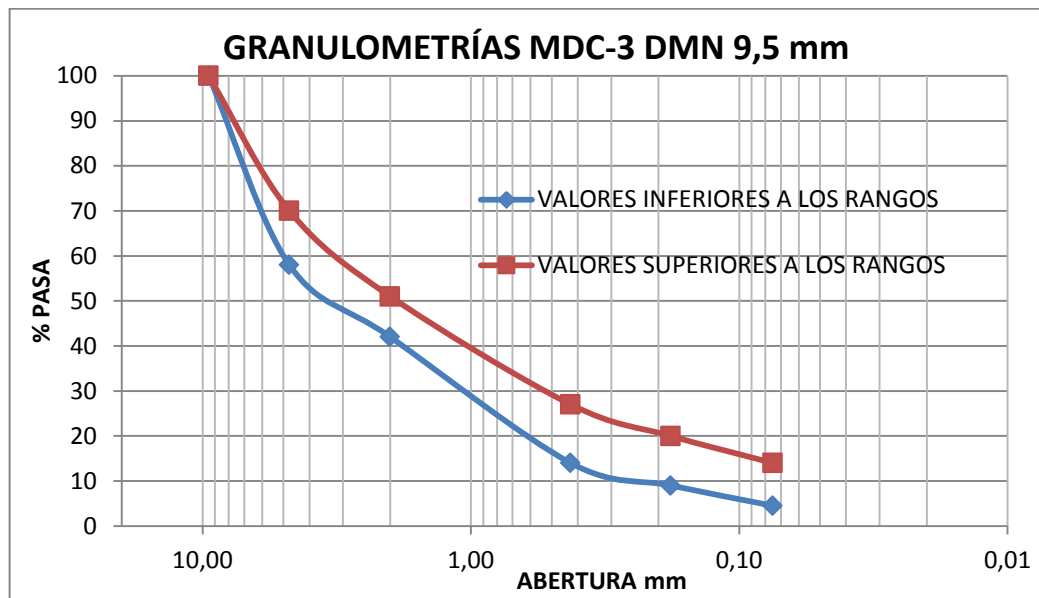


Fuente. Elaboración propia.

De la misma forma, si una proporción GAF, principal factor en el control de los VMA y  $V_v$  es mayor a 0,5 indica un exceso de fino disminuyendo los VMA, y el material por debajo del TCP queda más compactado, debido al aumento en volumen de la porción fina del agregado fino (9). Si la Proporción GAF se incrementa se debe disminuir la Proporción FAF (23), por otro lado, valores inferiores a 0,35 en esta proporción indican una gradación no uniforme, caracterizando mezclas abiertas y con problemas de compactación (19). Si la Proporción FAF está por encima de los valores recomendados tiende a densificar la mezcla (22).

La Proporción FAF indica como la porción fina del agregado fino es compactada, debe quedar por debajo de 0,5 para mezclas de gradación densa. Si la proporción aumenta los VMA y los  $V_v$  disminuyen; y si está por debajo de 0,35 indica una gran cantidad de *arena fina* y *filler*, desestabilizando el esqueleto de la mezcla.

**Gráfica 2-3 Gráficas de las Granulometrías DMN 9,5 mm.**



*Fuente. Elaboración propia.*

### **2.3.2 SEGUNDO GRUPO**

En este grupo también se realizan dos granulometrías por cada DMN de 25, 19 y 9,5 mm pero que cumplen con alguna o ninguna de las proporciones recomendadas del método Bailey; sus respectivas gráficas y valores de sus proporciones se indican a continuación.

#### **2.3.2.1 Divisiones, Proporciones y Tamices de Control del Segundo Grupo.**

La siguiente tabla presenta los tamices de control hallados para las mezclas del segundo grupo de acuerdo a su respectivo DMN. Las diferentes proporciones (AG, GAF y FAF) son calculadas con los porcentajes que pasan los tamices de control, así como las divisiones de las fracciones de agregado.

**Tabla 2-3 Valores Obtenidos Para los Tamices de Control y las Divisiones del Agregado (segundo grupo).**

Tamices de control del Método Bailey, divisiones del agregado y respectivas Proporciones						
Divisiones , Proporciones y Tamices de control	Segundo Grupo DMN (mm)					
	25,4 mm		19 mm		9,5 mm	
	A	B	A	B	A	B
Pluggers	23,8%	21%	25%	20%	25%	18%
<b>TM</b>	12,5		9,5		4,75	
Interceptors	21,7%	32%	16%	18%	20%	19%
<b>TCP</b>	4,75		4,75		2,00	
Proporción AG	Recomendado 0,7-0,85		Recomendado 0,6-0,75		Recomendado 0,4-0,55	
	0,91	1,52	0,64	0,9	0,8	1,06
Agregado Grueso AG	45,5%	53%	41%	38%	45%	37%
Arena Gruesa	37%	23%	45%	41%	25%	28%
<b>TCS</b>	0,43		0,43		0,43	
Proporción GAF	Recomendado 0,3 - 0,55					
	0,32	0,51	0,24	0,34	0,55	0,56
Arena Fina	12,2%	13%	8,5%	11,5%	26%	23%
Filler	5,3%	11%	5,5%	9,5%	4,0%	12%
<b>TCT</b>	0,075		0,075		0,075	
Proporción FAF	Recomendado 0,3 - 0,55					
	0,30	0,46	0,39	0,45	0,13	0,34
Agregado Fino AF	49,2%	36%	53,5%	52,5%	51%	51%

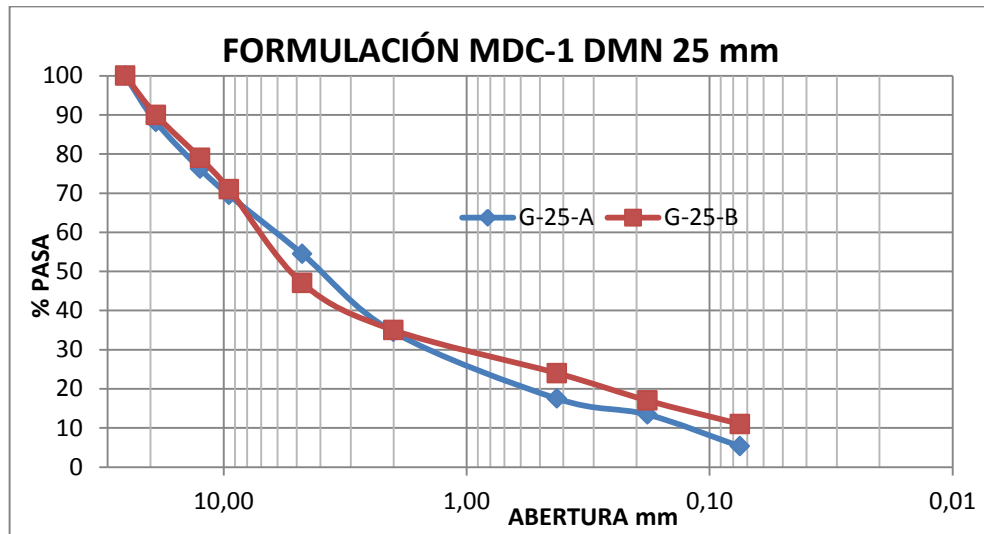
Fuente. Elaboración propia.

### 2.3.2.2 Gráficas de las granulometrías del Segundo Grupo.

A continuación se exhiben las gráficas de las granulometrías que no cumplen, o cumplen, con alguno o ninguno de los rangos recomendados por Vavrik para los parámetros del método Bailey según su Diámetro Máximo Nominal.

En estas gradaciones la granulometría G-25-A presenta valores inferiores para las proporciones GAF y FAF, pero su proporción AG tiene un valor superior al rango sugerido. En la granulometría G-25-B su proporción AG es superior a uno lo que en teoría indica una densidad alta y una baja trabajabilidad, mientras que su proporción FAF se encuentra entre los rangos propuestos y su proporción GAF se encuentra levemente sobrepasada.

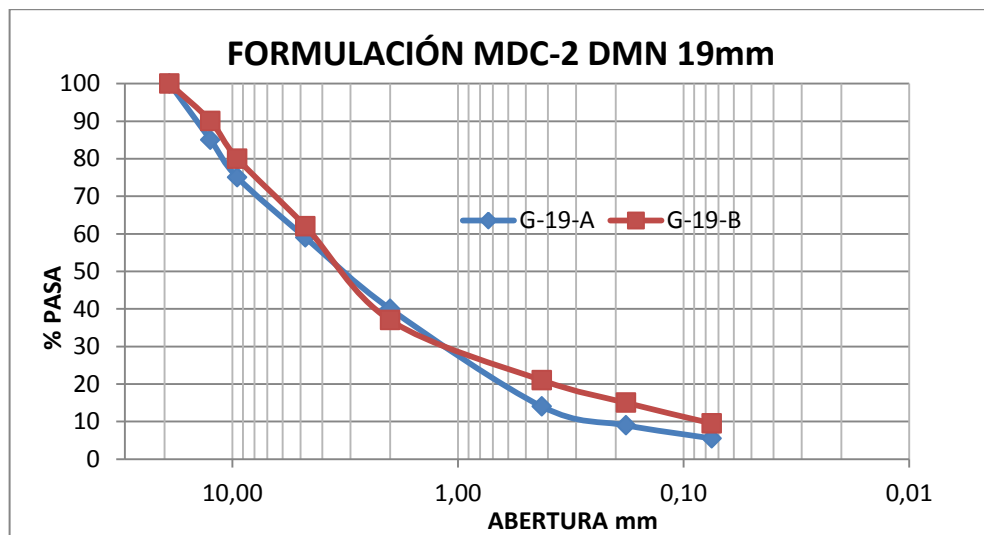
**Gráfica 2-4 Granulometrías DMN 25 mm.**



*Fuente. Elaboración propia.*

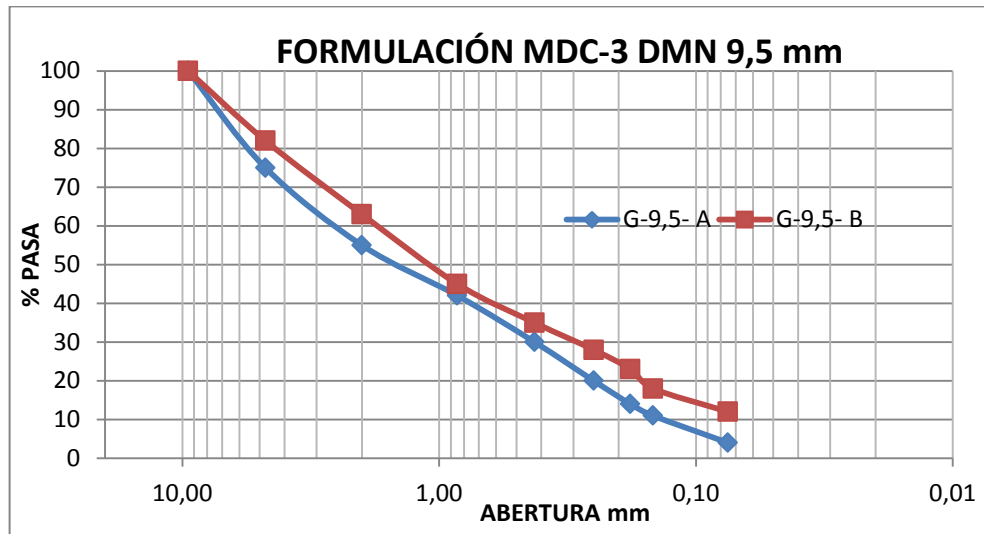
En las siguientes gradaciones, la granulometría G-19-A cumple con la proporción AG, pero en la granulometría G-19-B este valor es superior al recomendado. En tanto la proporción GAF presenta valores inferiores para las dos granulometrías, aunque para la granulometría G-19-B está levemente por debajo del rango, y sus proporciones FAF se encuentran dentro del rango sugerido.

**Gráfica 2-5 Granulometrías DMN 19 mm.**



*Fuente. Elaboración propia.*

Gráfica 2-6 Granulometrías DMN 9,5 mm.



Fuente. Elaboración propia.

Aquí observamos que las dos granulometrías, G-9,5-A y G-9,5-B presentan valores superiores al rango recomendado en la proporción GAF y al mismo tiempo posee valores inferiores en su proporción FAF. En cuanto a la proporción AG, la granulometría G-9,5-A tiene un valor superior al aconsejado y en la granulometría G-9,5-B esta proporción esta por arriba de uno.

## 2.4 EVALUACIÓN DE LA SEGREGABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

El agregado pétreo se calienta a una temperatura entre (140-160) °C aproximadamente, y al mismo tiempo el asfalto se calienta a una temperatura entre (130-140) °C según la norma I.N.V.E -748-07 de la prueba para resistencia utilizando el aparato Marshall. La proporción aproximada de asfalto añadido a todas las mezclas fue de alrededor del 5%.

Cuando los materiales alcanzan estas temperaturas especificadas se mezclan homogéneamente y se vacían en una superficie plana, lisa y seca para conformar una pila. En seguida se procede al extendido de la mezcla con la reglilla fabricada y se divide el material en una capa superior y una inferior, tratando lo mejor posible que estas sean proporcionales. Este procedimiento se efectúa para las doce granulometrías diseñadas por el método Bailey.

## Fotografía 2-4 Proceso de la prueba de segregación para las mezclas asfálticas.

Homogenización de la mezcla



Conformación de la pila



Extensión de la mezcla



Separación de las dos capas



*Fuente: Archivos personales.*

Posteriormente se procede a extraer el asfalto de las muestras según la norma ASTM D-2172 / INV. E-732 y obtener las respectivas granulometrías para conocer su variación respecto a la fórmula original de trabajo. Por último, gracias a la caracterización del material, se determina el grado de segregabilidad de las mezclas asfálticas a través de una desviación estándar y la influencia de los rangos sugeridos por Vavrik en la tendencia de cada mezcla a segregar.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SEGREGACIÓN

En seguida se muestran los resultados de la prueba de segregación llevada a cabo sobre las diferentes mezclas asfálticas y sus correspondientes valores obtenidos.

##### 3.1.1. Nomenclatura de las mezclas.

Cada granulometría se registra con tres abreviaturas de tal manera que ayuden a identificar cada mezcla y su configuración dentro de la investigación. El significado de cada abreviatura se explica en la siguiente tabla y comprenden las mezclas sin adicionar el asfalto y las mezclas con asfalto.

**Tabla 3-1 Significado de la nomenclatura para las mezclas secas y asfálticas.**

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
G-25	Corresponde a la mezcla seca de la granulometría con DMN de 25 mm
G-19	Corresponde a la mezcla seca de la granulometría con DMN de 19 mm
G-9,5	Corresponde a la mezcla seca de la granulometría con DMN de 9,5 mm
SP	Valores superiores a los rangos recomendados para los parámetros del método Bailey
IP	Valores inferiores a los rangos recomendados para los parámetros del método Bailey
MA-25	Corresponde a la mezcla asfáltica de la granulometría con DMN de 25 mm
MA-19	Corresponde a la mezcla asfáltica de la granulometría con DMN de 19 mm
MA-9,5	Corresponde a la mezcla asfáltica de la granulometría con DMN de 9,5 mm

*Fuente: Elaboración propia*

Si por ejemplo tenemos la abreviatura G-25IP estaremos describiendo a la mezcla seca con DMN de 25 mm y que presenta valores inferiores a los parámetros, de igual forma si tenemos G-25A; mantenemos los anteriores significados pero la A indica que se hace referencia al segundo grupo.

### 3.1.2. Cálculo del Grado de Segregación.

El cálculo del grado de segregación se estima por medio de una desviación estándar ( $\delta_d$ ), tanto para los agregados sin asfalto como para las mezclas asfálticas con la siguiente ecuación:

$$\delta_d = \sqrt{\frac{A_i - B_i}{N}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$A_i$  = Valores de la capa superior en porcentaje.

$B_i$  = Valores de la capa inferior en porcentaje.

$N$  = Número de datos.

## 3.2 CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE SEGREGACIÓN EN LAS MEZCLAS SECAS Y ASFÁLTICAS.

### 3.2.1. Segregabilidad de las Mezclas Secas.

A continuación se muestran los valores de la segregación obtenidos para cada granulometría entre la capa superior y la capa inferior, a través de la desviación estándar.

**Tabla 3-2 Parámetro de segregabilidad del agregado pétreo para las mezclas secas.**

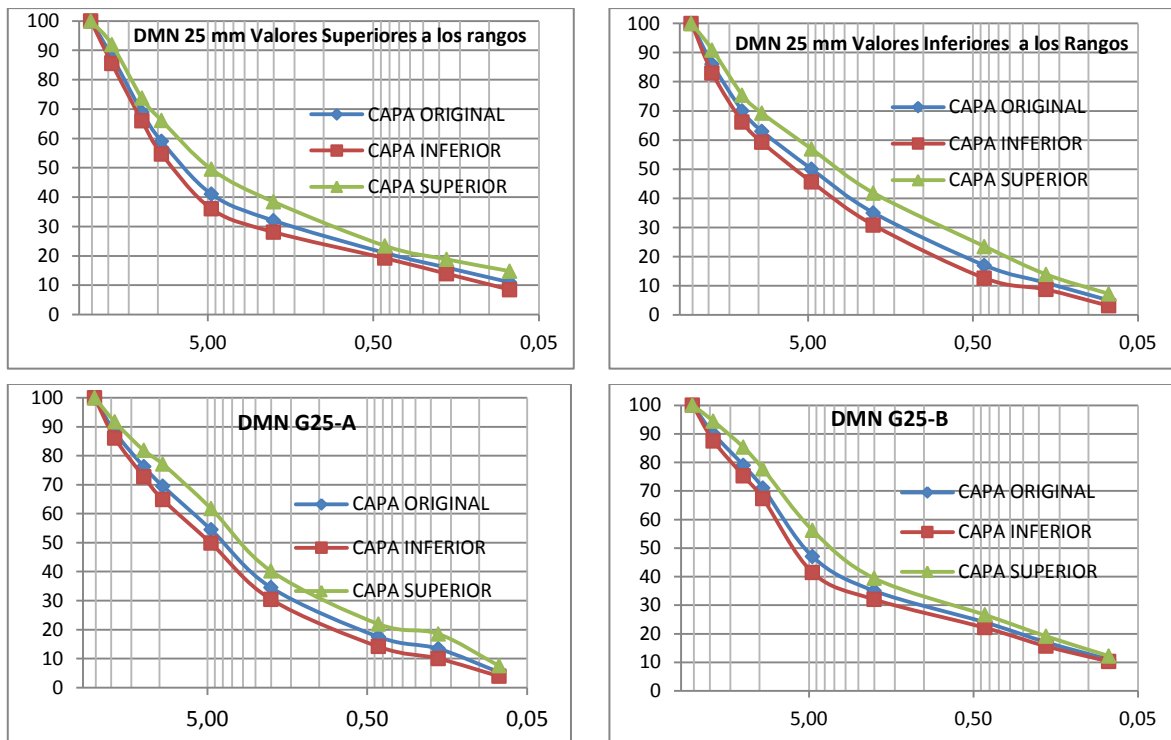
GRADO DE SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO					
PRIMER GRUPO					
DMN 25 mm		DMN 19 mm		DMN 9,5 mm	
<i>Inferiores</i>	<i>Superiores</i>	<i>Inferiores</i>	<i>Superiores</i>	<i>Inferiores</i>	<i>Superiores</i>
9,08	8,67	8,29	7,52	6,45	5,45
SEGUNDO GRUPO					
DMN 25 mm		DMN 19 mm		DMN 9,5 mm	
A	B	A	B	A	B
8,51	8,41	8,13	7,70	6,13	5,86

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.1.1 Gráficas Obtenidas de las Mezclas Secas y sus respectivas capas.

En las siguientes gráficas se representan las curvas de las fórmulas originales de trabajo y sus capas inferior y superior.

**Figura 3-1 Gráficas de las Mezclas Secas DMN 25 mm (primer y segundo grupo).**

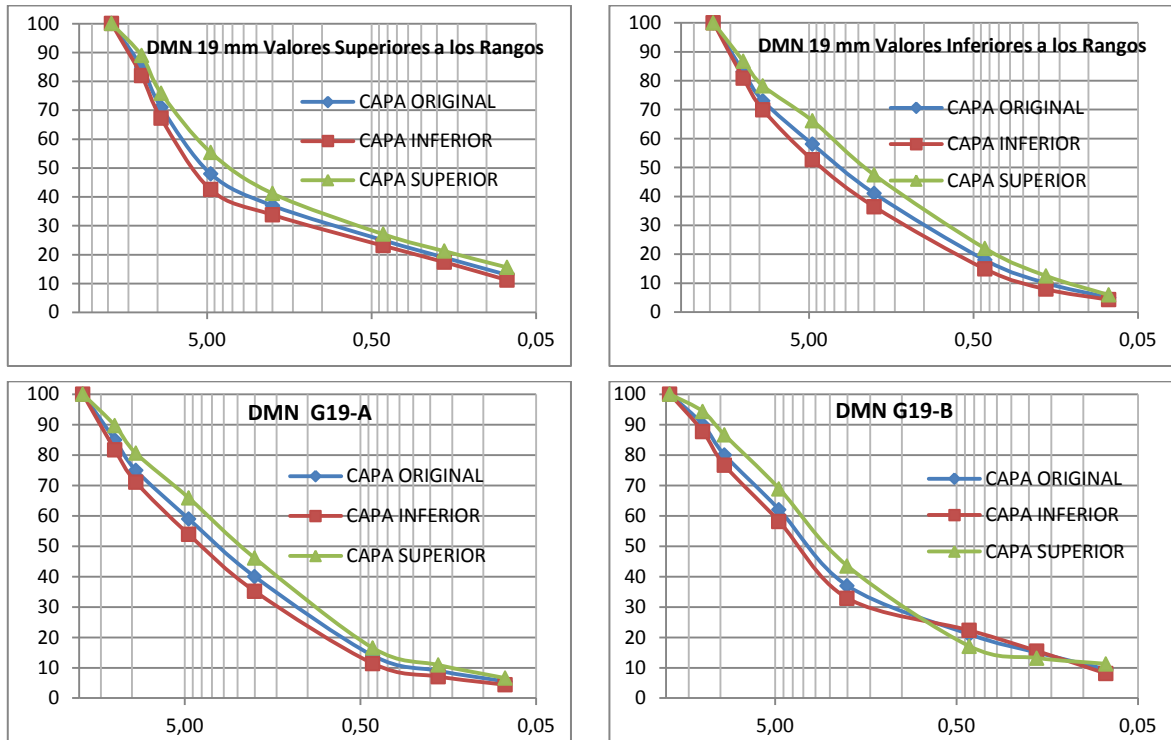


*Fuente: Elaboración propia.*

La gradación G-25IP posee la cantidad de “Espaciadores” más alta de las cuatro granulometrías del mismo DMN, siendo la más segregable. Además sus proporciones GAF y FAF por debajo de los rangos no alcanzan a llenar los vacíos dejados por la Pporción AG. En la gradación G-25SP el aumento de la Proporciones GAF y FAF disminuyen los VMA y Vv dejados por la Pporción AG; estas dos proporciones trabajan en conjunto para llenar los vacíos, proporcionando una mezcla densa (22). Por otro lado, la Pporción AG por encima de uno en la gradación G-25B indica un alto porcentaje de “Interceptores”, los cuales dominan la estructura del esqueleto de la mezcla separando los “Espaciadores”, siendo una mezcla no propensa a la segregación, pero con una resistencia a la densificación (19). En la G-25A hay un aparente equilibrio entre “Interceptores” y “Espaciadores” pero sus proporciones GAF y FAF por debajo de

los rangos no satisfacen los requerimientos volumétricos, además presenta un alto porcentaje de arena gruesa.

**Figura 3-2 Gráficas de las Mezclas Secas DMN 19 mm (primer y segundo grupo).**



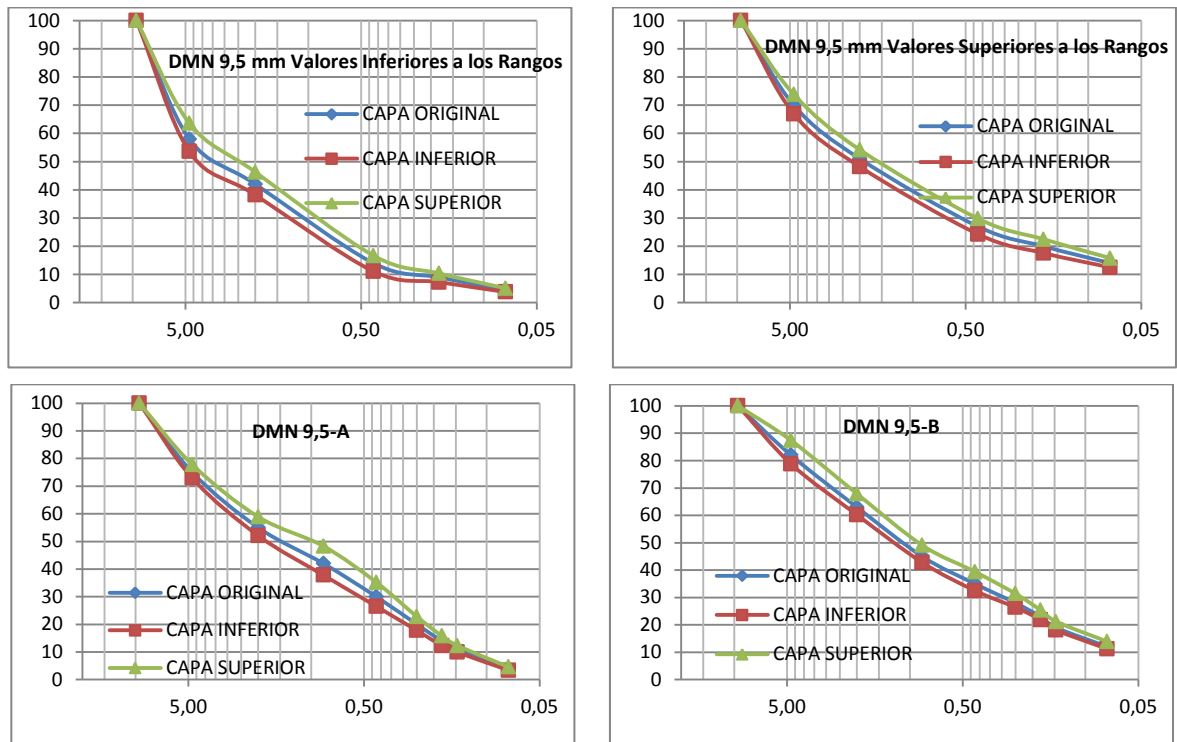
*Fuente: Elaboración propia.*

La gradación G-19IP también indica una gran cantidad de “Espaciadores” (64,3%) y un porcentaje alto de arena gruesa lo que indica una alta susceptibilidad a segregar. La G-19A muestra una cantidad importante de la parte fina del total del agregado. También posee un porcentaje elevado de “Espaciadores” (61%), su Pporción GAF es demasiado baja y la Pporción FAF se encuentra levemente sobrepasada lo que puede acarrear problemas, aunque su Pporción AG se encuentre entre el intervalo recomendado.

Mientras que en la G-19B su Pporción AG por arriba de los rangos y la alta cantidad de agregado fino, indica que el agregado grueso no forma parte esencial del esqueleto de la mezcla y flota en una matriz fina, donde las dos proporciones de la parte fina trabajan en conjunto para balancear esta fracción. En la G-19SP hay un aparente equilibrio de la parte gruesa y fina del total de la mezcla, además

sus proporciones se encuentran levemente sobrepasadas de los rangos recomendados.

**Figura 3-3 Gráficas de las Mezclas Secas DMN 9,5 mm (primer y segundo grupo).**



*Fuente. Elaboración propia*

Estas granulometrías son menos propensas a segregar porque son más finas desde el punto de vista de su DMN y al parecer donde los criterios de los rangos son menos concluyentes. La G-9,5IP presenta una gran cantidad de agregado grueso (58%), y mucha arena gruesa (74,6%) de la porción fina, y además con discontinuidades en su curva granulométrica. Por otro lado las granulometrías G-9,5A y G-9,5B exhiben valores de sus proporciones parecidos, aunque la primera presenta un valor muy por debajo del recomendado en la Pporción FAF y en la segunda la Pporción GAF es sobrepasada pero se compensa con su Pporción FAF levemente inferior al rango (22). La gradación menos segregable corresponde a la G-9,5SP que presenta un aparente equilibrio entre agregado grueso y fino, aunque tiene una gran cantidad de “Espaciadores”(61%), estos flotan en una matriz de agregado fino el cual llena los vacios dejados por estos, que en estas gradaciones finas no son muy grandes. Cuando las mezclas finas

entran levemente entre los rangos recomendados estas son susceptibles a presentar segregación (10).

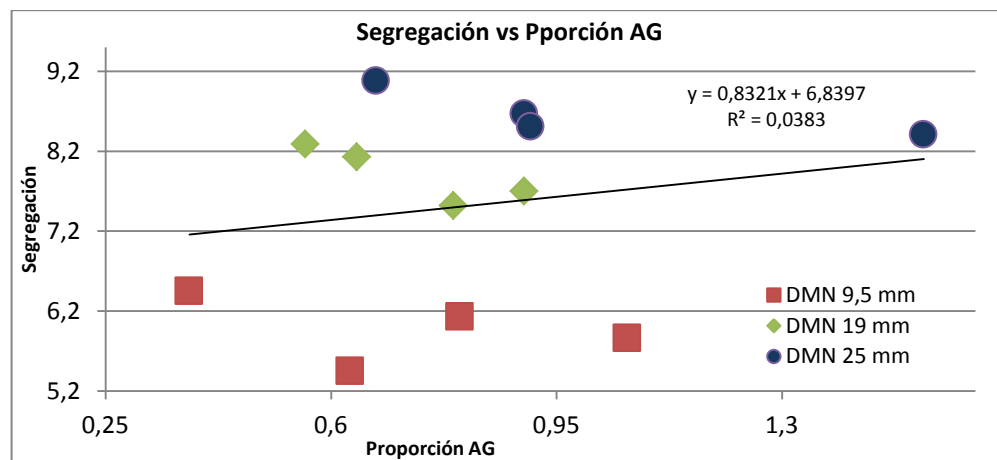
### 3.2.1.2 Gráficas de las Relaciones entre los Parámetros del Método Bailey y su Grado de Segregación para las Mezclas Secas.

Se advierte que no se muestra una relación pronunciada entre las diferentes proporciones y el grado de segregación de cada una de las granulometrías. Esto demuestra el carácter empírico de los rangos aconsejados por Vavrik para las distintas proporciones y algunas de las falencias del método Bailey al evaluar la estructura del agregado de forma particular y no global.

También se observa que las granulometrías con DMN 25 mm son las que muestran los valores más altos de segregación respecto a cada proporción, y las granulometrías con DMN 19 mm son las que se acercan más a la regresión lineal en las tres gráficas, al igual que los puntos de las gradaciones con DMN 25 mm y 9,5 mm se encuentran dispersos casi a la misma distancia de la misma recta de regresión.

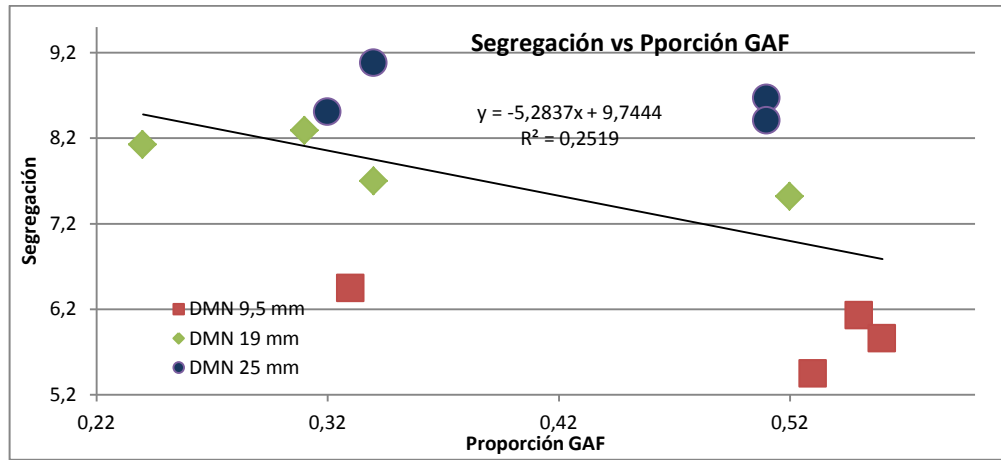
Aunque no se exhibe una relación entre el grado de segregación, las proporciones y el diámetro máximo nominal, la dispersión de los puntos es más o menos homogénea en los tres casos y muestran mayor coeficiente de correlación de forma individual que en conjunto, es decir, del conjunto de gradaciones con un solo tamaño máximo de agregado y sus respectivas proporciones (anexo D).

**Figura 3-4 Relaciones entre los parámetros Bailey y su grado de segregación.**

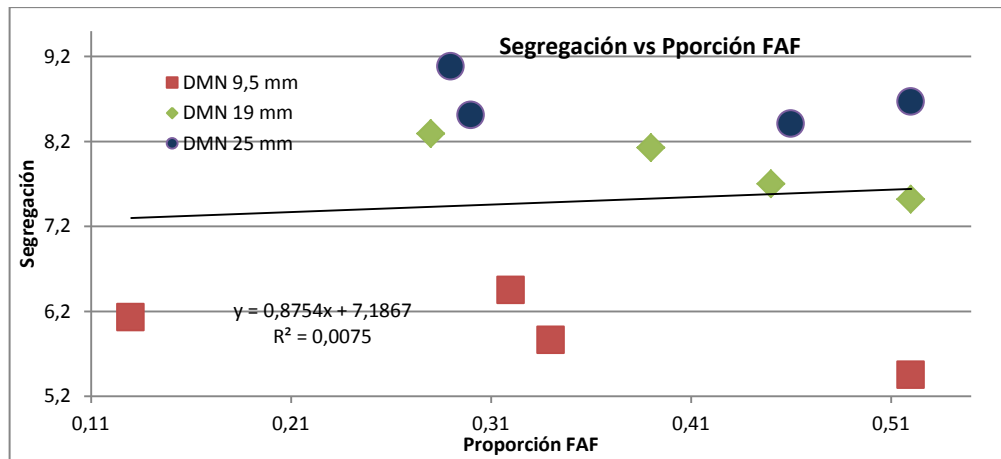


(a)

### 3.2.1.2 (Continuación)



(b)



(c)

Fuente. Elaboración propia

### 3.2.2 SEGREGABILIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

A continuación se muestran los resultados del grado de segregación para las mezclas asfálticas de los dos grupos de gradaciones y sus respectivos DMN.

**Tabla 3-3 Parámetro de segregabilidad del agregado para las mezclas asfálticas.**

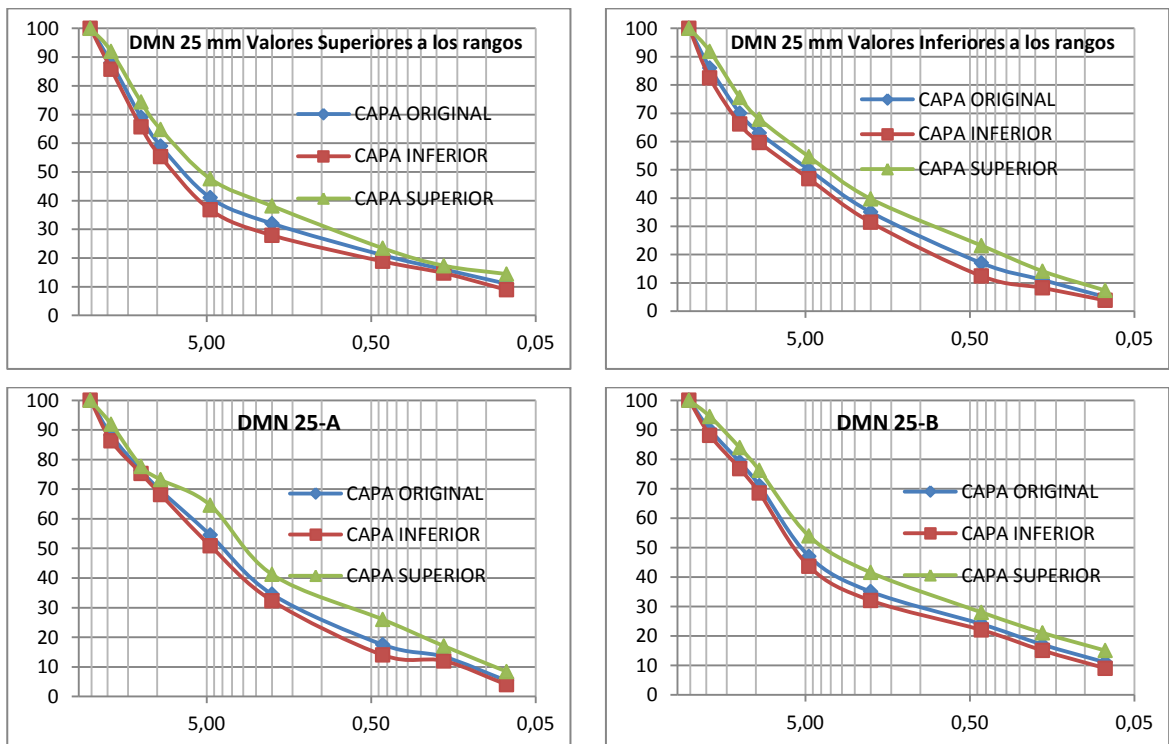
GRADO DE SEGREGABILIDAD DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS					
PRIMER GRUPO					
DMN 25 mm		DMN 19 mm		DMN 9,5 mm	
Inferiores	Superiores	Inferiores	Superiores	Inferiores	Superiores
8,22	7,78	7,46	6,73	5,48	4,36
SEGUNDO GRUPO					
DMN 25 mm		DMN 19 mm		DMN 9,5 mm	
A	B	A	B	A	B
8,04	7,54	7,29	6,94	5,35	4,81

Fuente. Elaboración propia

### 3.2.2.1 Gráficas Obtenidas de las Mezclas Asfálticas y sus respectivas capas.

En las siguientes gráficas se representan las curvas de las fórmulas originales de trabajo y sus capas inferior y superior.

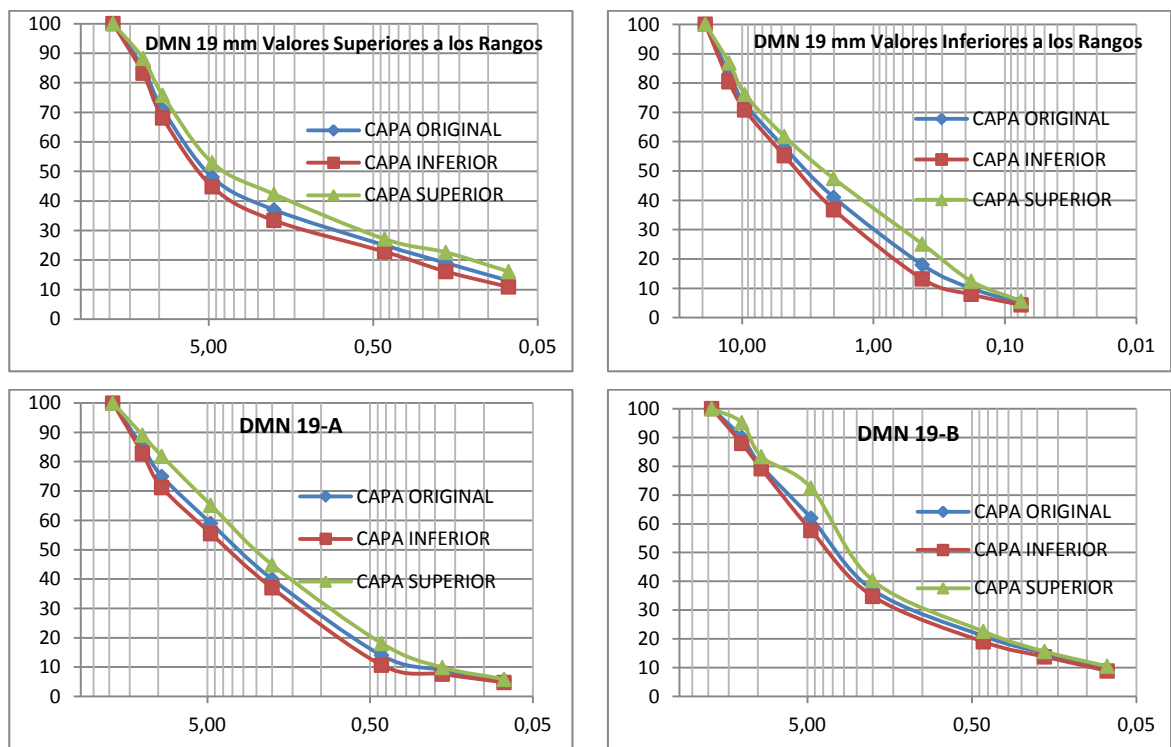
**Figura 3-5 Gráficas de Mezclas Asfálticas DMN 25 mm (primer y segundo grupo).**



Fuente. Elaboración propia

La mezcla MA-25B sigue siendo la menos segregable (7,54) de las cuatro granulometrías con el mismo DMN; aunque presenta una variación del 10,3% en el tamiz No 4 respecto a su capa superior e inferior; la mezcla MA-25A (8,51) presenta una discontinuidad entre los tamices No 4 y No 40 en su capa superior donde se supone se depositan los agregados finos por acción de su peso específico, y siendo la segunda más segregable a pesar de presentar variaciones del 13,26% y 12% respectivamente. En todas las granulometrías la capa inferior es la que menos se aleja de la configuración inicial, debido quizá a la mayor cantidad de agregado que esta capa posee.

**Figura 3-6. Gráficas de las Mezclas Asfálticas DMN 19 mm (primer y segundo grupo)**

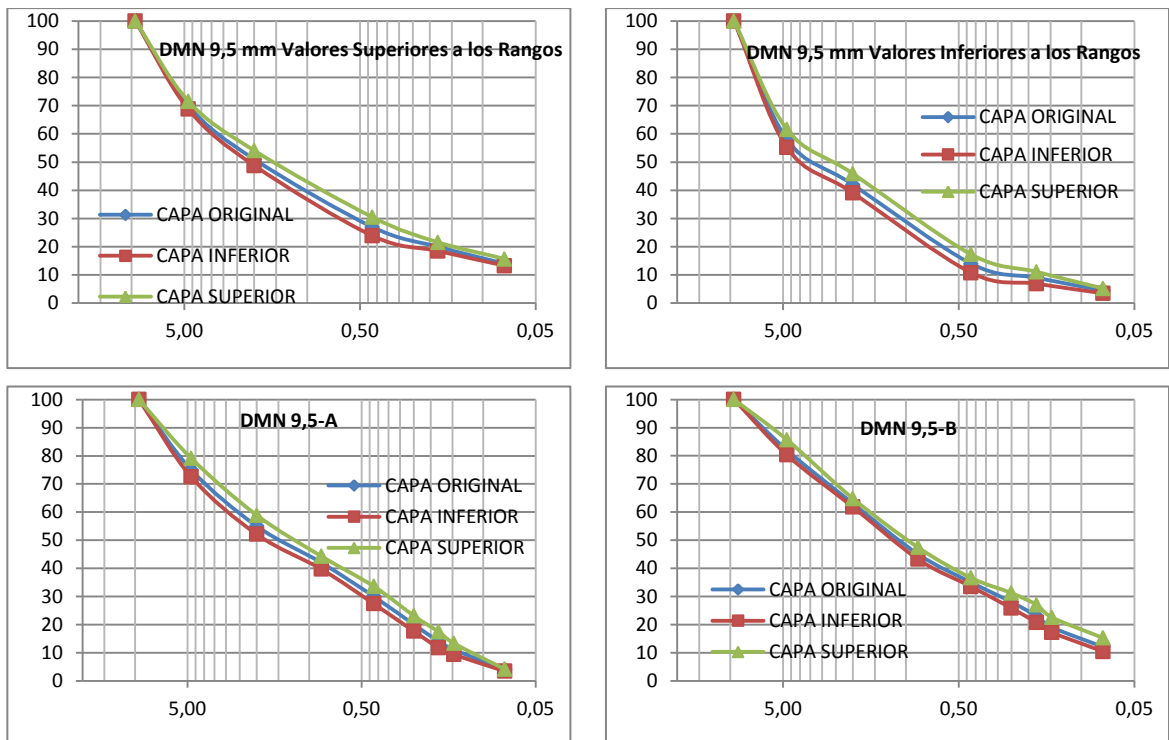


*Fuente. Elaboración propia*

En estas gradaciones la mezcla MA-19IP es más segregable nuevamente debido a una diferencia del 11,9% en el tamiz No 40 y su alto porcentaje de “Espaciadores” (64,3%), que es menor del contenido que posee la mezcla MA-19A (76,3) pero su proporción se encuentra dentro de los rangos recomendados del método. En todas las granulometrías sus capas superiores no se alejan mucho de

la curva inicial, aunque en la MA-19B hay una gran discontinuidad en el tamiz No 4 (14,8%) debido posiblemente a su alto contenido de *arena gruesa* en su porción fina, pero que resulta ser la segunda menos segregable respecto a las otras gradaciones del mismo DMN.

**Figura 3-7. Gráficas de Mezclas Asfálticas DMN 9,5 mm (primer y segundo grupo).**



Fuente. Elaboración propia

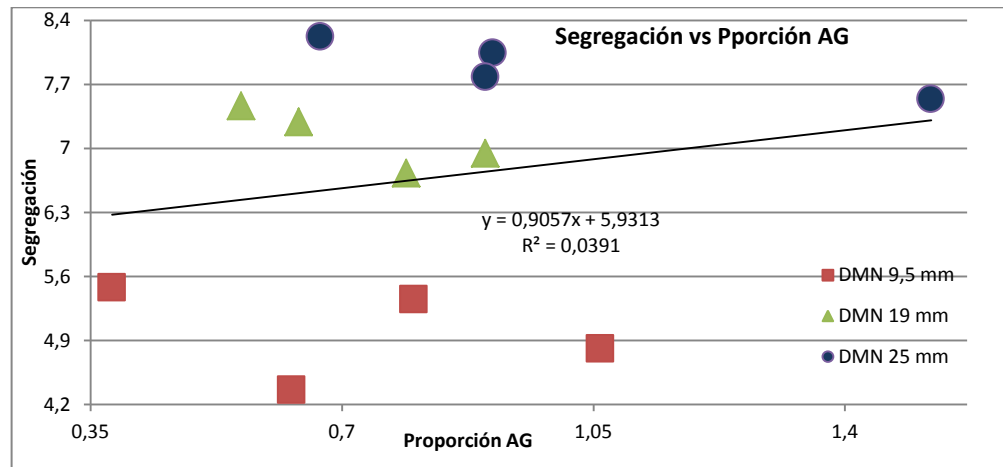
Estas granulometrías son las que presentan los menores grados de segregación de todas las granulometrías estudiadas, debido en gran parte a su menor tamaño máximo de agregado, y otra de sus ventajas es que si la mezcla es densa y continua no presenta grandes problemas de compactación en campo (25). Además presentan diferencias entre el 5 y el 10% entre sus tamices pero no mayores al 10%.

La mezcla MA-9,5IP muestra una curva discontinua, además de poseer un alto porcentaje de “Espaciadores” (64,3) y *arena gruesa* (40%) lo que la hace la más segregable de las cuatro granulometrías.

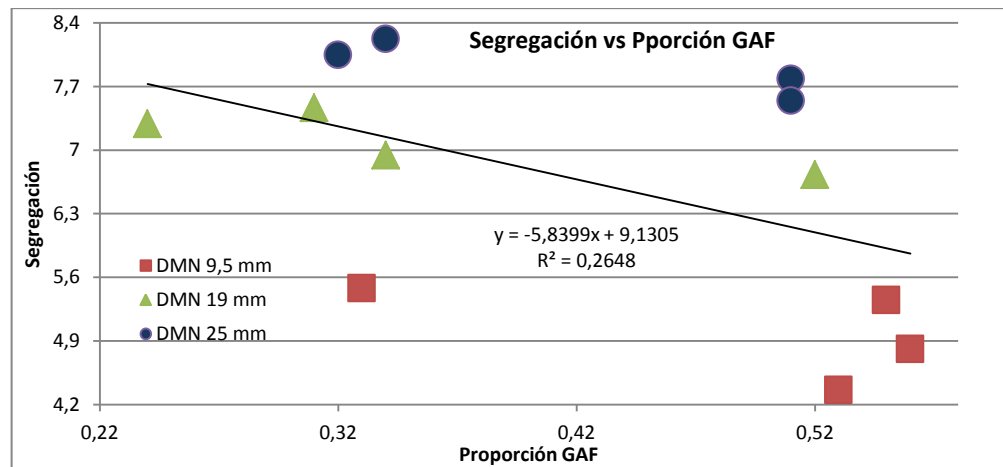
### 3.2.2.2 Gráficas de las Relaciones entre los Parámetros del Método Bailey y su Grado de Segregación para las Mezclas Asfálticas.

Las relaciones de los parámetros y el grado de segregación de las mezclas asfálticas se presentan a continuación.

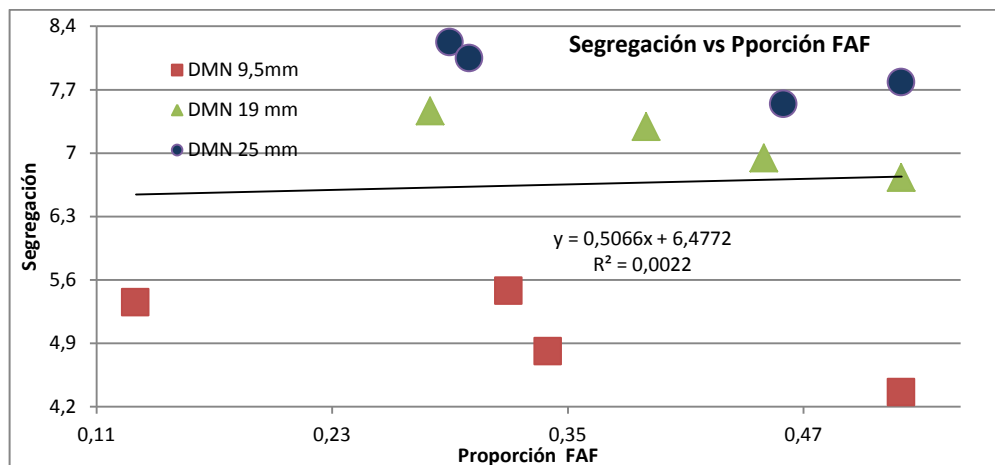
**Figura 3-8 Relaciones entre los parámetros Bailey y su grado de segregación.**



(a)



(b)



(c)

Fuente: Elaboración Propia

La relación más alta de las tres proporciones se encuentra en la Pporción FAF (c), pero debido quizá a que los rangos recomendados por Vavrik para todos los diámetros máximos nominales están entre 0,35 y 0,5 y su coeficiente de relación es bajo. Nuevamente las granulometrías con DMN 25 mm presentan los valores más altos de segregación, junto con las gradaciones de 19 mm.

Las relaciones tan bajas hacen pensar que los rangos recomendados de las proporciones se aproximan más para un tipo determinado de tamaño máximo de agregado y no de una forma general para todos los tamaños de agregado (Anexo D), esto en referencia a que los vacíos o espacios creados por los agregados de tamaño 25 mm son más grandes a los creados por un diámetro de 9,5 mm, pero que a diferencia de los primeros no crean tantos problemas si hay muchas partículas de este tamaño, es decir, los “Espaciadores”.

Por otro lado las proporciones dependen inicialmente de los tamices de control que a su vez dependen del diámetro máximo nominal, es decir, para las Ecuaciones 1,1 y 1,2, y de las cuales se desprenden las otras ecuaciones para hallar los respectivos tamices de control. Además que la metodología para hallar el diámetro máximo nominal es por medio de la especificación Superpave y que en el estudio coincide con el del tamaño máximo de la granulometría seleccionada.

### 3.3 ANÁLISIS POR MÍNIMOS CUADRADOS

Como las regresiones lineales no muestran una relación apreciable entre las proporciones y la segregación, se utiliza el método de Regresión Lineal Múltiple tomando como variables independientes cada una de las proporciones individuales y el DMN para encontrar una ecuación que nos sirva para estimar la segregación conociendo estas dos variables.

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y \quad \text{Ecuación 3,1}$$

En donde:

Z = segregación.

$a_0, a_1, a_2 = \text{coeficientes}$

X = Proporción AG, GAF o FAF.

Y = Diámetro Máximo Nominal.

De esta forma obtenemos las siguientes ecuaciones de las Mezclas Secas para cada una de las tres proporciones:

$$Z = 4,81 - 0,85AG + 0,19y \quad \text{Ecuación 3,2}$$

$$Z = 5,57 - 2,31GAF + 0,16y \quad \text{Ecuación 3,3}$$

$$Z = 4,86 - 1,68FAF + 0,18y \quad \text{Ecuación 3,4}$$

$$Z = 5,55 - 0,43AG - 1,2GAF - 1,14FAF + 0,18y \quad \text{Ecuación 3,5}$$

Mientras que para las Mezclas Asfálticas se tienen las siguientes ecuaciones:

$$Z = 3,6 - 0,61AG + 0,2y \quad \text{Ecuación 3,6}$$

$$Z = 3,79 - 0,99GAF + 0,18y \quad \text{Ecuación 3,7}$$

$$Z = 3,51 - 0,79FAF + 0,19y \quad \text{Ecuación 3,8}$$

$$Z = 3,68 - 0,53AG + 0,1GAF - 0,63FAF + 0,2y \quad \text{Ecuación 3,9}$$

Las ecuaciones 3,5 y 3,9 corresponden a una forma “general” de las res ecuaciones, pero que involucra las tres proporciones y el DMN. Se promedian los valores hallados con las ecuaciones y se compara con el valor de la ecuación que tiene en cuenta las tres proporciones para obtener de esta forma un estimativo de la segregación. Aunque las gráficas de estas ecuaciones son en tres dimensiones no proveen de manera fácil información acerca de la segregación.

Por esta razón se llevan estas ecuaciones a una forma de ecuación de la recta y de este modo generar un gráfico en dos dimensiones que muestre de una manera más fácil alguna relación. Para esto se hallan unos factores que multiplican las dos variables independientes, en este caso las proporciones y el DMN, obteniendo las siguientes ecuaciones para las Mezclas Secas:

$$Z = 4,81 + (-0,85AG + 0,19y)$$

$$Z = 4,81 + 0,19\left(\frac{-0,85}{0,19}AG + y\right)$$

Y donde el factor  $\left(\frac{-0,85}{0,19}AG + y\right)$  se le asigna la letra  $X_1$ , reescribiendo la ecuación de la siguiente manera:

$$Z = 4,81 + 0,19X_1 \quad \text{Ecuación 3,10}$$

Y así para las otras ecuaciones:

$$Z = 5,57 + 0,16X_2 \quad \text{Ecuación 3,11}$$

$$Z = 4,86 + 0,18X_3 \quad \text{Ecuación 3,12}$$

$$Z = 5,55 + 0,18y \quad \text{Ecuación 3,13}$$

En donde:

Z = segregación.

$X_1, X_2, X_3$  = Factores AG, GAF, FAF respectivamente y su DMN.

Y = Los factores AG, GAF y FAF combinados.

De igual forma se obtienen las ecuaciones para las Mezclas Asfáticas:

$$Z = 3,6 + 0,2X_1 \quad \text{Ecuación 3,14}$$

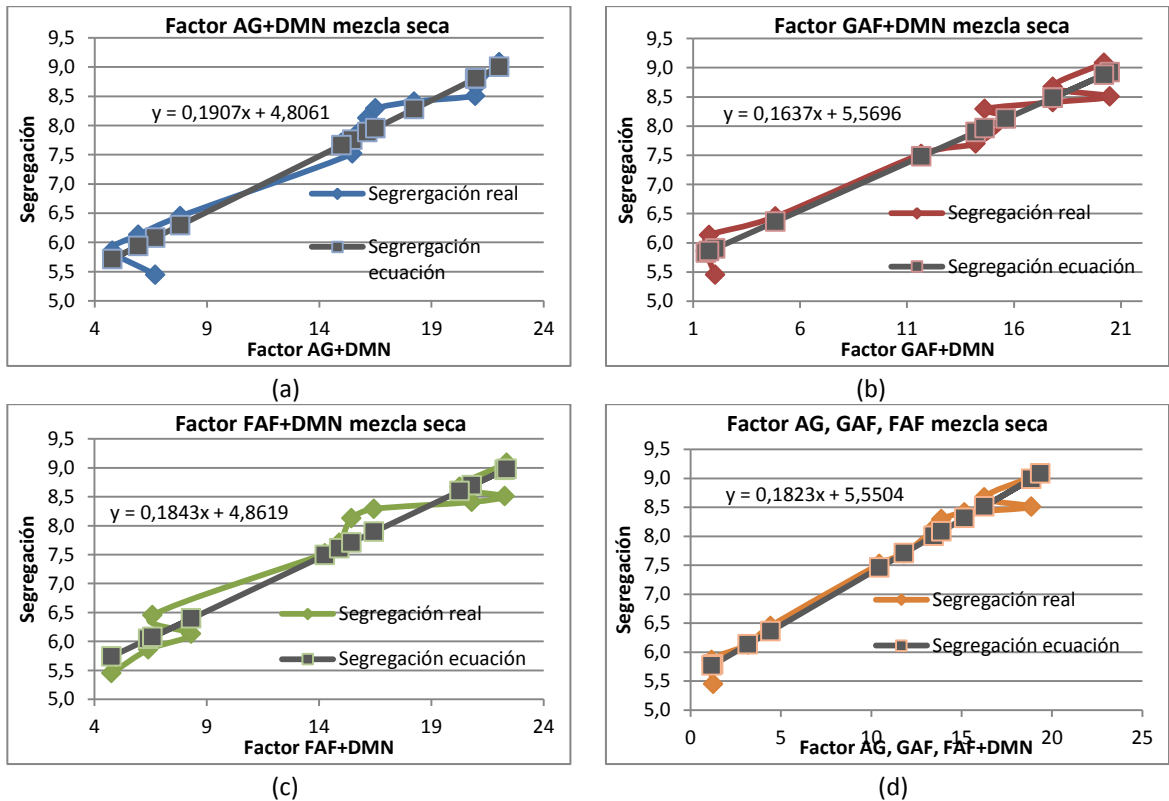
$$Z = 3,79 + 0,18X_2 \quad \text{Ecuación 3,15}$$

$$Z = 3,51 + 0,19X_3 \quad \text{Ecuación 3,16}$$

$$Z = 3,68 + 0,2y \quad \text{Ecuación 3,17}$$

Con estos conjuntos de ecuaciones se grafican las curvas de los factores contra la segregación real, y contra la segregación hallada por medio de las ecuaciones.

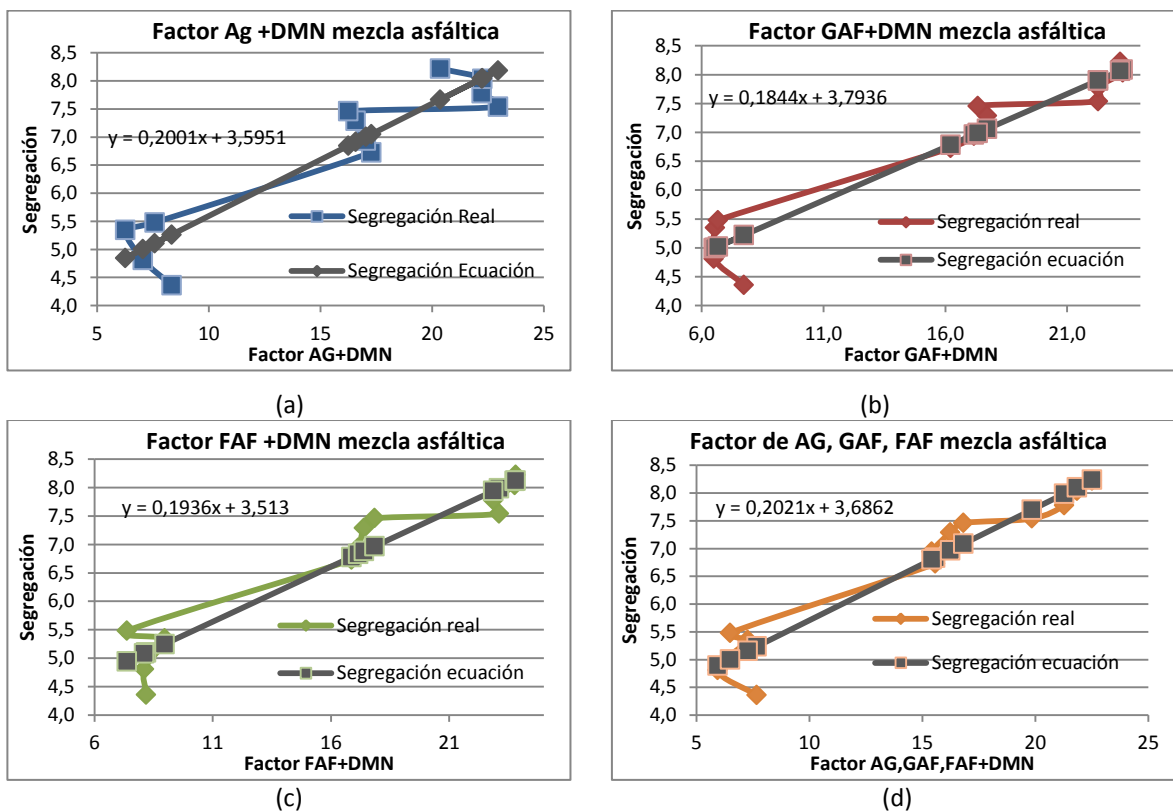
**Figura 3-9 Gráficas de los factores de las proporciones y la segregación de las mezclas secas.**



Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que existe una gran correlación entre las curvas de la segregación real y las rectas de la segregación hallada por medio de las ecuaciones proporcionadas por la regresión lineal múltiple y luego transformadas en ecuaciones de la recta. Las pendientes de las ecuaciones son casi iguales y se acomodan de una manera muy parecida en las cuatro gráficas. Pero solamente suministran información de la segregación teniendo en cuenta el tamaño máximo y las proporciones del método Bailey sin tomar en cuenta otras condiciones de las mezclas densas como lo es su contenido óptimo de asfalto, las propiedades de los agregados, entre otras, y por esto no es posible dar un rango de “buena” o “mala” segregación conociendo solo las proporciones y el tamaño máximo.

**Figura 3-10 Gráficas de los factores de las proporciones y la segregación de las mezclas asfálticas.**



Fuente: Elaboración Propia

También en las mezclas asfálticas se exhiben grandes correlaciones respecto a las gráficas de los factores de las proporciones y la segregación respecto a la ecuación de la recta.

Se observa además que las segregaciones más “bajas” corresponden a las gradaciones con tamaño máximo de 9,5 mm y las más altas a las gradaciones con un tamaño máximo de 25 mm. Pero donde es más evidente esta correlación entre los valores del laboratorio y los teóricos es en el tamaño máximo de 19 mm, aunque esto no quiere decir que las muestras sean más tolerantes a segregar, o que su comportamiento se pueda predecir por medio de la ecuación, sino que es más una aproximación al que esta pueda tener en el laboratorio, teniendo en cuenta solo las proporciones y el tamaño de una gradación.

### **3.4 ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LOS AGREGADOS**

#### **3.4.1 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>Peso específico Bulk:</b>	2,545
<b>Peso específico Bulk SSS:</b>	2,616
<b>Peso específico Aparente:</b>	2,739
<b>Absorción (%):</b>	2,7%

En este ensayo se utilizó la norma I.N.V.E-222-07.Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos, para determinar gravedades.

#### **3.4.2. 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>Peso específico Bulk:</b>	2.637
<b>Peso específico Bulk SSS:</b>	2.681
<b>Peso específico Aparente:</b>	2.758
<b>Absorción (%):</b>	1.67%

En este ensayo se utilizó la norma I.N.V.E-223-07.Gravedad Específica y Absorción de Agregados Grueso, para determinar sus gravedades.

### 3.4.3. Extracción del Bitumen de las Mezclas Asfálticas.

A continuación se consignan los porcentajes de asfalto para cada capa de las granulometrías estudiadas por medio de a norma I.N.V.E-732 Extracción Cuantitativa de Asfalto en Mezclas para Pavimentos, con el método de la centrifugación.

**Tabla 3-4 Porcentaje de Asfalto presente en Cada Capa de las Mezclas Asfálticas.**

PRIMER GRUPO							
		DMN 25 mm		DMN 19 mm		DMN 9,5 mm	
		Inferiores	Superiores	Inferiores	Superiores	Inferiores	Superiores
Capa Inf		5,14%	5,10%	5,11%	5,15%	4,89%	4,92%
Capa Sup		4,82%	4,88%	4,83%	4,81%	5,03%	4,98%
SEGUNDO GRUPO							
		DMN 25 mm		DMN 19 mm		DMN 9,5 mm	
		A	B	A	B	A	B
Capa Inf		4,79%	4,94%	4,84%	4,88%	4,82%	4,81%
Capa Sup		5,19%	5,02%	5,10%	5,08%	5,16%	5,19%

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se advierte las diferencias en el porcentaje de asfalto no proporcionan información acerca de la segregación presente en las mezclas.

## 4. CONCLUSIONES

- ❖ El método Bailey es una herramienta analítica que ayuda a predecir los cambios volumétricos de la mezcla. Este se concentra en la evaluación de la gradación y las propiedades de los agregados que afectan como los agregados encajan entre sí en un espacio confinado o volumen.
- ❖ Las gradaciones más segregables son las que presentan una gran cantidad de “Espaciadores”, es decir, con una baja Pporción AG; puesto que estos se esparcen y flotan en una matriz de agregados finos.
- ❖ La Proporción AG presenta una fuerte relación en la segregación de mezclas gruesas (DMN 25 y 19), mientras que la Pporción GAF parece tener una mayor incidencia en la gradación con DMN 9,5 mm.
- ❖ Algunas de las tendencias de las mezclas a segregar se mantienen tanto para las mezclas secas como para las mezclas con asfalto.
- ❖ Las variaciones de los porcentajes que pasan los tamices No 4, No 8 y 3/8 propuestos por Brown (2) no son una garantía para determinar el grado de segregación de una mezcla, aunque puede ser una guía para comparar los resultados junto con los parámetros del método Bailey.
- ❖ Los rangos de las diferentes proporciones del método Bailey propuestos por Vavrik se deben utilizar con precaución a la hora de escoger una gradación, porque estos no garantizan que la mezcla no segregue puesto que en la literatura revisada, estos resultan ser más empíricos que objetivos.
- ❖ Los rangos recomendados de las proporciones del método Bailey dan una guía aproximada de la segregación de la mezcla, sin embargo tienen mayor incidencia en gradaciones gruesas.
- ❖ En las mezclas estudiadas la segregabilidad se presenta de manera más acentuada en mezclas con mayor cantidad de “Espaciadores”, lo que coincide con los valores recomendados por Vavrik al aplicar el método Bailey.

- ❖ En el caso de mezclas gruesas, el parámetro GAF muestra correlación con la segregabilidad; a menor valor de GAF mayor segregabilidad. Mientras que las recomendaciones del método Bailey se dan para granulometrías gruesas y finas, los estudios no muestran correlación de este parámetro con la segregación de mezclas finas.
- ❖ El método Bailey provee una aproximación racional a la combinación de los agregados y su evaluación dentro de la mezcla; aunque esta evaluación parece ser para un conjunto de tamices o tamaños de agregados y no para la mezcla global.
- ❖ Se estableció un parámetro que correlaciona muy bien el grado de segregación observado en el laboratorio. Este parámetro toma en cuenta el tamaño máximo de la granulometría y las proporciones del método Bailey.
- ❖ Mediante las ecuaciones halladas por el Método de regresión lineal múltiple se puede dar un estimativo de la segregación de las mezclas, conociendo las proporciones y el tamaño máximo de la gradación. Pero sin que se plantee un rango de tolerancia de la segregación respecto a su tamaño máximo.

## 5. RECOMENDACIONES

- ❖ Lavar muy bien los agregados para disminuir los errores por adhesión de filler o polvo a las partículas más gruesas.
- ❖ Elaborar un reglilla lo suficientemente gruesa para evitar que el agregado pase por encima de ella, alterando las cantidades de agregados gruesos o finos en la capa a la vista.
- ❖ Buscar otros métodos de medición o separación de las capas inferior y superior para que la simulación del proceso de la pavimentadora sea más efectivo.
- ❖ Utilizar otros métodos de regresión pero con más muestras elaboradas para determinar una mejor regresión.
- ❖ Proporcionar un rango de segregación aceptable a través de la evaluación de las propiedades del agregado y, el contenido óptimo de asfalto, ya que la segregación depende mucho de estos factores.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. AL SHAMSI K., MOHAMAD L, A Look at the Bailey Method and Locking Point Concept in Superpave Mixture Design. Transportation research circular. Number E-C124. December 2007.
2. AURILIO VINCE P, PINE William y LUM Paul. The Bailey method achieving volumetrics and HMA compactability.
3. BAÑÓN BLÁZQUEZ, L., BEVÍA GARCÍA, J., Manual de carreteras. Universidad de Alicante. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. Alicante 2000. Vol 1-2.
4. BOTELLA NIETO, R., PÉREZ JIMÉNEZ, F. E., MARTÍNEZ REGUERO, A.H., GARCÍA SANTIAGO, J. L. Influencia de las segregaciones térmicas en el comportamiento mecánico de la mezclas bituminosas. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 2009.
5. CUNHA Marcos Bottene. Avaliação do método Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas. Universidade de São Paulo. São Carlos 2004.
6. DELGADO ALAMILLA H., GARNICA ANGUAS P., VILLATORO MENDEZ G.M., RODRÍGUEZ OROPEZA G., Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica No.299. Sanfandila 2006.
7. DENNEMAN, E. Aggregate packing characteristics of good and poor performing asphalt mixes. Southern African Transport Conference. (SATC) South Africa 2007.
8. DON BROCK J., PhD., P.E., JAKOB Herb. Temperature segregation/Temperature Differential Damage. Technical Paper T-134. Astec Industries, Inc.  
\_\_\_\_\_, MAY James G., y RENEGAr Greg. Segregacion causas y soluciones. Boletín técnico T-117S. Astec Industries, Inc.
9. FIGUEIREDO ALVES, T.S., Metodologias de auscultacao de pavimentos rodoviários. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, setembro de 2007.
10. GIERHART DANNY. Analysis of Oklahoma mix designs for the national center for asphalt technology test track using the Bailey Method. Transportation research circular. Number E-C124. December 2007
11. GONZÁLEZ Eva Gómez. Factores que influyen en la heterogeneidad de la fabricación y extendido de las mezclas bituminosas en caliente así como el efecto en su comportamiento. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament Infraestructura del Transport i Territori. Mayo 2009.
12. HENAULT John W. Development of Guidelines for Reduction of Temperature Differential Damage (TDD) for Hot Mix Asphalt Pavement Projects in Connecticut. Connecticut Department of Transportation Bureau of Engineering and Highway Operations Division of Research. November 1999.  
\_\_\_\_\_, LARSEN Donald A., P.E. Quantifying segregation in HMA pavements using non-nuclear density devices: data collection report for

- Connecticut. Connecticut Department of Transportation Bureau of Engineering and Highway Operations Division of Research. November 2006.
13. KENNEDY, T.W., TAMHORESSI, M., HOLMGREEN, R.J., Segregation of asphalt mixtures- causes, identification and cures. Center for Transportation research, Austin. TX. November 1986.
  14. MIRÓ RECASENS, R. Profesor titular de caminos. Pavimentos de baja sonoridad. Informe. Universidad politécnica de Cataluña.
  15. PINE Bill, Bailey method basics.ppt. Emulsicoat, Inc. / Heritage Research Group. DEC 29 2006.
  16. RAMÓN CRESPO DEL RÍO, Jornadas sobre la calidad en el proyecto y la construcción de carreteras, AEPO Ingenieros Consultores. Barcelona Mayo 19 de 1999.
  17. REMOLINA MANOSALVA J.A., FIALLO MARMOL A.F., Análisis de la segregación de mezclas de pavimento. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2009.
  - SCHEROCCMAN James A, P.E. Segregación: Causas y soluciones. Revista Asphalt. 2006.
  18. SEBESTA Stephen, SCULLION Tom, P.E. Application of Infrared Imaging and Ground-Penetrating Radar for Detecting Segregation in Hot-Mix Asphalt Overlays. Texas Transportation Institute. November 12, 2002.
  19. STEPHENS, Jack E., MAHONEY James, DIPPOLD Cory. Development of test to measure the tendency for a hot-mix asphalt to segregate. University Of Connecticut, Connecticut DOT. February 2000.
  - STROUP-GARDINER M, BROWN E. R. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements. Report 441. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Washington, D.C. 2000.
  20. TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND THE FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Quality management of flexible pavement layers with seismic methods: test methods. Product 5-1735-01-P5. November 2006.
  21. VAVRIK, W.R., HUBER, G., PINE, W., Bailey method for gradation selection in HMA mixture design. Transportation research circular. Number E-C044. October 2002.
  22. WAYNE WALD CHRISTOPHER, B .S., Investigation of the use of the Bailey method of aggregate gradation selection for asphalt mix design in Arkansas. University of Arkansas. December 2003
  23. WILLIAMS R. Christopher, DUNCAN Gary R, Jr y WHITE Thomas D. Sources, measurement, and effects of segregated hot mix asphalt. Purdue University, December, 1996.

# **ANEXOS**

**ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE  
SEGREGABILIDAD DEL AGREGADO  
PÉTREO**

**Anexo A.1. Granulometría de la muestra G-25IP ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0,0	0,0
3/4"	86,0	14,0	2800
1/2"	70,0	16,0	3200
3/8"	63,0	7,0	1400
N°4	50,0	13,0	2600
N°10	35,0	15,0	3000
N°40	17,0	18,0	3600
N°80	11,0	6,0	1200
N°200	5,0	6,0	1200
FONDO		5,0	1000

**Anexo A.1.1 Granulometría de la muestra G-25IP CAPA INFERIOR.**

		P1 =	12426,2
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,00	0,0	0,0
3/4"	82,9	17,1	2124,9
1/2"	66,2	16,7	2075,2
3/8"	59,2	7,0	869,8
N°4	45,6	13,6	1690,0
N°10	30,8	14,8	1839,1
N°40	12,6	18,2	2261,6
N°80	8,7	3,9	484,6
N°200	3,1	5,6	695,9
FONDO		3,1	385,2

**Anexo A.1.2 Granulometría de la muestra G-25IP CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7233,8
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,00	0	0,0
3/4"	90,9	9,1	658,3
1/2"	75,4	15,5	1121,2
3/8"	69,2	6,2	448,5
Nº4	56,9	12,3	889,8
Nº10	41,8	15,1	1092,3
Nº40	23,5	18,3	1323,8
Nº80	13,9	9,6	694,4
Nº200	7,2	6,7	484,7
FONDO		7,2	520,8

**Anexo A.2. Granulometría de la muestra G-25SP ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0,0	0,0
3/4"	88,0	12,0	2400
1/2"	69,0	19,0	3800
3/8"	59,0	10,0	2000
Nº4	41,0	18,0	3600
Nº10	32,0	9,0	1800
Nº40	21,0	11,0	2200
Nº80	16,0	5,0	1000
Nº200	11,0	5,0	1000
FONDO		11,0	2200

**Anexo A.2.1 Granulometría de la muestra G-25SP CAPA INFERIOR.**

		P1 =	12381,9
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0,0	0,0
3/4"	85,5	14,5	1795,4
1/2"	66,0	19,5	2414,5
3/8"	54,7	11,3	1399,2
Nº4	36,0	18,7	2315,4
Nº10	28,1	7,9	978,2
Nº40	19,2	8,9	1102,0
Nº80	13,9	5,3	656,2
Nº200	8,5	5,4	668,6
FONDO		8,5	1052,5

**Anexo A.2.2 Granulometría de la muestra G-25SP CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7286,9
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0,0	0,0
3/4"	92,0	8,0	583,0
1/2"	73,7	18,3	1333,5
3/8"	66,1	7,6	553,8
N°4	49,5	16,6	1209,6
N°10	38,4	11,1	808,8
N°40	23,4	15,0	1093,0
N°80	18,8	4,6	335,2
N°200	14,8	4,0	291,5
FONDO		14,8	1078,5

**Anexo A.3. Granulometría de la muestra G-19IP ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	83,0	17,0	3400
3/8"	73,0	10,0	2000
N°4	58,0	15,0	3000
N°10	41,0	17,0	3400
N°40	18,0	23,0	4600
N°80	10,0	8,0	1600
N°200	5,0	5,0	1000
FONDO		5,0	1000

**Anexo A.3.1 Granulometría de la muestra G-19IP CAPA INFERIOR.**

		P1 =	11795,5
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	80,8	19,2	2264,7
3/8"	69,9	10,9	1285,7
N°4	52,6	17,3	2040,6
N°10	36,4	16,2	1910,9
N°40	14,9	21,5	2536,0
N°80	7,9	7,0	825,7
N°200	4,3	3,6	426,5
FONDO		4,3	505,3

**Anexo A.3.2 Granulometría de la muestra G-19IP CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7893,7
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0
1/2"	86,7	13,3	1049,9
3/8"	78,2	8,5	671,0
N°4	66,1	12,1	955,1
N°10	47,4	18,7	1476,1
N°40	22,0	25,4	2005,0
N°80	12,5	9,5	749,9
N°200	5,9	6,6	521,0
FONDO		5,9	465,7

**Anexo A.4. Granulometría de la muestra G-19SP ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	85,0	15,0	3000
3/8"	71,0	14,0	2800
N°4	48,0	23,0	4600
N°10	37,0	11,0	2200
N°40	25,0	12,0	2400
N°80	19,0	6,0	1200
N°200	13,0	6,0	1200
FONDO		13,0	2600

**Anexo A.4.1 Granulometría de la muestra G-19SP CAPA INFERIOR.**

		P1 =	11662,2
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	82,0	18,0	2099,2
3/8"	67,2	14,8	1726,0
N°4	42,5	24,7	2880,6
N°10	33,8	8,7	1014,6
N°40	23,1	10,7	1247,9
N°80	17,4	5,7	664,7
N°200	11,2	6,2	723,1
FONDO		11,2	1306,2

**Anexo A.4.2 Granulometría de la muestra G-19SP CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7998,2
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	89,0	11,0	879,8
3/8"	75,9	13,1	1047,8
N°4	55,4	20,5	1639,6
N°10	41,2	14,2	1135,7
N°40	27,1	14,1	1127,7
N°80	21,2	5,9	471,9
N°200	15,6	5,6	447,9
FONDO		15,6	1247,7

**Anexo A.5. Granulometría de la muestra G-9,5IP ORIGINAL.**

		P1 =	18000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	58,0	42,0	7560
N°10	42,0	16,0	2880
N°40	14,0	28,0	5040
N°80	9,0	5,0	900
N°200	4,5	4,5	810
FONDO		4,5	810

**Anexo A.5.1 Granulometría de la muestra G-9,5IP CAPA INFERIOR.**

		P1 =	10509,8
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	53,6	46,4	4876,5
N°10	38,2	15,4	1618,5
N°40	11,1	27,1	2848,2
N°80	7,3	3,8	399,4
N°200	3,8	3,5	367,8
FONDO		3,8	399,4

**Anexo A.5.2 Granulometría de la muestra G-9,5IP CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7182,2
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,00	0	0
N°4	63,6	36,4	2614,3
N°10	46,3	17,3	1242,5
N°40	16,7	29,6	2125,9
N°80	10,4	6,3	452,5
N°200	5,1	5,3	380,7
FONDO		5,1	366,3

**Anexo A.6. Granulometría de la muestra G-9,5SP ORIGINAL.**

		P1 =	18000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	70,0	30	5400
N°10	51,0	19	3420
N°40	27,0	24	4320
N°80	20,0	7	1260
N°200	14,0	6	1080
FONDO		14	2520

**Anexo A.6.1 Granulometría de la muestra G-9,5SP CAPA INFERIOR.**

P1	10811,2	P2 =	10574,6
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	66,9	33,1	3500,2
N°10	48,2	18,7	1977,5
N°40	24,3	23,9	2527,3
N°80	17,6	6,7	708,5
N°200	12,5	5,1	539,3
FONDO		12,5	1321,8

**Anexo A.6.2 Granulometría de la muestra G-9,5SP CAPA SUPERIOR.**

P1	7182	P1 =	7122,0
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,00	0,0	0,0
N°4	73,8	26,2	1866,0
N°10	54,2	19,6	1395,9
N°40	29,8	24,4	1737,8
N°80	22,5	7,3	519,9
N°200	15,8	6,7	477,2
FONDO		15,8	1125,3

**Anexo A.7. Granulometría de la muestra G-25A ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,00	0,0	0,0
3/4"	88,20	11,8	2360
1/2"	76,20	12,0	2400
3/8"	69,50	6,7	1340
N°4	54,50	15,0	3000
N°10	34,50	20,0	4000
N°40	17,50	17,0	3400
N°80	13,40	4,1	820
N°200	5,30	8,1	1620
FONDO		5,3	1060

**Anexo A.7.1 Granulometría de la muestra G-25A CAPA INFERIOR.**

		P1 =	12296,5
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0,0	0,0
3/4"	86,1	13,9	1709,2
1/2"	72,7	13,4	1647,7
3/8"	64,8	7,9	971,4
N°4	49,8	15,0	1844,5
N°10	30,4	19,4	2385,5
N°40	14,1	16,3	2004,3
N°80	10,0	4,1	504,2
N°200	3,9	6,1	750,1
FONDO		3,9	479,6

**Anexo A.7.2 Granulometría de la muestra G-25A CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7374
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0	0
3/4"	91,7	8,3	612,0
1/2"	81,8	9,9	730,0
3/8"	77,1	4,7	346,6
N°4	61,8	15,3	1128,2
N°10	40,2	21,6	1592,8
N°40	21,9	18,3	1349,4
N°80	18,5	3,4	250,7
N°200	7,5	11,0	811,1
FONDO		7,5	553,1

**Anexo A.8. Granulometría de la muestra G-25B ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100,0	0,0	0,0
3/4"	90,0	10,0	2000
1/2"	79,0	11,0	2200
3/8"	71,0	8,0	1600
N°4	47,0	24,0	4800
N°10	35,0	12,0	2400
N°40	24,0	11,0	2200
N°80	17,0	7,0	1400
N°200	11,0	6,0	1200
FONDO		11,0	2200

**Anexo A.8.1 Granulometría de la muestra G-25B CAPA INFERIOR.**

		P1 =	12488,2
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100	0,0	0,0
3/4"	87,5	12,5	1561,0
1/2"	75,3	12,2	1523,6
3/8"	67,3	8,0	999,1
N°4	41,4	25,9	3234,4
N°10	32,0	9,4	1173,9
N°40	22,1	9,9	1236,3
N°80	15,6	6,5	811,7
N°200	10,3	5,3	661,9
FONDO		10,3	1286,3

**Anexo A.8.2 Granulometría de la muestra G-25B CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7206,8
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
1"	100	0,0	0,0
3/4"	94,4	5,6	403,6
1/2"	85,3	9,1	655,8
3/8"	77,7	7,6	547,7
N°4	56,2	21,5	1549,5
N°10	39,4	16,8	1210,7
N°40	26,6	12,8	922,5
N°80	19,1	7,5	540,5
N°200	12,2	6,9	497,3
FONDO		12,2	879,2

**Anexo A.9. Granulometría de la muestra G-19A ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,00	0,0	0,0
1/2"	85,00	15,0	3000,0
3/8"	75,00	10,0	2000,0
N°4	59,00	16,0	3200,0
N°10	40,00	19,0	3800,0
N°40	14,00	26,0	5200,0
N°80	9,00	5,0	1000,0
N°200	5,50	3,5	700,0
FONDO		5,5	1100,0

**Anexo A.9.1 Granulometría de la muestra G-19A CAPA INFERIOR.**

		P1 =	11847,9
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100	0,0	0
1/2"	81,7	18,3	2168,2
3/8"	71,1	10,6	1255,9
N°4	53,9	17,2	2037,8
N°10	35,2	18,7	2215,6
N°40	11,4	23,8	2819,8
N°80	7,1	4,3	509,5
N°200	4,4	2,7	319,9
FONDO		4,4	521,3

**Anexo A.9.2 Granulometría de la muestra G-19A CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	7820,5
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100	0,0	0
1/2"	89,7	10,3	805,5
3/8"	80,6	9,1	711,7
N°4	65,9	14,7	1149,6
N°10	46,1	19,8	1548,5
N°40	16,5	29,6	2314,9
N°80	10,9	5,6	437,9
N°200	6,6	4,3	336,3
FONDO		6,6	516,2

**Anexo A.10. Granulometría de la muestra G-19B ORIGINAL.**

		P1 =	20000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	90,0	10,0	2000
3/8"	80,0	10,0	2000
N°4	62,0	18,0	3600
N°10	37,0	25,0	5000
N°40	21,0	16,0	3200
N°80	15,0	6,0	1200
N°200	9,5	5,5	1100
FONDO		9,5	1900

**Anexo A.10.1 Granulometría de la muestra G-19B CAPA INFERIOR.**

		P1 =	12784,2
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	87,7	12,3	1572,5
3/8"	76,6	11,1	1419,0
N°4	58,1	18,5	2365,1
N°10	32,9	25,2	3221,6
N°40	22,3	10,6	1355,1
N°80	15,5	6,8	869,3
N°200	8,1	7,4	946,0
FONDO		8,1	1035,5

**Anexo A.10.2 Granulometría de la muestra G-19B CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	6880,7
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/4"	100,0	0,0	0,0
1/2"	94,3	5,7	392,2
3/8"	86,6	7,7	529,8
N°4	68,9	17,7	1217,9
N°10	43,5	25,4	1747,7
N°40	17,1	26,4	1816,5
N°80	13,2	3,9	268,3
N°200	11,3	1,9	130,7
FONDO		11,3	777,5

**Anexo A.11. Granulometría de la muestra G-9,5A ORIGINAL.**

		P1 =	18000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	75,0	25,0	4500
N°10	55,0	20,0	3600
N°20	42,0	13,0	2340
N°40	30,0	12,0	2160
N°60	20,0	10,0	1800
N°80	14,0	6,0	1080
N°100	11,0	3,0	540
N°200	4,0	7,0	1260
FONDO		4,0	720

**Anexo A.11.1 Granulometría de la muestra G-9,5A CAPA INFERIOR.**

		P1 =	10958,6
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	72,9	27,1	2969,8
N°10	52,1	20,8	2279,4
N°20	37,8	14,3	1567,1
N°40	26,5	11,3	1238,3
N°60	17,8	8,7	953,4
N°80	12,3	5,5	602,7
N°100	9,9	2,4	263,0
N°200	3,4	6,5	712,3
FONDO		3,4	372,6

**Anexo A.11.2 Granulometría de la muestra G-9,5A CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	6781,4
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100	0	0
N°4	77,8	22,2	1505,5
N°10	58,9	18,9	1281,7
N°20	48,3	10,6	718,8
N°40	35,2	13,1	888,4
N°60	22,8	12,4	840,9
N°80	15,8	7,0	474,7
N°100	12,3	3,5	237,3
N°200	4,6	7,7	522,2
FONDO		4,6	311,9

**Anexo A.12. Granulometría de la muestra G-9,5B ORIGINAL.**

		P1 =	18000
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,00	0,0	0,0
N°4	82,00	18	3240
N°10	63,00	19	3420
N°20	45,00	18	3240
N°40	35,00	10	1800
N°60	28,00	7	1260
N°80	23,00	5	900
N°100	19,00	4	720
N°200	12,00	7	1260
FONDO		12	2160

Anexo A.12.1 Granulometría de la muestra **G-9,5B CAPA INFERIOR.**

		P1 =	11293,4
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	78,8	21,2	2394,2
N°10	60,2	18,6	2100,6
N°20	42,8	17,4	1965,1
N°40	32,5	10,3	1163,2
N°60	26,4	6,1	688,9
N°80	21,9	4,5	508,2
N°100	18,1	3,8	429,2
N°200	11,2	6,9	779,2
FONDO		11,2	1264,9

Anexo A.12.2 Granulometría de la muestra **G-9,5B CAPA SUPERIOR.**

		P1 =	6421,5
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)
3/8"	100,0	0,0	0,0
N°4	87,4	12,6	809,1
N°10	67,9	19,5	1252,2
N°20	49,1	18,8	1207,2
N°40	39,4	9,7	622,9
N°60	31,4	8,0	513,7
N°80	25,4	6,0	385,3
N°100	21,2	4,2	269,7
N°200	13,9	7,3	468,8
FONDO		13,9	892,6

**ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE SEGREGABILIDAD DE LAS MEZCLAS  
ASFÁLTICAS.**

**Anexo B.1. Mezcla Asfáltica MA-25IP ORIGINAL.**

Extracción				
PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	20592,8		160	
Peso Final	19543,1786		184,1	
Diferencia	1025,5		24,1	
%Asfalto	4,98			
%Asfalto Promedio	4,98			
GRADACIÓN				
P2 =	20000	P1 =	20000	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100	0	0	100
3/4"	86	14	2800	(80-100)
1/2"	70	16	3200	(67-85)
3/8"	63	7	1400	(60-77)
Nº4	50	13	2600	(43-59)
Nº10	35	15	3000	(29-45)
Nº40	17	18	3600	14-25)
Nº80	11	6	1200	(8-17)
Nº200	5	6	1200	(4-8)
FONDO		5	1000	

**Anexo B.1.1 Mezcla Asfáltica MA-25IP CAPA INFERIOR.**

Extracción				
PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	13199,1		80,8	
Peso Final	12509,3		92,8	
Diferencia	677,8		12	
%Asfalto	5,14			
GRADACIÓN				
P2 =	12034	P1 =	12509,3	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100	0	0	100
3/4"	82,4	17,6	2201,6	(80-100)
1/2"	66,2	16,2	2026,5	(67-85)
3/8"	59,6	6,6	825,6	(60-77)
Nº4	46,8	12,8	1601,2	(43-59)
Nº10	31,4	15,4	1926,4	(29-45)
Nº40	12,4	19	2376,8	14-25)
Nº80	8,2	4,2	525,4	(8-17)
Nº200	3,8	4,4	550,4	(4-8)
FONDO		3,8	475,4	

**Anexo B.1.2 Mezcla Asfáltica MA-25IP CAPA SUPERIOR.**

Extracción				
PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	7393,7		79,2	
Peso Final	7025,2		91,3	
Diferencia	356,4		12,1	
%Asfalto	4,82			
GRADACIÓN				
P2 =	6512,4	P1 =	7025,2	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100,00	0	0	100
3/4"	91,9	8,1	569,0	(80-100)
1/2"	75,6	16,3	1145,1	(67-85)
3/8"	67,9	7,7	540,9	(60-77)
Nº4	54,6	13,3	934,4	(43-59)
Nº10	39,7	14,9	1046,8	(29-45)
Nº40	23,2	16,5	1159,2	14-25)
Nº80	14,1	9,1	639,3	(8-17)
Nº200	7,3	6,8	477,7	(4-8)
FONDO		7,3	512,8	

**Anexo B.2. Mezcla Asfáltica MA-25SP ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20548,7	159,9		
<b>Peso Final</b>	19499,4	183,8		
<b>Diferencia</b>	1025,4	23,9		
<b>%Asfalto</b>	4,99			
<b>%Asfalto Promedio</b>	5,0			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
1"	100	0	0	100
3/4"	88	12	2400	(80-100)
1/2"	69	19	3800	(67-85)
3/8"	59	10	2000	(60-77)
N°4	41	18	3600	(43-59)
N°10	32	9	1800	(29-45)
N°40	21	11	2200	14-25)
N°80	16	5	1000	(8-17)
N°200	11	5	1000	(4-8)
FONDO		11	2200	

**Anexo B.2.1 Mezcla Asfáltica MA-25SP CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	13409,2	81		
Peso Final	12698,2	92,4		
Diferencia	699,6	11,4		
%Asfalto	5,1			
GRADACIÓN				
P2 =	11441,1	P1 =	12698,2	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100	0	0	100
3/4"	85,7	14,3	1815,8	(80-100)
1/2"	65,6	20,1	2552,3	(67-85)
3/8"	55,3	10,3	1307,9	(60-77)
Nº4	36,8	18,5	2349,2	(43-59)
Nº10	27,9	8,9	1130,1	(29-45)
Nº40	18,8	9,1	1155,5	14-25)
Nº80	14,7	4,1	520,6	(8-17)
Nº200	8,9	5,8	736,5	(4-8)
FONDO		8,9	1130,1	

**Anexo B.2.2 Mezcla Asfáltica MA-25SP CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	7139,5	78,9		
Peso Final	6778,6	91,4		
Diferencia	348,4	12,5		
%Asfalto	4,88			
GRADACIÓN				
P2 =	5802,5	P1 =	6778,5924	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100,0	0	0	100
3/4"	92,0	8,0	542,3	(80-100)
1/2"	74,3	17,7	1199,8	(67-85)
3/8"	64,8	9,5	644,0	(60-77)
Nº4	47,6	17,2	1165,9	(43-59)
Nº10	38,1	9,5	644,0	(29-45)
Nº40	23,4	14,7	996,5	14-25)
Nº80	17,3	6,1	413,5	(8-17)
Nº200	14,4	2,9	196,6	(4-8)
FONDO		14,4	976,1	

**Anexo B.3. Mezcla Asfáltica MA-19IP ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20637,6			158,7
<b>Peso Final</b>	19585,0			185,3
<b>Diferencia</b>	1025,7			26,9
<b>%Asfalto</b>	4,97			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,97			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	83	17	3400	(80-100)
3/8"	73	10	2000	(70-88)
N°4	58	15	3000	(49-65)
N°10	41	17	3400	(29-45)
N°40	18	23	4600	(14-25)
N°80	10	8	1600	(8-17)
N°200	5	5	1000	(4-8)
FONDO		5	1000	

**Anexo B.3.1 Mezcla Asfáltica MA-19IP CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	12814,6	82,2		
Peso Final	12147,8	94,2		
Diferencia	654,8	12,3		
%Asfalto	5,11			
GRADACIÓN				
P2 =	11625,4	P1 =	12147,8	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	80,4	19,6	2381,0	(80-100)
3/8"	70,8	9,6	1166,2	(70-88)
Nº4	55,2	15,6	1895,1	(49-65)
Nº10	36,8	18,4	2235,2	(29-45)
Nº40	13,2	23,6	2866,9	(14-25)
Nº80	7,9	5,3	643,8	(8-17)
Nº200	4,3	3,6	437,3	(4-8)
FONDO		4,3	522,4	

**Anexo B.3.2 Mezcla Asfáltica MA-19IP CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	7823	76,5		
Peso Final	7430,5	91,1		
Diferencia	377,9	14,6		
%Asfalto	4,83			
GRADACIÓN				
P2 =	7013,3	P1 =	7430,5	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100,0	0	0	100
1/2"	86,8	13,2	980,8	(80-100)
3/8"	76,2	10,6	787,6	(70-88)
Nº4	61,8	14,4	1070,0	(49-65)
Nº10	47,4	14,4	1070,0	(29-45)
Nº40	25,1	22,3	1657,0	(14-25)
Nº80	12,4	12,7	941,4	(8-17)
Nº200	5,6	6,8	506,4	(4-8)
FONDO		5,6	417,2	

**Anexo B.4. Mezcla Asfáltica MA-19SP ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20580,9	150,4		
<b>Peso Final</b>	19530,3	176,1		
<b>Diferencia</b>	1024,9	25,7		
<b>%Asfalto</b>	4,98			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,98			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	85	15	3000	(80-100)
3/8"	71	14	2800	(70-88)
Nº4	48	23	4600	(49-65)
Nº10	37	11	2200	(29-45)
Nº40	25	12	2400	(14-25)
Nº80	19	6	1200	(8-17)
Nº200	13	6	1200	(4-8)
FONDO		13	2600	

**Anexo B.4.1 Mezcla Asfáltica MA-19SP CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	13494,5	80,7		
Peso Final	12787,5	93,3		
Diferencia	694,4	12,6		
%Asfalto	5,15			
GRADACIÓN				
P2 =	11265,8	P1 =	12787,5	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	83,2	16,8	2148,3	(80-100)
3/8"	68,1	15,1	1930,9	(70-88)
Nº4	44,8	23,3	2979,5	(49-65)
Nº10	33,4	11,4	1457,8	(29-45)
Nº40	22,8	10,6	1355,5	(14-25)
Nº80	16,1	6,7	856,8	(8-17)
Nº200	10,9	5,2	665,0	(4-8)
FONDO		10,9	1393,8	

**Anexo B.4.2 Mezcla Asfáltica MA-19SP CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	7086,4	69,7		
Peso Final	6732,4	82,8		
Diferencia	340,9	13,1		
%Asfalto	4,81			
GRADACIÓN				
P2 =	5648,5	P1 =	6732,4	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100,0	0	0	100
1/2"	88,2	11,8	794,4	(80-100)
3/8"	75,8	12,4	834,8	(70-88)
Nº4	52,9	22,9	1541,7	(49-65)
Nº10	42,3	10,6	713,6	(29-45)
Nº40	27,1	15,2	1023,3	(14-25)
Nº80	22,6	4,5	303,0	(8-17)
Nº200	16,1	6,5	437,6	(4-8)
FONDO		16,1	1083,9	

**Anexo B.5. Mezcla Asfáltica MA-9,5IP ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	18489,8			169,1
<b>Peso Final</b>	17543,0			198,8
<b>Diferencia</b>	917,1			29,7
<b>%Asfalto</b>	4,96			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,96			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	18000	<b>P1 =</b>	18000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/8"	100,0	0	0	(60-77)
N°4	58,0	42	7560	(43-59)
N°10	42,0	16	2880	(29-45)
N°40	14,0	28	5040	(14-25)
N°80	9,0	5	900	(8-17)
N°200	4,5	4,5	810	(4-8)
FONDO		4,5	810	

**Anexo B.5.1 Mezcla Asfáltica MA-9,5IP CAPA INFERIOR.**

Extracción				
PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	12044,3		95,2	
Peso Final	11439,9		110,6	
Diferencia	589		15,4	
%Asfalto	4,89			
GRADACIÓN				
P2 =	11039,5	P1 =	11439,9	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100,0	0	0	(60-77)
N°4	55,2	44,8	5125,1	(43-59)
N°10	39,1	16,1	1841,8	(29-45)
N°40	10,8	28,3	3237,5	(14-25)
N°80	6,9	3,9	446,2	(8-17)
N°200	3,5	3,4	389,0	(4-8)
FONDO		3,5	400,4	

**Anexo B.5.2 Mezcla Asfáltica MA-9,5IP CAPA SUPERIOR.**

Extracción				
PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	6445,5		73,9	
Peso Final	6107,0		88,2	
Diferencia	324,2		14,3	
%Asfalto	5,03			
GRADACIÓN				
P2 =	5789,4	P1 =	6107,0	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100,0	0	0	(60-77)
N°4	61,6	38,4	2345,1	(43-59)
N°10	45,9	15,7	958,8	(29-45)
N°40	17,3	28,6	1746,6	(14-25)
N°80	11,1	6,2	378,6	(8-17)
N°200	5,2	5,9	360,3	(4-8)
FONDO		5,2	317,6	

**Anexo B.6. Mezcla Asfáltica MA-9,5SP ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	18429,7	146,8		
<b>Peso Final</b>	17494,2	170,1		
<b>Diferencia</b>	912,3	23,3		
<b>%Asfalto</b>	4,95			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,95			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	18000	<b>P1 =</b>	18000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/8"	100	0	0	(60-77)
N°4	70	30	5400	(43-59)
N°10	51	19	3420	(29-45)
N°40	27	24	4320	(14-25)
N°80	20	7	1260	(8-17)
N°200	14	6	1080	(4-8)
FONDO		14	2520	

**Anexo B.6.1 Mezcla Asfáltica MA-9,5SP CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	12454	81,2		
Peso Final	11829,6	92,9		
Diferencia	612,7	11,7		
%Asfalto	4,92			
GRADACIÓN				
P2 =	10256,3	P1 =	11829,6	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100,0	0	0	(60-77)
Nº4	68,8	31,2	3690,8	(43-59)
Nº10	48,8	20	2365,9	(29-45)
Nº40	23,9	24,9	2945,6	(14-25)
Nº80	18,5	5,4	638,8	(8-17)
Nº200	13,3	5,2	615,1	(4-8)
FONDO		13,3	1573,3	

**Anexo B.6.2 Mezcla Asfáltica MA-9,5SP CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	5975,7	65,6		
Peso Final	5666,5	77,2		
Diferencia	297,6	11,6		
%Asfalto	4,98			
GRADACIÓN				
P2 =	4776,9	P1 =	5666,5	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100,00	0	0	(60-77)
Nº4	71,60	28,4	1609,3	(43-59)
Nº10	54,10	17,5	991,6	(29-45)
Nº40	30,50	23,6	1337,3	(14-25)
Nº80	21,60	8,9	504,3	(8-17)
Nº200	15,70	5,9	334,3	(4-8)
FONDO		15,7	889,6	

**Anexo B.7. Mezcla Asfáltica MA-25A ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20545,8	126		
<b>Peso Final</b>	19501,5	145,1		
<b>Diferencia</b>	1025,2	19,1		
<b>%Asfalto</b>	4,99			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,99			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
1"	100,00	0	0	100
3/4"	88,20	11,8	2360	(80-100)
1/2"	76,20	12	2400	(67-85)
3/8"	69,50	6,7	1340	(60-77)
N°4	54,50	15	3000	(43-59)
N°10	34,50	20	4000	(29-45)
N°40	17,50	17	3400	14-25)
N°80	13,40	4,1	820	(8-17)
N°200	5,30	8,1	1620	(4-8)
FONDO		5,3	1060	

**Anexo B.7.1 Mezcla Asfáltica MA-25A CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	14141,8		84,3	
Peso Final	13453,1		95,6	
Diferencia	677,4		11,3	
%Asfalto	4,79			
GRADACIÓN				
P2 =	12915,0	P1 =	13453,1	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100,00	0	0	100
3/4"	86,3	13,7	1843,1	(80-100)
1/2"	75,3	11,0	1479,1	(67-85)
3/8"	68,2	7,1	960,8	(60-77)
Nº4	50,9	17,3	2322,5	(43-59)
Nº10	32,3	18,6	2502,3	(29-45)
Nº40	14,0	18,3	2461,9	14-25)
Nº80	12,0	2,0	269,1	(8-17)
Nº200	4,0	8,0	1076,2	(4-8)
FONDO		4,0	538,1	

**Anexo B.7.2 Mezcla Asfáltica MA-25A CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	6404		41,7	
Peso Final	6062		49,5	
Diferencia	334,2		7,8	
%Asfalto	5,19			
GRADACIÓN				
P2 =	5583,6	P1 =	6062	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100	0,0	0,0	100
3/4"	91,9	8,1	491,0	(80-100)
1/2"	77,7	14,2	860,8	(67-85)
3/8"	73,2	4,5	272,8	(60-77)
Nº4	64,6	8,6	521,3	(43-59)
Nº10	41,2	23,4	1418,5	(29-45)
Nº40	26	15,2	921,4	14-25)
Nº80	17	9,0	545,6	(8-17)
Nº200	8,4	8,6	521,3	(4-8)
FONDO		8,4	509,2	

**Anexo B.8. Mezcla Asfáltica MA-25B ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20586,8	101,1		
<b>Peso Final</b>	19541,8	120,9		
<b>Diferencia</b>	1025,2	19,8		
<b>%Asfalto</b>	4,98			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,98			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
1"	100	0	0	100
3/4"	90	10	2000	(80-100)
1/2"	79	11	2200	(67-85)
3/8"	71	8	1600	(60-77)
N°4	47	24	4800	(43-59)
N°10	35	12	2400	(29-45)
N°40	24	11	2200	14-25)
N°80	17	7	1400	(8-17)
N°200	11	6	1200	(4-8)
FONDO		11	2200	

**Anexo B.8.1. Mezcla Asfáltica MA-25B CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	14524,8	73,5		
Peso Final	13792,1	88,7		
Diferencia	717,5	15,2		
%Asfalto	4,94			
GRADACIÓN				
P2 =	12550,8	P1 =	13792,1	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100,0	0,0	0,0	100
3/4"	88,1	11,9	1641,3	(80-100)
1/2"	76,8	11,3	1558,5	(67-85)
3/8"	68,5	8,3	1144,7	(60-77)
Nº4	43,6	24,9	3434,2	(43-59)
Nº10	32,0	11,6	1599,9	(29-45)
Nº40	22,0	10,0	1379,2	14-25)
Nº80	15,0	7,0	965,4	(8-17)
Nº200	9,0	6,0	827,5	(4-8)
FONDO		9,0	1241,3	

**Anexo B.8.2. Mezcla Asfáltica MA-25B CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	6062	27,6		
Peso Final	5753	32,2		
Diferencia	304,4	4,6		
%Asfalto	5,02			
GRADACIÓN				
P2 =	5056,4	P1 =	5753	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
1"	100,0	0,0	0,0	100
3/4"	94,5	5,5	316,4	(80-100)
1/2"	83,9	10,6	609,8	(67-85)
3/8"	76,2	7,7	443,0	(60-77)
Nº4	53,9	22,3	1282,9	(43-59)
Nº10	41,5	12,4	713,4	(29-45)
Nº40	28,0	13,5	776,7	14-25)
Nº80	21,0	7,0	402,7	(8-17)
Nº200	15,0	6,0	345,2	(4-8)
FONDO		15,0	863,0	

**Anexo B.9. Mezcla Asfáltica MA-19A ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20465,8	116,6		
<b>Peso Final</b>	19434,0497	131,2		
<b>Diferencia</b>	1017,15026	14,6		
<b>%Asfalto</b>	4,97			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,97			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/4"	100,0	0,0	0	100
1/2"	85,0	15,0	3000	(80-100)
3/8"	75,0	10,0	2000	(70-88)
Nº4	59,0	16,0	3200	(49-65)
Nº10	40,0	19,0	3800	(29-45)
Nº40	14,0	26,0	5200	(14-25)
Nº80	9,0	5,0	1000	(8-17)
Nº200	5,5	3,5	700	(4-8)
FONDO		5,5	1100	

**Anexo B.9.1 Mezcla Asfáltica MA-19A CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	13711,3	74,3		
Peso Final	13036,4	85,6		
Diferencia	663,6	11,3		
%Asfalto	4,84			
GRADACIÓN				
P2 =	12410,6	P1 =	13036,4	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100,0	0	0	100
1/2"	82,8	17,2	2242,3	(80-100)
3/8"	71,2	11,6	1512,2	(70-88)
Nº4	55,5	15,7	2046,7	(49-65)
Nº10	37,0	18,5	2411,7	(29-45)
Nº40	10,7	26,3	3428,6	(14-25)
Nº80	7,6	3,1	404,1	(8-17)
Nº200	4,8	2,8	365,0	(4-8)
FONDO		4,8	625,7	

**Anexo B.9.2 Mezcla Asfáltica MA-19A CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	6754,5	42,3		
Peso Final	6406,7	45,6		
Diferencia	344,5	3,3		
%Asfalto	5,1			
GRADACIÓN				
P2 =	6028,7	P1 =	6406,7	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	89,1	10,9	698,3	(80-100)
3/8"	81,9	7,2	461,3	(70-88)
Nº4	65,2	16,7	1069,9	(49-65)
Nº10	44,9	20,3	1300,6	(29-45)
Nº40	18,1	26,8	1717,0	(14-25)
Nº80	9,9	8,2	525,3	(8-17)
Nº200	5,9	4	256,3	(4-8)
FONDO		5,9	378,0	

**Anexo B.10. Mezcla Asfáltica MA-19B ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	20495,4	118,2		
<b>Peso Final</b>	19456,7	136,2		
<b>Diferencia</b>	1020,7	18		
<b>%Asfalto</b>	4,98			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,98			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	20000	<b>P1 =</b>	20000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	90	10	2000	(80-100)
3/8"	80	10	2000	(70-88)
Nº4	62	18	3600	(49-65)
Nº10	37	25	5000	(29-45)
Nº40	21	16	3200	(14-25)
Nº80	15	6	1200	(8-17)
Nº200	9,5	5,5	1100	(4-8)
FONDO		9,5	1900	

**Anexo B.10.1 Mezcla Asfáltica MA-19B CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	14699,3		76,8	
Peso Final	13970,3		88,5	
Diferencia	717,3		11,7	
%Asfalto	4,88			
GRADACIÓN				
P2 =	12726,9	P1 =	13970,3	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100,0	0	0	100
1/2"	87,9	12,1	1690,4	(80-100)
3/8"	79,1	8,8	1229,4	(70-88)
Nº4	57,7	21,4	2989,6	(49-65)
Nº10	34,8	22,9	3199,2	(29-45)
Nº40	19,0	15,8	2207,3	(14-25)
Nº80	13,8	5,2	726,5	(8-17)
Nº200	8,9	4,9	684,5	(4-8)
FONDO		8,9	1243,4	

**Anexo B.10.2 Mezcla Asfáltica MA-19B CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1			FILTRO No. 1	
Peso Inicial:	5796,1		41,4	
Peso Final	5495,4		47,7	
Diferencia	294,4		6,3	
%Asfalto	5,08			
GRADACIÓN				
P2 =	4918,4	P1 =	5495,4	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/4"	100	0	0	100
1/2"	95,1	4,9	269,3	(80-100)
3/8"	83,3	11,8	648,5	(70-88)
Nº4	72,5	10,8	593,5	(49-65)
Nº10	40,3	32,2	1769,5	(29-45)
Nº40	22,6	17,7	972,7	(14-25)
Nº80	15,6	7	384,7	(8-17)
Nº200	10,5	5,1	280,3	(4-8)
FONDO		10,5	577,0	

**Anexo B.11. Mezcla Asfáltica MA-9,5A ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	18467,9			126,1
<b>Peso Final</b>	17529,0			143,5
<b>Diferencia</b>	921,5			17,4
<b>%Asfalto</b>	4,99			
<b>%Asfalto Promedio</b>	4,99			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	18000	<b>P1 =</b>	18000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/8"	100	0	0	(60-77)
N°4	75	25	4500	(43-59)
N°10	55	20	3600	(29-45)
N°20	42	13	2340	
N°40	30	12	2160	(14-25)
N°60	20	10	1800	
N°80	14	6	1080	(8-17)
N°100	11	3	540	
N°200	4	7	1260	(4-8)
FONDO		4	720	

**Anexo B.11.1 Mezcla Asfáltica MA-9,5A CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	12472,9	84,7		
Peso Final	11858,2	98,2		
Diferencia	601,2	13,5		
%Asfalto	4,82			
GRADACIÓN				
P2 =	11455,0	P1 =	11858,2062	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100,0	0	0	(60-77)
N°4	72,5	27,5	3261,0	(43-59)
N°10	52,1	20,4	2419,1	(29-45)
N°20	39,7	12,4	1470,4	
N°40	27,4	12,3	1458,6	(14-25)
N°60	17,6	9,8	1162,1	
N°80	11,7	5,9	699,6	(8-17)
N°100	9,3	2,4	284,6	
N°200	3,4	5,9	699,6	(4-8)
FONDO		3,4	403,2	

**Anexo B.11.2 Mezcla Asfáltica MA-9,5A CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	5995	41,4		
Peso Final	5663,8	45,3		
Diferencia	327,3	3,9		
%Asfalto	5,16			
GRADACIÓN				
P2 =	5185,6	P1 =	5663,8	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100	0	0	(60-77)
N°4	79,1	20,9	1183,7	(43-59)
N°10	58,9	20,2	1144,1	(29-45)
N°20	44,3	14,6	826,9	
N°40	33,6	10,7	606,0	(14-25)
N°60	23,1	10,5	594,7	
N°80	17,4	5,7	322,8	(8-17)
N°100	13,3	4,1	232,2	
N°200	4,1	9,2	521,1	(4-8)
FONDO		4,1	232,2	

**Anexo B.12. Mezcla Asfáltica MA-9,5B ORIGINAL.**

<b>PRUEBA No. 1</b>		<b>FILTRO No. 1</b>		
<b>Peso Inicial:</b>	18485,4			127,6
<b>Peso Final</b>	17547,03			141,7
<b>Diferencia</b>	924,27			14,1
<b>%Asfalto</b>	5,0			
<b>%Asfalto Promedio</b>	5,0			
<b>GRADACIÓN</b>				
<b>P2 =</b>	18000	<b>P1 =</b>	18000	<b>NORMA: % PASA</b>
<b>TAMIZ (in)</b>	<b>% PASA</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	
3/8"	100	0	0	(60-77)
N°4	82	18	3240	(43-59)
N°10	63	19	3420	(29-45)
N°20	45	18	3240	
N°40	35	10	1800	(14-25)
N°60	28	7	1260	
N°80	23	5	900	(8-17)
N°100	19	4	720	
N°200	12	7	1260	(4-8)
FONDO		12	2160	

**Anexo B.12.1 Mezcla Asfáltica MA-9,5B CAPA INFERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	12906,4	85,9		
Peso Final	12275,1022	96,4		
Diferencia	620,8	10,5		
%Asfalto	4,81			
GRADACIÓN				
P2 =	10998,5	P1 =	12275,1022	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100,00	0	0	(60-77)
Nº4	80,3	19,7	2418,2	(43-59)
Nº10	61,8	18,5	2270,9	(29-45)
Nº20	43,2	18,6	2283,2	
Nº40	33,5	9,7	1190,7	(14-25)
Nº60	25,8	7,7	945,2	
Nº80	20,7	5,1	626,0	(8-17)
Nº100	17,2	3,5	429,6	
Nº200	10,4	6,8	834,7	(4-8)
FONDO		10,4	1276,6	

**Anexo B.12.2 Mezcla Asfáltica MA-9,5B CAPA SUPERIOR.**

PRUEBA No. 1		FILTRO No. 1		
Peso Inicial:	5579	41,7		
Peso Final	5285,8	45,3		
Diferencia	289,6	3,6		
%Asfalto	5,19			
GRADACIÓN				
P2 =	4481,0	P1 =	5284,2	NORMA: % PASA
TAMIZ (in)	% PASA	% RETENIDO	PESO RETENIDO (g)	
3/8"	100	0	0	(60-77)
Nº4	85,7	14,3	755,6	(43-59)
Nº10	64,8	20,9	1104,4	(29-45)
Nº20	47,4	17,4	919,5	
Nº40	36,6	10,8	570,7	(14-25)
Nº60	31,2	5,4	285,3	
Nº80	27	4,2	221,9	(8-17)
Nº100	22,5	4,5	237,8	
Nº200	15,2	7,3	385,7	(4-8)
FONDO		15,2	803,2	

**ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL MATERIAL  
PÉTREO**

**Tabla C.1. Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos.  
I.N.V.E – 222-07**

Material que pasa el tamiz No 4.

Peso del material seco (g)	Peso matraz + agua (g)	Peso matraz+arena+agua (g)	Peso SSS (g)	Gravedad específica Bulk	Gravedad específica Bulk SSS	Gravedad específica aparente
A	B	C	S	$A/(B+S-C)$	$S/(B+S-C)$	$A/(B+A-C)$
491,5	678,2	989,7	505	2,54	2,61	2,73
491,0	678,2	989,8	505	2,54	2,61	2,74
496,4	678,2	994,0	510	2,56	2,63	2,75
			Σ	7,63	7,85	8,22
			promedio	2,54	2,62	2,74

**Tabla C.2 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de Agregados Guesos.**

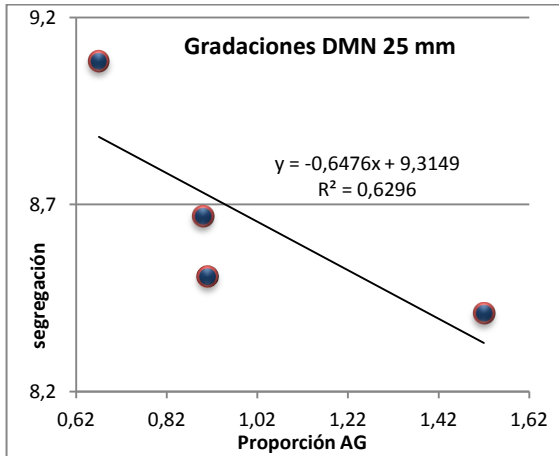
**I.N.V.E – 223-07**

Material retenido sobre el tamiz No. 4.

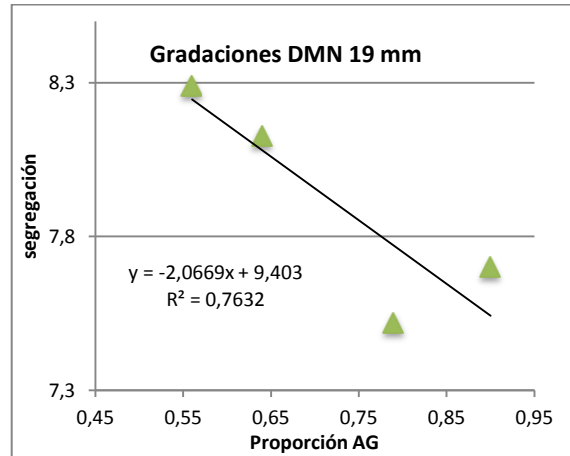
Peso del material seco (g)	peso SSS (g)	Peso de la muestra en el agua (g)	Gravedad específica Bulk	Gravedad específica Bulk SSS	Gravedad específica aparente	Absorción (%)
A	B	C	$A/(B-C)$	$B/(B-C)$	$A/(A-C)$	$(B-A)/A$
4919,0	5000,0	3135,0	2,64	2,68	2,76	1,65
4919,0	5000,0	3125,0	2,62	2,67	2,74	1,65
4916,0	5000,0	3145,0	2,65	2,70	2,78	1,71
		Σ	7,91	8,04	8,28	5,00
		promedio	2,64	2,68	2,76	1,67

## ANEXO D: RELACIONES ENTRE EL GRADO DE SEGREGACIÓN Y LAS PROPORCIONES DEL MÉTODO BAILEY PARA LAS MEZCLAS SECAS Y ASFÁLTICAS.

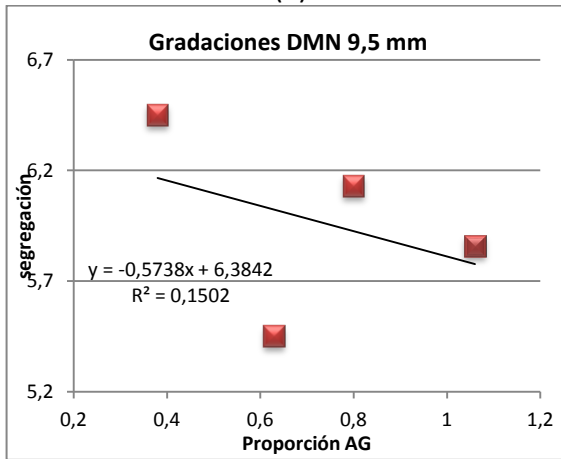
**Figura D.1 Gráficas de las Relaciones entre las Proporciones del Método Bailey y la Segregabilidad del Agregado Pétreo en las Mezclas Secas del Primer y Segundo Grupo.**



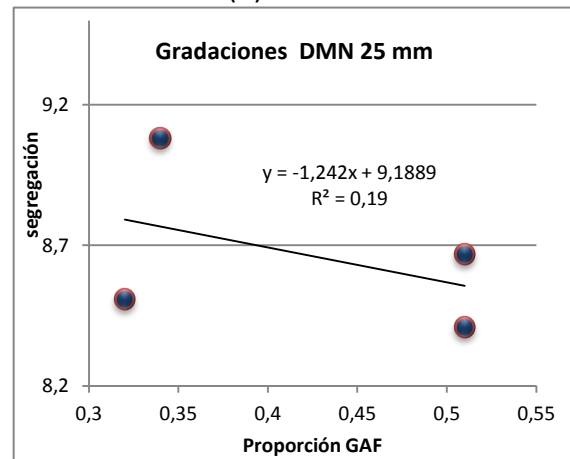
(a)



(b)

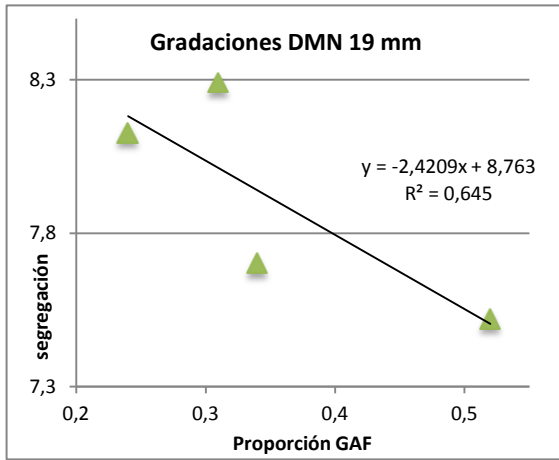


(c)

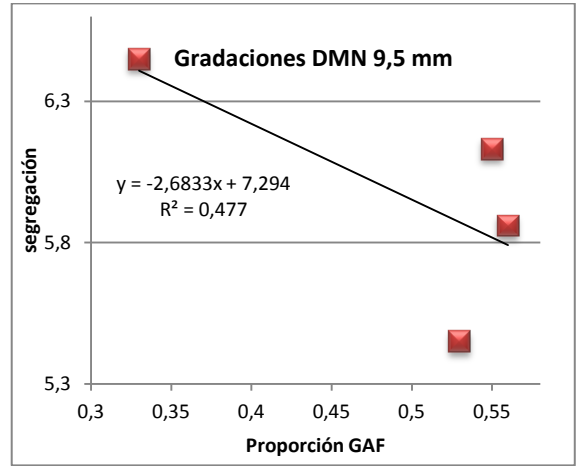


(d)

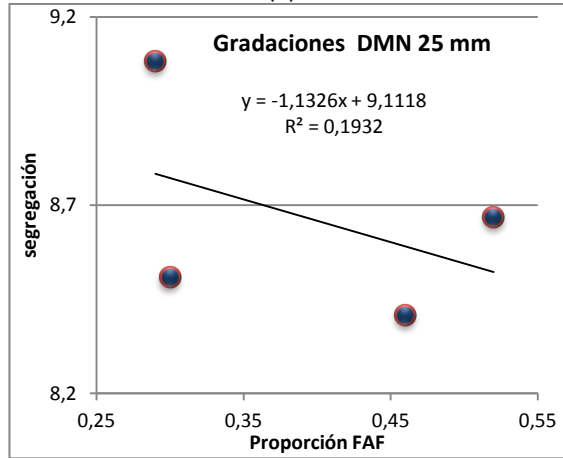
Figura D.1 (Continuación)



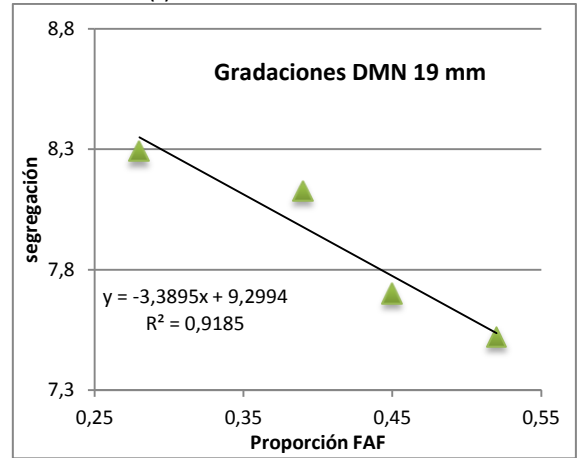
(e)



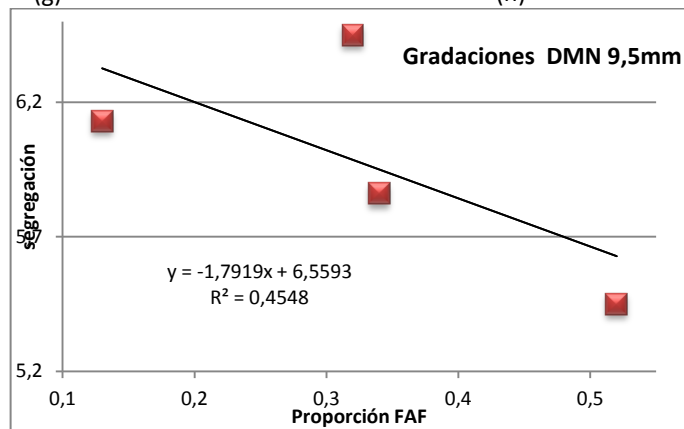
(f)



(g)

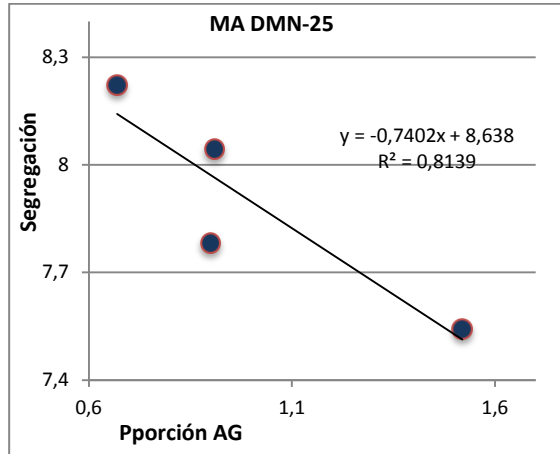


(h)

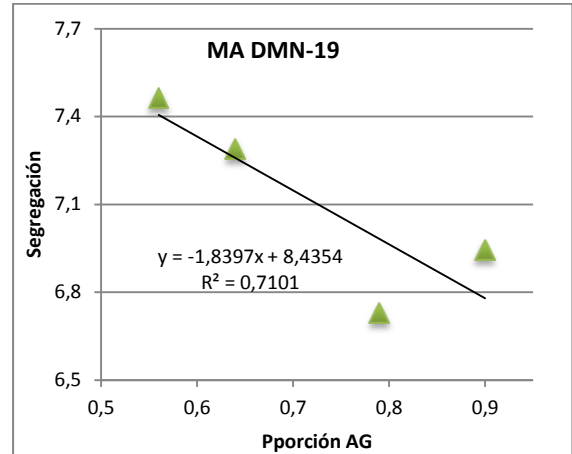


(i)

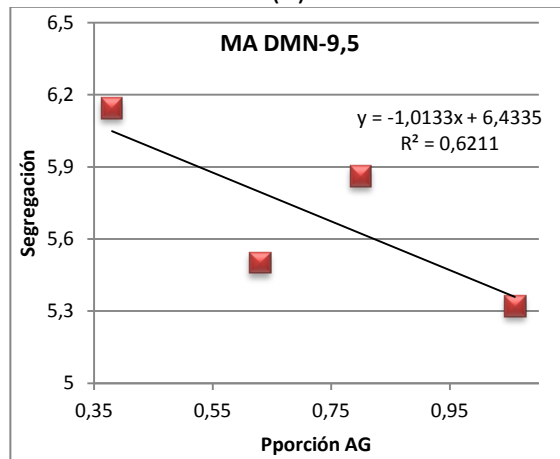
**Figura D.2 Gráficas de las Relaciones entre la Segregación y las Proporciones del Método Bailey en el Primer y Segundo Grupo de las Mezclas Asfálticas.**



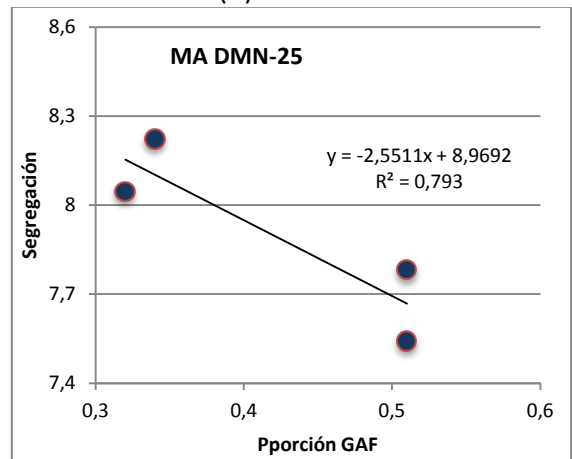
(b)



(b)

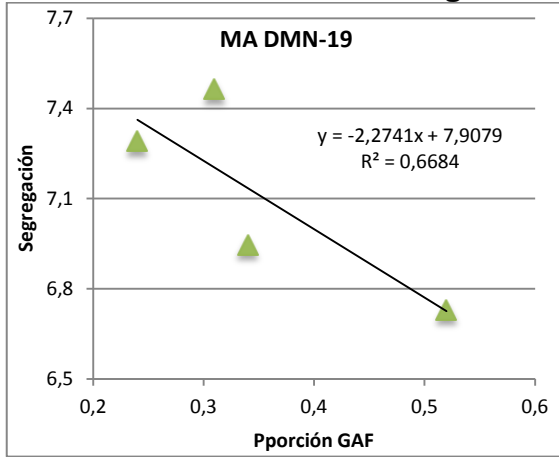


(c)

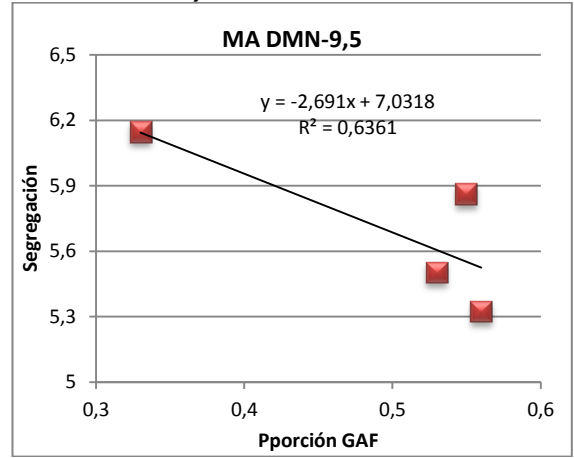


(d)

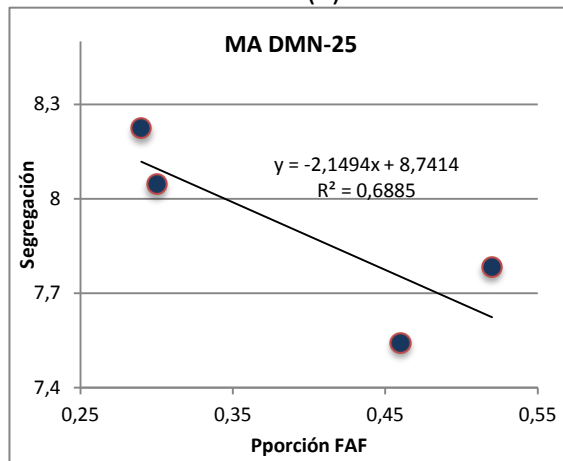
**Figura D.2 (Continuación)**



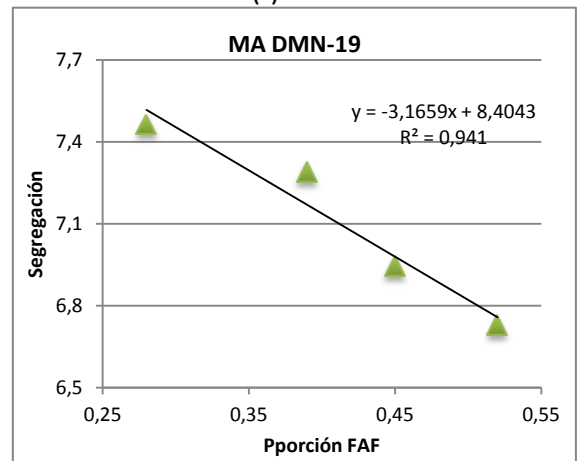
(e)



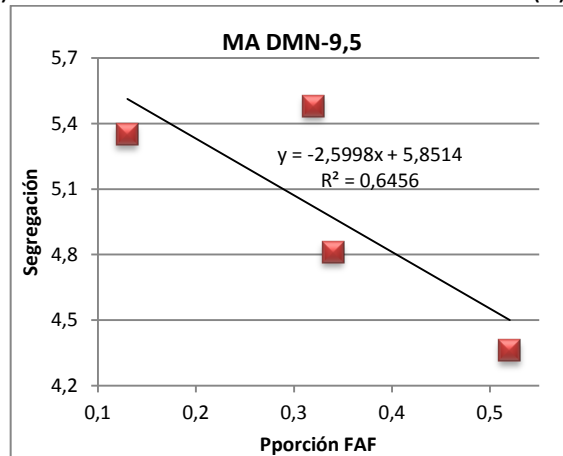
(f)



(g)



(h)



(i)

**ANEXO E: ANÁLISIS POR MÍNIMOS CUADRADOS  
MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.**

**Tabla E.1. Análisis para la proporción AG de las mezclas secas.**

X	Y	Z	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	X*Z	Y*Z
0,38	9,50	6,45	0,14	90,25	3,61	2,45	61,28
0,80	9,50	6,13	0,64	90,25	7,60	4,90	58,24
1,06	9,50	5,86	1,12	90,25	10,07	6,21	55,67
0,63	9,50	5,45	0,40	90,25	5,99	3,43	51,78
0,56	19,00	8,29	0,31	361,00	10,64	4,64	157,52
0,64	19,00	8,13	0,41	361,00	12,16	5,20	154,42
0,90	19,00	7,70	0,81	361,00	17,10	6,93	146,32
0,79	19,00	7,52	0,62	361,00	15,01	5,94	142,88
0,67	25,00	9,08	0,45	625,00	16,75	6,09	227,07
0,90	25,00	8,67	0,81	625,00	22,50	7,80	216,72
0,91	25,00	8,51	0,83	625,00	22,75	7,74	212,71
1,52	25,00	8,41	2,31	625,00	38,00	12,78	210,22
9,76	214,00	90,20	8,86	4305,00	182,18	74,13	1694,81

**Tabla E.1.1 Matriz de valores**

12	9,76	214	90,198
9,76	8,860	182,175	74,128
214	182,175	4305	1694,815

**Tabla E.1.2 Valores de los coeficientes**

a <sub>0</sub>	4,80608283
a <sub>1</sub>	-0,8485791
a <sub>2</sub>	0,19068592

**Tabla E.2. Análisis para la proporción GAF de las mezclas secas.**

X	Y	Z	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	X*Z	Y*Z
0,33	9,5	6,45	0,11	90,25	3,14	2,13	61,28
0,55	9,5	6,13	0,30	90,25	5,23	3,37	58,24
0,56	9,5	5,86	0,31	90,25	5,32	3,28	55,67
0,53	9,5	5,45	0,28	90,25	5,04	2,89	51,78
0,31	19,0	8,29	0,10	361,0	5,89	2,57	157,52
0,24	19,0	8,13	0,06	361,0	4,56	1,95	154,42
0,34	19,0	7,70	0,12	361,0	6,46	2,62	146,32
0,52	19,0	7,52	0,27	361,0	9,88	3,91	142,88
0,34	25,0	9,08	0,12	625,0	8,50	3,09	227,07
0,51	25,0	8,67	0,26	625,0	12,75	4,42	216,72
0,32	25,0	8,51	0,10	625,0	8,00	2,72	212,71
0,51	25,0	8,41	0,26	625,0	12,75	4,29	210,22
5,06	214,0	90,20	2,28	4305,0	87,51	37,24	1694,81

**Tabla E.2.1 Matriz de valores**

12	5,06	214	90,198
5,06	2,284	87,505	37,240
214	87,505	4305	1694,815

**Tabla E.2.2 Valores de los coeficientes**

a <sub>0</sub>	5,56964648
a <sub>1</sub>	-2,305969
a <sub>2</sub>	0,16369203

**Tabla E.3 Análisis para la proporción FAF de las mezclas secas.**

X	Y	Z	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	X*Z	Y*Z
0,32	9,5	6,45	0,10	90,25	3,04	2,06	61,28
0,13	9,5	6,13	0,02	90,25	1,24	0,80	58,24
0,34	9,5	5,86	0,12	90,25	3,23	1,99	55,67
0,52	9,5	5,45	0,27	90,25	4,94	2,83	51,78
0,28	19,0	8,29	0,08	361,0	5,32	2,32	157,52
0,39	19,0	8,13	0,15	361,0	7,41	3,17	154,42
0,45	19,0	7,70	0,20	361,0	8,55	3,47	146,32
0,52	19,0	7,52	0,27	361,0	9,88	3,91	142,88
0,29	25,0	9,08	0,08	625,0	7,25	2,63	227,07
0,52	25,0	8,67	0,27	625,0	13,00	4,51	216,72
0,30	25,0	8,51	0,09	625,0	7,50	2,55	212,71
0,46	25,0	8,41	0,21	625,0	11,50	3,87	210,22
4,52	214,0	90,198	1,865	4305,0	82,855	34,116	1694,815

**Tabla E.3.1 Matriz de valores**

12	4,52	214	90,198
4,52	1,865	82,855	34,116
214	82,855	4305	1694,815

**Tabla E.3.2 Valores de los coeficientes**

a <sub>0</sub>	4,8618753
a <sub>1</sub>	-1,6783149
a <sub>2</sub>	0,18430434

**Tabla E.4 Análisis para las proporciones AG, GAF, FAF de las mezclas secas.**

X1 (AG)	X2 (GAF)	X3(FAF)	X4 (DMN)	Y (Segreg)	(X1)^2	(X2)^2	(X3)^2	(X4)^2	X1*X2
0,38	0,33	0,32	9,5	6,450	0,144	0,109	0,102	90,25	0,125
0,8	0,55	0,13	9,5	6,130	0,640	0,303	0,017	90,25	0,440
1,06	0,56	0,34	9,5	5,860	1,124	0,314	0,116	90,25	0,594
0,63	0,53	0,52	9,5	5,450	0,397	0,281	0,270	90,25	0,334
0,56	0,31	0,28	19	8,29	0,314	0,096	0,078	361	0,174
0,64	0,24	0,39	19	8,13	0,410	0,058	0,152	361	0,154
0,9	0,34	0,45	19	7,70	0,810	0,116	0,203	361	0,306
0,79	0,52	0,52	19	7,52	0,624	0,270	0,270	361	0,411
0,67	0,34	0,29	25	9,08	0,449	0,116	0,084	625	0,228
0,9	0,51	0,52	25	8,67	0,810	0,260	0,270	625	0,459
0,91	0,32	0,3	25	8,51	0,828	0,102	0,090	625	0,291
1,52	0,51	0,46	25	8,41	2,310	0,260	0,212	625	0,775
9,76	5,06	4,52	214,00	90,198	8,86	2,28	1,86	4305,00	4,29

**Tabla E.4 (Continuación)**

X1*X3	X1*X4	X2*X3	X2*X4	X3*X4	X1*Y	X2*Y	X3*Y	X4*Y
0,12	3,61	0,11	3,14	3,04	2,45	2,13	2,06	61,28
0,10	7,60	0,07	5,23	1,24	4,90	3,37	0,80	58,24
0,36	10,07	0,19	5,32	3,23	6,21	3,28	1,99	55,67
0,33	5,99	0,28	5,04	4,94	3,43	2,89	2,83	51,78
0,16	10,64	0,09	5,89	5,32	4,64	2,57	2,32	157,52
0,25	12,16	0,09	4,56	7,41	5,20	1,95	3,17	154,42
0,41	17,10	0,15	6,46	8,55	6,93	2,62	3,47	146,32
0,41	15,01	0,27	9,88	9,88	5,94	3,91	3,91	142,88
0,19	16,75	0,10	8,50	7,25	6,09	3,09	2,63	227,07
0,47	22,50	0,27	12,75	13,00	7,80	4,42	4,51	216,72
0,27	22,75	0,10	8,00	7,50	7,74	2,72	2,55	212,71
0,70	38,00	0,23	12,75	11,50	12,78	4,29	3,87	210,22
3,77	182,18	1,94	87,51	82,86	74,13	37,24	34,12	1694,81

**Tabla E.41 Matriz de valores**

12,00	9,76	5,06	4,52	214,00	90,198
9,76	8,86	4,29	3,77	182,18	74,13
5,06	4,29	2,28	1,94	87,51	37,24
4,52	3,77	1,94	1,86	82,86	34,12
214,00	182,18	87,51	82,86	4305,00	1694,81

**Tabla E.4.2 Valores de los coeficientes**

$a_0$	5,55036226
$a_1$	-0,4315692
$a_2$	-1,1970555
$a_3$	-1,1396441
$a_4$	0,18230706

**Tabla E.5. Análisis para la proporción AG de las mezclas asfálticas.**

X	Y	Z	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	X*Z	Y*Z
0,38	9,5	5,35	0,14	90,25	3,61	2,03	50,83
0,80	9,5	4,81	0,64	90,25	7,60	3,85	45,70
1,06	9,5	5,48	1,12	90,25	10,07	5,81	52,06
0,63	9,5	4,36	0,40	90,25	5,99	2,75	41,42
0,56	19,0	7,46	0,31	361,0	10,64	4,18	141,74
0,64	19,0	7,29	0,41	361,0	12,16	4,67	138,51
0,90	19,0	6,94	0,81	361,0	17,10	6,25	131,86
0,79	19,0	6,73	0,62	361,0	15,01	5,32	127,87
0,67	25,0	8,22	0,45	625,0	16,75	5,51	205,50
0,90	25,0	7,78	0,81	625,0	22,50	7,00	194,50
0,91	25,0	8,04	0,83	625,0	22,75	7,32	201,00
1,52	25,0	7,54	2,31	625,0	38,00	11,46	188,50
9,76	214,0	80,0	8,86	4305,0	182,18	66,13	1519,48

**Tabla E.5.1 Matriz de valores**

12	9,76	214	80,000
9,76	8,860	182,175	66,129
214	182,175	4305	1519,480

**Tabla E.5.2 Valores de los coeficientes**

$a_0$	3,59513047
$a_1$	-0,6104756
$a_2$	0,20007792

**Tabla E.6. Análisis para la proporción GAF de las mezclas asfálticas.**

X	Y	Z	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	X*Z	Y*Z
0,55	9,5	5,35	0,30	90,25	5,23	2,94	50,83
0,56	9,5	4,81	0,31	90,25	5,32	2,69	45,70
0,53	9,5	5,48	0,28	90,25	5,04	2,90	52,06
0,33	9,5	4,36	0,11	90,25	3,14	1,44	41,42
0,31	19,0	7,46	0,10	361,0	5,89	2,31	141,74
0,24	19,0	7,29	0,06	361,0	4,56	1,75	138,51
0,34	19,0	6,94	0,12	361,0	6,46	2,36	131,86
0,52	19,0	6,73	0,27	361,0	9,88	3,50	127,87
0,34	25,0	8,22	0,12	625,0	8,50	2,79	205,50
0,51	25,0	7,78	0,26	625,0	12,75	3,97	194,50
0,32	25,0	8,04	0,10	625,0	8,00	2,57	201,00
0,51	25,0	7,54	0,26	625,0	12,75	3,85	188,50
5,06	214,0	80,00	2,28	4305,0	87,51	33,08	1519,48

**Tabla E.6.1 Matriz de valores**

12	5,06	214	80,0
5,06	2,284	87,505	33,08
214	87,505	4305	1519,48

**Tabla E.6.2 Valores de los coeficientes**

a <sub>0</sub>	3,79358728
a <sub>1</sub>	-0,985963
a <sub>2</sub>	0,18442021

**Tabla E.7 Análisis para la proporción FAF de las mezclas asfálticas.**

X	Y	Z	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	X*Z	Y*Z
0,13	9,5	5,35	0,02	90,25	1,24	0,70	50,83
0,34	9,5	4,81	0,12	90,25	3,23	1,64	45,70
0,52	9,5	5,48	0,27	90,25	4,94	2,85	52,06
0,32	9,5	4,36	0,10	90,25	3,04	1,40	41,42
0,28	19	7,46	0,08	361,00	5,32	2,09	141,74
0,39	19	7,29	0,15	361,00	7,41	2,84	138,51
0,45	19	6,94	0,20	361,00	8,55	3,12	131,86
0,52	19	6,73	0,27	361,00	9,88	3,50	127,87
0,29	25	8,22	0,08	625,00	7,25	2,38	205,50
0,52	25	7,78	0,27	625,00	13,00	4,05	194,50
0,3	25	8,04	0,09	625,00	7,50	2,41	201,00
0,46	25	7,54	0,21	625,00	11,50	3,47	188,50
4,52	214,0	80,00	1,86	4305,00	82,86	30,44	1519,48

**Tabla E.7.1 Matriz de valores**

12	4,52	214	80,000
4,52	1,865	82,855	30,440
214	82,855	4305	1519,480

**Tabla E.7.2 Valores de los coeficientes**

a <sub>0</sub>	3,51296528
a <sub>1</sub>	-0,7922694
a <sub>2</sub>	0,19357698

**Tabla E.8 Análisis para las proporciones AG, GAF, FAF de las mezclas asfálticas.**

X1 (AG)	X2 (GAF)	X3(FAF)	X4 (DMN)	Y (Segreg)	(X1)^2	(X2)^2	(X3)^2	(X4)^2	X1*X2
0,8	0,55	0,13	9,5	5,350	0,640	0,303	0,017	90,25	0,440
1,06	0,56	0,34	9,5	4,810	1,124	0,314	0,116	90,25	0,594
0,63	0,53	0,52	9,5	5,480	0,397	0,281	0,270	90,25	0,334
0,38	0,33	0,32	9,5	4,360	0,144	0,109	0,102	90,25	0,125
0,56	0,31	0,28	19	7,46	0,314	0,096	0,078	361	0,174
0,64	0,24	0,39	19	7,29	0,410	0,058	0,152	361	0,154
0,9	0,34	0,45	19	6,94	0,810	0,116	0,203	361	0,306
0,79	0,52	0,52	19	6,73	0,624	0,270	0,270	361	0,411
0,67	0,34	0,29	25	8,22	0,449	0,116	0,084	625	0,228
0,9	0,51	0,52	25	7,78	0,810	0,260	0,270	625	0,459
0,91	0,32	0,3	25	8,04	0,828	0,102	0,090	625	0,291
1,52	0,51	0,46	25	7,54	2,310	0,260	0,212	625	0,775
9,76	5,06	4,52	214,00	80,000	8,86	2,28	1,86	4305,00	4,29

**Tabla E.8 (Continuación)**

X1*X3	X1*X4	X2*X3	X2*X4	X3*X4	X1*Y	X2*Y	X3*Y	X4*Y
0,10	7,60	0,07	5,23	1,24	4,28	2,94	0,70	50,83
0,36	10,07	0,19	5,32	3,23	5,10	2,69	1,64	45,70
0,33	5,99	0,28	5,04	4,94	3,45	2,90	2,85	52,06
0,12	3,61	0,11	3,14	3,04	1,66	1,44	1,40	41,42
0,16	10,64	0,09	5,89	5,32	4,18	2,31	2,09	141,74
0,25	12,16	0,09	4,56	7,41	4,67	1,75	2,84	138,51
0,41	17,10	0,15	6,46	8,55	6,25	2,36	3,12	131,86
0,41	15,01	0,27	9,88	9,88	5,32	3,50	3,50	127,87
0,19	16,75	0,10	8,50	7,25	5,51	2,79	2,38	205,50
0,47	22,50	0,27	12,75	13,00	7,00	3,97	4,05	194,50
0,27	22,75	0,10	8,00	7,50	7,32	2,57	2,41	201,00
0,70	38,00	0,23	12,75	11,50	11,46	3,85	3,47	188,50
3,77	182,18	1,94	87,51	82,86	66,18	33,08	30,44	1519,48

**Tabla E.8.1 Matriz de valores**

12	9,76	5,06	4,52	214,00	80,000
9,76	8,860	4,290	3,77	182,18	66,18
5,06	4,290	2,28	1,94	87,51	33,08
4,52	3,77	1,94	1,86	82,86	30,44
214,00	182,18	87,51	82,86	4305,00	1519,48

**Tabla E.8.2 Valores de los coeficientes**

$a_0$	3,68622279
$a_1$	-0,5272892
$a_2$	0,0965853
$a_3$	-0,6260691
$a_4$	0,20211579