

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE ARENAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS  
COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL DE  
PRODUCTOS DE DESECHO EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

JAIR ALBERTO VÁSQUEZ CARRILLO  
NESTOR RICARDO GRANADOS GONZALEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2013

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE ARENAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS  
COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL DE  
PRODUCTOS DE DESECHO EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

JAIR ALBERTO VÁSQUEZ CARRILLO  
NESTOR RICARDO GRANADOS GONZALEZ

Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar  
El título de Ingeniero Civil

Director  
Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA

2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

El ingeniero Eduardo Alberto Castañeda, por su gran colaboración e invaluable experiencia, la cual fue de gran apoyo a lo largo de la realización de la presente investigación.

La ingeniera Andrea Forero, por la ayuda en el trámite de la donación del material por parte de Asfaltart S. A, que fue utilizado en el desarrollo del proyecto.

Germán Hernández Ayala, quien voluntariamente presto su colaboración en la realización de las pruebas del laboratorio.

:

.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo General	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO	18
1.2.1 Planteamiento Del Problema	18
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>19</b>
2.1 DEFINICIONES	19
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
3.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO PÉTREO Y LA ARENA DE DESECHO INV E – 213	22
3.2 LIMITE LÍQUIDO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E – 125 Y 126	22
3.3 PESO ESPECÍFICO PARA LOS AGREGADOS GRUESOS, FINOS Y ARENA DE DESECHO INV E-223-222	22
3.4 RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL INV E-748	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

3.5	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (GMM) INV E-735	23
3.6	PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS INV E-736	24
3.7	ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE INV E-799	24
3.8	SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA INV E-725	25
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA</b>	<b>26</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DESECHO	26
4.2	ALTERNATIVAS DE USO DE LA ARENA	27
4.3	FORMULACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	28
<b>5.</b>	<b>CRITERIOS PARA EL DISEÑO</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>33</b>
6.1	ENSAYO MARSHALL	33
6.1.1	Variación de Estabilidad Marshall	34
6.1.2	Variación de Flujo Marshall	35
6.1.3	Variación de vacíos con aire	36
6.1.4	Variación de vacíos en agregado mineral	37
6.1.5	Variación de vacíos llenos de asfalto	38

6.1.6 Relación llenante / Asfalto efectivo	39
<b>7. OBSERVACIONES Y COMENTARIOS FINALES</b>	<b>41</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>42</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>43</b>
9.1 Parámetros para la arena desecho de 2%	43
9.2 Parámetros para la arena desecho de 5%	44
9.3 Parámetros para la arena desecho de 7,5%	45
9.4 Parámetros para la arena desecho de 0%	46

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE DESECHO PROVENIENTE DE BARRANCABERMEJA.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
TABLA 2 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO PÉTREO.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
TABLA 3 FRANJA GRANULOMÉTRICA PARA MDC-2 INVIAS – 2007	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
TABLA 4 DOSIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS Y LA ARENA DE DESECHO	29
TABLA 5 CRITERIOS PARA EL DISEÑO MARSHALL	33
TABLA 6 PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 2%	43
TABLA 7 PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 5%	44
TABLA 8 PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 7,5%	45
TABLA 9 PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 0%	46

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 PRENSA MARSHALL	23
FIGURA 2 BOMBA DE VACÍOS	24
FIGURA 3 FRANJA GRANULOMÉTRICA PARA MDC-2 PARA LOS PORCENTAJES (%) DE 0; 2; 5; 7,5	29
FIGURA 4 PROBETAS REALIZADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN	31
FIGURA 5 VARIACIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL	34
FIGURA 6 VARIACIÓN DE FLUJO MARSHALL	35
FIGURA 7 VARIACIÓN DE VACÍOS CON AIRE (%)	36
FIGURA 8 VARIACIÓN DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL (%)	37
FIGURA 9 VARIACIÓN DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	38
FIGURA 10 RELACIÓN LLENANTE / ASFALTO EFECTIVO.	39

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 2%	43
ANEXO 2 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 5%	44
ANEXO 3 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 7,5%	45
ANEXO 4 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS PARA LA ARENA DESECHO DE 0%	46

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE ARENAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL DE PRODUCTOS DE DESECHO EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA.\*

**AUTORES:** JAIR ALBERTO VÁSQUEZ CARRILLO\*\*  
NESTOR RICARDO GRANADOS CONZALEZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Mezcla Asfáltica, impacto ambiental, arena de desecho.

Se determina la viabilidad de la utilización de la arena de desecho del proceso de lavado de los tanques de almacenamiento de petróleo por medio de la herramienta de sand-blasting, como alternativa para el uso de material primario en la producción de mezclas asfálticas. Esta alternativa puede ayudar a la mitigación del impacto ambiental que producen estos desechos, debido a que dicho material puede contener elementos nocivos para la salud de un ecosistema. Se muestran los porcentajes de arena de desecho en la mezcla asfáltica, se describen los resultados alcanzados con el ensayo de Marshall realizado, el cual determinó que no era factible el uso de la arena como componente de la mezcla asfáltica, debido a las falencias que presentaron algunos parámetros en el diseño de la mezcla.

Es necesario llevar a cabo la realización de diferentes pruebas de laboratorio de acuerdo las normas INVIAS, a partir de la cuales se determinarían las diferentes propiedades de la arena a evaluar.

Para la evaluación, se adicionan pequeñas cantidades de arena de desecho a un agregado que ya se considera competente para la mezcla. Al realizar el análisis respectivo se concluye que la arena de desecho no es apta para el uso de mezclas asfálticas, ya que utilizarla en campo, traería consecuencias en la vida útil del pavimento, debido a las falencias que presenta desmejorando la mezcla.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda

## ABSTRACT

**TITLE:** EVALUATION OF USE SAND IN ASPHALT MIXTURES LIKE ALTERNATIVE TO REDUCE ENVIRONMENTAL IMPACT OF WASTE PRODUCTS IN BARRANCABEMEJA REFINERY.\*

**AUTHORS:** JAIR ALBERTO VÁSQUEZ CARRILLO\*\*  
NESTOR RICARDO GRANADOS CONZALEZ\*\*

**KEYWORDS:** Asphalt Mixture, Environmental Impact, Sand Waste.

It is determined the viability of using sand waste from the process of washing the oil storage tank using sand-blasting tool as an alternative to the use of primary material in the production of asphalt mixtures, which leads to a mitigation of the environmental impact that produce these wastes, because such material may contain elements that are harmful for an ecosystem. The percentages of waste sand in the asphalt mixture described the results obtained with the Marshall test performed that conclude, waste sand isn't viable due to problems found in the design asphalt mixtures parameters.

Is necessary develop laboratory tests according to current standards such as INVIAS, from this is determinate the different properties of sand evaluated.

For the evaluation is necessary auditioned a little quantities of sand waste to sand clean which is competent for the mixture. From the analysis is concluded that the sand wasted isn't competent for the use of asphalt mixtures, because bring consequences in lifetime of pavement for the problems that have deteriorating the mixture

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physic-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda

## INTRODUCCIÓN

En la refinería de petróleo de Ecopetrol en Barrancabermeja, los tanques de almacenamiento son sometidos a un mantenimiento periódico, que conlleva, gran cantidad de residuos arenosos producto del proceso de limpieza que se realiza por medio de una herramienta de Sand-Blasting, la cual, dispara un chorro de arena que desprende los residuos adheridos al tanque, dejando como resultado una cantidad de arena de desecho.

Es importante encontrar soluciones para evitar la contaminación que se produce por el manejo inadecuado de los residuos arenosos, los cuales son portadores de impurezas y de agentes contaminantes, se pretende trabajar de modo que se pueda encontrar en dichos residuos un nuevo uso.

En este estudio se propone utilizar la arena de desecho en la fabricación de mezclas asfálticas para reducir los niveles de contaminación y al mismo tiempo el costo de la materia prima al momento de realizar una mezcla asfáltica.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo General**

Determinar la factibilidad de utilizar los residuos arenosos producto del proceso de limpieza de los tanques de almacenamiento de petróleo, como un recurso para la fabricación de mezclas asfálticas

#### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los componentes de la arena utilizada en el mantenimiento de petróleo en los tanques de la refinería de Barrancabermeja.
- Evaluar el uso de la arena en mezclas arena – asfalto para así conocer la capacidad y rendimiento de la mezcla, utilizando ensayos de Marshall y tracción directa.
- Determinar las modificaciones en mezclas asfálticas densas que se producen al utilizar la arena como una fracción de su componente granular.

## **1.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Planteamiento Del Problema**

A lo largo del tiempo el petróleo ha hecho parte importante del desarrollo de la población mundial, en el país existen entidades especializadas para el adecuado manejo del crudo. También es de vital importancia resaltar que se debe contar con el equipo adecuado para el almacenamiento del mismo, el cual se hace por medio de tanques ubicados en las en las refinerías de petróleo, dichos tanques deben ser sometidos a un mantenimiento periódico, lo que conlleva como resultado gran cantidad de residuos arenosos producto del proceso de limpieza.

En una sociedad como la actual, el tema del medio ambiente ha tomado tanta fuerza y demanda que se hace necesario tomar conciencia de las consecuencias que pueden acarrear el mal manejo de residuos en este ecosistema, por este motivo es importante encontrar soluciones para evitar la contaminación que se produce por medio de los residuos arenosos anteriormente mencionados, con los cuales se pretende trabajar de modo que se pueda encontrar en ellos un nuevo uso.

Se propone utilizar la arena en la fabricación de mezclas asfálticas y reducir los niveles de contaminación, al mismo tiempo economizar en la materia prima al momento de realizar una mezcla asfáltica en determinada obra.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 DEFINICIONES

**Mezcla asfáltica:** es una estructura compuesta principalmente por un ligante asfáltico y un agregado pétreo, el ligante se obtiene de la refinación del crudo de petróleo, su función principal es adherir las partículas en una masa cohesiva, el agregado pétreo suministra una estructura capaz de aportar resistencia y rigidez al sistema. Al conformarse la unión asfalto- agregado se obtiene un comportamiento de la mezcla que va a estar afectada por las propiedades de cada componente y su interacción dentro del sistema.

**Ligante asfáltico:** Es un material de color oscuro, que puede presentar consistencia líquida, semisólida o sólida. Una de las características más importantes es su susceptibilidad térmica, es decir depende principalmente de la temperatura. Es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

El ligante asfáltico empleado en la fabricación de mezclas fue 60 -70 de penetración ya que unas de sus principales características son la flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de ácidos, sales y alcoholes.

**Agregado pétreo:** el agregado utilizado en la elaboración de esta investigación se obtuvo a través de la extracción del lecho del río Chicamocha, este tiene que estar conformado por partículas de diferentes tamaños, las cuales puedan acoplarse

entre sí, conformando una estructura que aporte resistencia por la firmeza del material y la fricción que se genera entre las partículas.

**Porcentaje de vacíos:** el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica afecta su estabilidad y durabilidad. Cuando se tiene un porcentaje de vacíos menor al 3%, puede ocurrir ruptura debido al flujo plástico, por otra parte, cuando el porcentaje de vacíos es mayor a 8% la permeabilidad de la mezcla hace que la oxidación del ligante asfáltico aumente dando origen a un prematuro fisuramiento.

**Porcentaje de vacíos llenos de asfalto:** es inversamente proporcional al porcentaje de vacíos. Este porcentaje de vacíos incrementa debido a la densificación ocasionada por el tráfico. Cuando estos vacíos exceden el 80% dan origen a una mezcla inestable susceptible a la deformación.

**Vacíos en el agregado mineral:** son de vital importancia para la durabilidad de la mezcla. En un bajo nivel de vacíos no se puede adicionar suficiente ligante asfáltico para un óptimo recubrimiento de las partículas granulares.

### 3. METODOLOGÍA

Con el propósito de desarrollar el estudio se hicieron los siguientes ensayos y medidas.

- **Caracterización de la arena**

Se pesa una cantidad de arena de desecho seca de 600 gr, a su vez, se determina un orden de finura para los tamices, verificando que se encuentren en óptimas condiciones, para obtener la granulometría del material.

- **Selección de mezcla asfáltica en la que se incluirá la arena como fracción**

Se selecciona una mezcla densa en caliente 2 (MDC-2), que deberá satisfacer los requisitos de calidad, es una de las más utilizadas en el desarrollo de mezclas asfálticas en el país.

- **Formulación de mezclas asfálticas con diferentes contenidos de arena de desecho.**

Se determina que cantidades en porcentajes de arena de desecho se tomaron para la realización de la mezcla asfáltica.

Las normas que se emplearon en los ensayos son:

### **3.1 Granulometría del agregado pétreo y la arena de desecho INV E – 213**

Mediante este ensayo se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra seca, separándolos a través de una serie de tamices.

### **3.2 Limite líquido e Índice de Plasticidad INV E – 125 y 126**

Mediante estos ensayos se determinan las condiciones de consistencia del suelo con cambios de humedad.

### **3.3 Peso específico para los agregados gruesos, finos y arena de desecho INV E-223-222**

Se define el peso específico aparente como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente.

### **3.4 Resistencia de mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall INV E-748**

Con este ensayo se puede determinar la resistencia a la deformación plástica de una briqueta de mezcla bituminosa para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para proyecto de diseño de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El tipo de material a ensayar son briquetas cilíndricas de 4" de diámetro por 2 ½" de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. (*Figura 1*).

Figura 1 Prensa Marshall



Fuente Los Autores

### **3.5 Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (GMM) INV E-735**

Con este procedimiento se determina el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar. Se define como la relación del peso de un volumen dado de material con respecto a un volumen igual de agua a la misma temperatura. El resultado de este ensayo sirve para determinar las características y el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla.

Figura 2 Bomba de vacíos



Fuente Los Autores

**Figura 2.** Bomba de vacíos (empleada para determinar el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar).

### **3.6 Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas INV E-736**

Mediante este cálculo se determina el porcentaje de compactación de las mezclas asfálticas, como la relación entre el peso específico del espécimen (E-733) y el peso específico teórico máximo (E-735).

### **3.7 Análisis Volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente INV E-799**

Mediante este procedimiento se determina las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada, con el fin de realizar los cálculos pertinentes al diseño Marshall de la mezcla.

### **3.8 Susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas mediante la prueba de tracción Indirecta INV E-725**

Con este procedimiento se determina la relación de esfuerzos de tracción entre dos subgrupos (húmedo y seco) de concreto asfáltico. Se preparan de 6 a 10 briquetas compactadas a un volumen de vacíos con aire entre el 6% y el 8%, el subgrupo húmedo se satura entre el 55% y 80% y se somete a inmersión en agua a 60°C durante 24 horas, transcurrido el tiempo estas briquetas se secan al aire durante dos horas y se fallan junto al subgrupo seco a compresión diametral con el marco de carga Lottman a una velocidad de aplicación de carga de 50.8 mm/min, determinando la carga máxima de rotura para cada subgrupo y el esfuerzo de tracción promedio de cada subgrupo, la relación de esfuerzos de tracción debe ser superior al 80%.

## 4. ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFALTICA

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DESECHO

Haciendo un juicio preliminar acerca de la apariencia de la arena, se puede observar que esta presenta un color oscuro, de igual manera, se percibe que se encuentra en un estado húmedo, y se destaca su aroma, el cual difiere de una arena convencional, esto se debe a los residuos de petróleo con los que tuvo contacto.

Inicialmente, se determinaron las diferentes características de la arena a trabajar. Se clasificó el material, según el sistema unificado de clasificación de suelos, obteniendo una arena bien graduada ligeramente limosa (SW-SM), no presenta límite líquido ni plástico. El resultado del ensayo de granulometría se muestra detalladamente en la *tabla 1*. Por otra parte, se obtuvo la densidad del material con un valor de  $2,43 \text{ g/cm}^3$  y contenido de materia orgánica de 1%.

Tabla 1 Granulometría de la Arena de desecho proveniente de Barrancabermeja.

TAMIZ	ABERTURA TAMICES	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASA
""	mm	g	%	%
Nº 4	4,75	0,00	0,00	100,00
10,00	2,00	2,50	0,42	99,58
20,00	0,84	120,70	20,12	79,47
40,00	0,42	252,00	42,00	37,47
60,00	0,25	91,30	15,22	22,25
100,00	0,15	41,00	6,83	15,42
200,00	0,07	44,20	7,37	8,05
pasa 200		3,90	0,65	0,00

Fuente Los Autores

## 4.2 ALTERNATIVAS DE USO DE LA ARENA

Siendo la arena de desecho un agregado fino, se analizaron diferentes posibilidades para incorporar el material en la producción de mezclas asfálticas. Se evaluaron las formulas empleadas en cinco plantas de fabricación de mezcla asfáltica. En una de ellas (tabla 2) ubicada en el municipio de Aguachica, se encontró que el empleo de la arena de desecho aseguraba una distribución granulométrica más ajustada a las especificaciones vigentes del Instituto Nacional de Vías (tabla 3) para la fabricación de mezcla asfáltica tipo MDC-2, originalmente de la fuente, Rio Besotes, en Aguachica [Cifuentes S; Rueda S; 2002] [1].

Tabla 2 Granulometría del agregado pétreo

TAMIZ	ABERTURA TAMICES	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASA
""	mm	g	%	%
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	500,70	14,31	85,69
3/8"	9,52	441,80	12,62	73,07
Nº 4	4,75	616,70	17,62	55,45
10,00	2,00	653,10	18,66	36,79
20,00	0,84	352,60	10,07	26,72
40,00	0,42	206,50	5,90	20,82
80,00	0,25	304,10	8,69	12,13
100,00	0,15	70,70	2,02	10,11
200,00	0,07	112,70	3,22	6,89
pasa 200		240,70	6,88	0,00

Fuente Cifuentes S; Rueda S; 2002

Tabla 3 Franja granulométrica para MDC-2 INVIAS – 2007.

TAMIZ	ABERTURA TAMICES MM	LIMITES MDC-2 % PASA
3/4"	19,05	100,00
1/2"	12,70	80-95
3/8"	9,52	70-88
N° 4	4,75	49-65
N°10	2,00	29-45
N°40	0,43	17-28
N°80	0,18	8_17
N°200	0,08	4_8

Fuente Norma INVIAS

Para evaluar el efecto de la inclusión de arena de desecho se fabricaron probetas de mezcla tipo MDC-2 empleando materiales pétreos, obtenidos originalmente de la fuente, río Chicamocha en Pescadero, se utilizó asfalto convencional de penetración 60/70, proveniente de la refinería de Barrancabermeja.

### 4.3 FORMULACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

En el estudio de formulación se utilizaron las siguientes dosificaciones:

Dosificación 1: 92.5% agregado pétreo 7.5% arena desecho.

Dosificación 2: 95% agregado pétreo 5% arena desecho.

Dosificación 3: 98% agregado pétreo 2% arena de desecho.

Dosificación 4: 100% agregado pétreo.

Las granulometrías obtenidas con la dosificación anteriormente señaladas, se muestran en la *tabla 4*.

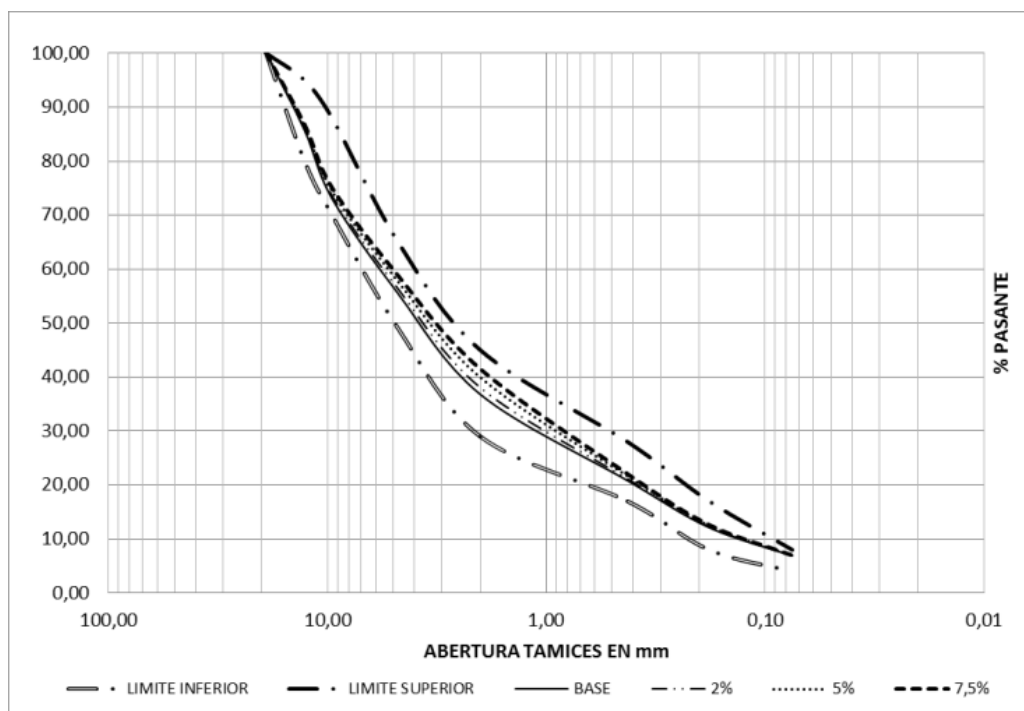
Tabla 4 Dosificación de los agregados pétreos y la arena de desecho.

ARENA (%)	2		5		7,5	
	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASA	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASA	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASA
3/4"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	14,02	85,98	13,59	86,41	13,23	86,77
3/8"	12,37	73,61	11,99	74,42	11,68	75,09
N° 4	17,27	56,34	16,74	57,68	16,30	58,79
10,00	18,30	38,05	17,75	39,93	17,29	41,50
40,00	16,90	21,15	18,28	21,65	19,43	22,07
80,00	8,89	12,26	9,19	12,46	9,43	12,63
200,00	5,35	6,91	5,52	6,95	5,66	6,98
pasa 200	6,91	0,00	6,95	0,00	6,98	0,00

Fuente Los Autores

Las diferentes combinaciones de agregados satisfacen la franja granulométrica correspondiente a la MDC-2, al igual que la mezcla sin arena de desecho (*Figura 3*).

Figura 3 Franja granulométrica para MDC-2 para los porcentajes (%) de 0; 2; 5; 7,5.



Fuente Los Autores

El incremento de la fracción de arena de desecho aumenta el contenido de finos del material resultante.

## 5. CRITERIOS PARA EL DISEÑO

La cantidad de ligante en la mezcla se obtuvo empleando el método de Marshall, se fabricaron probetas con 3 porcentajes de asfalto 5%; 5,3%; 5,6%.

De acuerdo con lo estipulado en la norma I.N.V.E – 799-07 [2], se utilizan tres probetas por dosificación, dando como resultado para el presente caso, un total de 36 probetas (*Figura 4*).

Figura 4 Probetas realizadas durante la investigación.



Fuente Los Autores

Teniendo en cuenta los requerimientos de la especificación INVIAS se selecciona el contenido de ligante:

- Estabilidad
- Flujo
- Vacíos de aire (%)
- Vacíos en el agregado mineral (%)
- Vacíos llenos de asfalto (%)
- Relación de polvo, llenante- asfalto efectivo

## 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Después de realizar todos los especímenes y ensayarlos con la prensa Marshall, se procede a hacer el respectivo análisis de resultados, el cual tiene como finalidad, encontrar la cantidad de asfalto óptimo para una mezcla, se prosigue a determinar la viabilidad de la inclusión de la arena de desecho como alternativa para la producción de mezclas asfálticas.

### 6.1 ENSAYO MARSHALL

Para el diseño Marshall, la mezcla asfáltica debe cumplir con cada uno de los requerimientos (*tabla 5*), exigidos por el Instituto Nacional de Vías.

Tabla 5 Criterios para el diseño Marshall

CARACTERÍSTICA NORMA DE ENSAYO	INV	VALOR DE REFERENCIA
Compactación (golpes por cara)	E-748	75
Estabilidad mínima (kg-f)	E-748	900
Flujo (mm)	E-748	2 – 3.5
Vacíos con aire (%)	E-799 y E-748	4 – 6
Vacíos en agregado mineral (%)	E-799 y E-748	≥ 15
Vacíos llenos de asfalto (%)	E-799 y E-748	65 - 75
Relación llenante / Asfalto efectivo	E-799	0.8 - 1.2

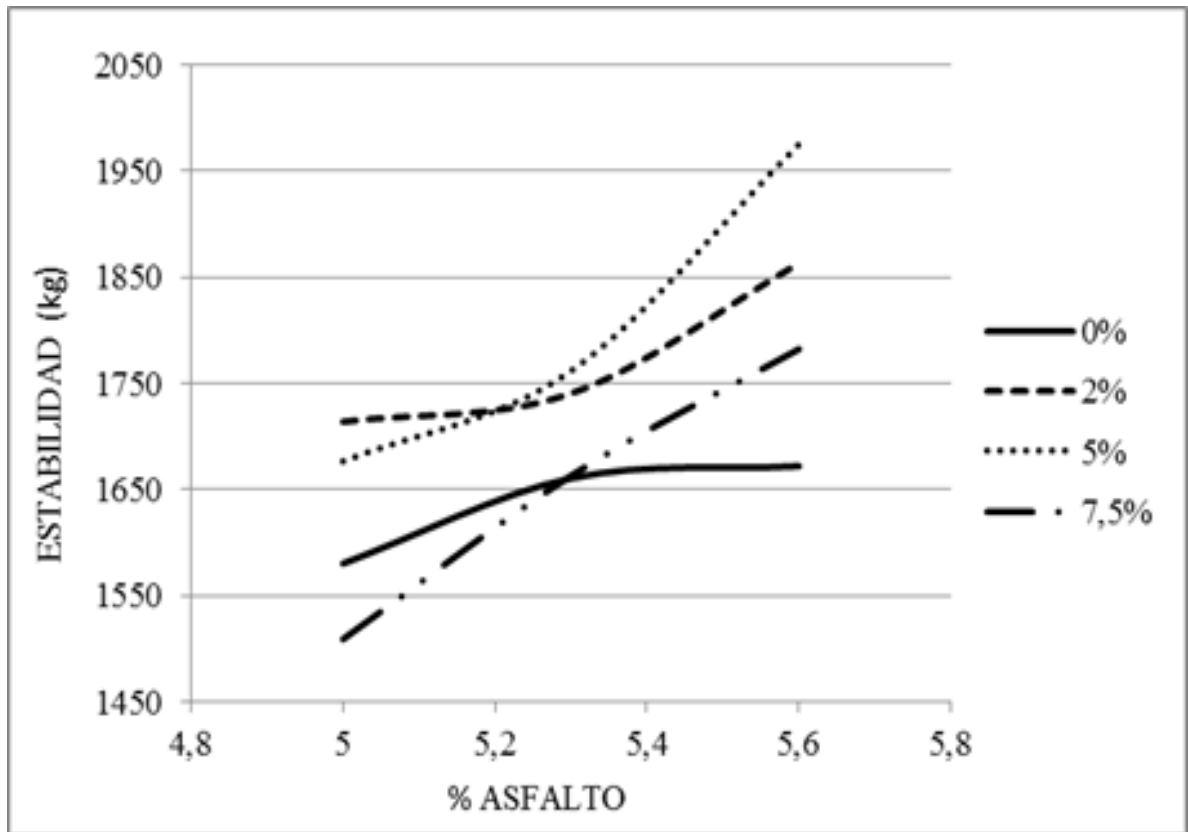
Fuente Norma INVE

Se muestran en la *tabla 6* los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros en los cálculos necesarios utilizados en el ensayo de Marshall.

Los resultados obtenidos para el presente ensayo se pueden observar en las *figuras 5 – 10*.

### 6.1.1 Variación de Estabilidad Marshall

Figura 5 Variación de Estabilidad Marshall.

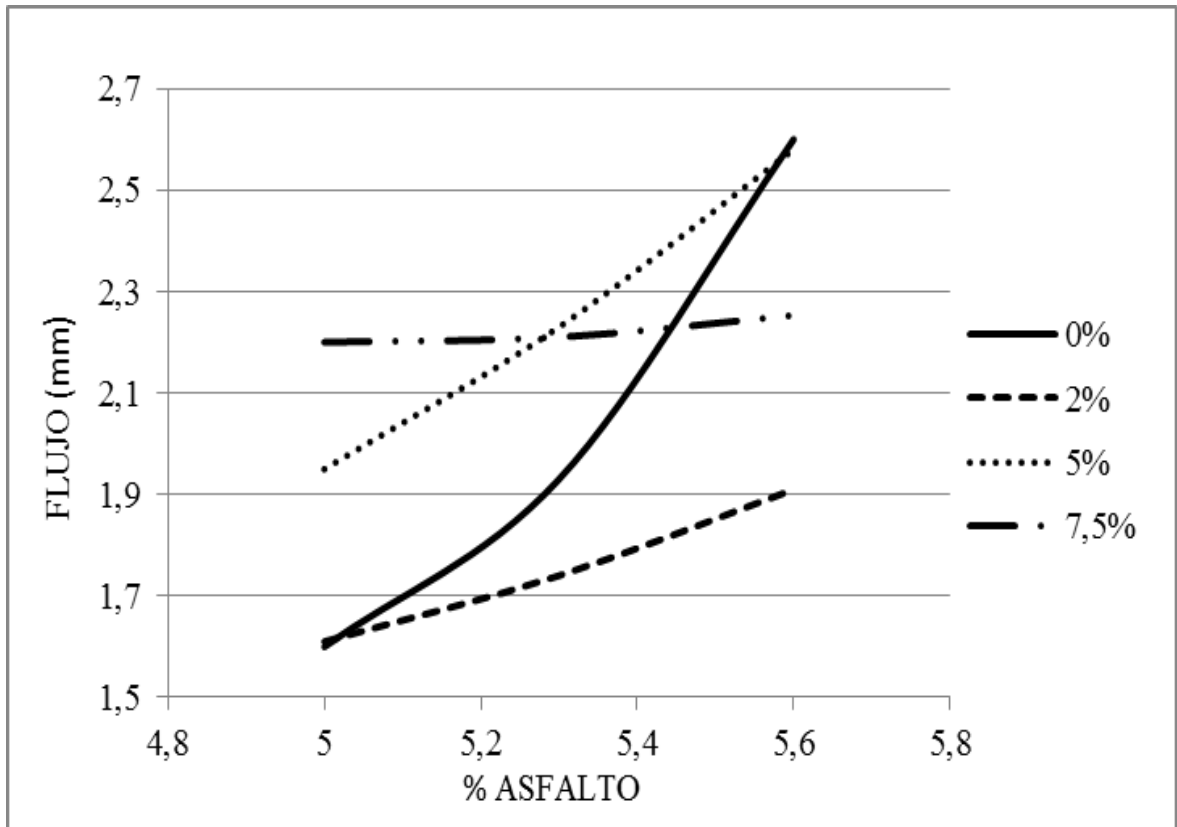


Fuente Los Autores

Mediante este análisis se garantiza la suficiente estabilidad en una determinada cantidad de asfalto. Se observa que todas dosificaciones experimentadas cumplieron con los requisitos establecidos por la norma, por ende, este parámetro cumple con el criterio de diseño para la mezcla asfáltica que debe ser superior de los 900 kg.

### 6.1.2 Variación de Flujo Marshall

Figura 6 Variación de Flujo Marshall

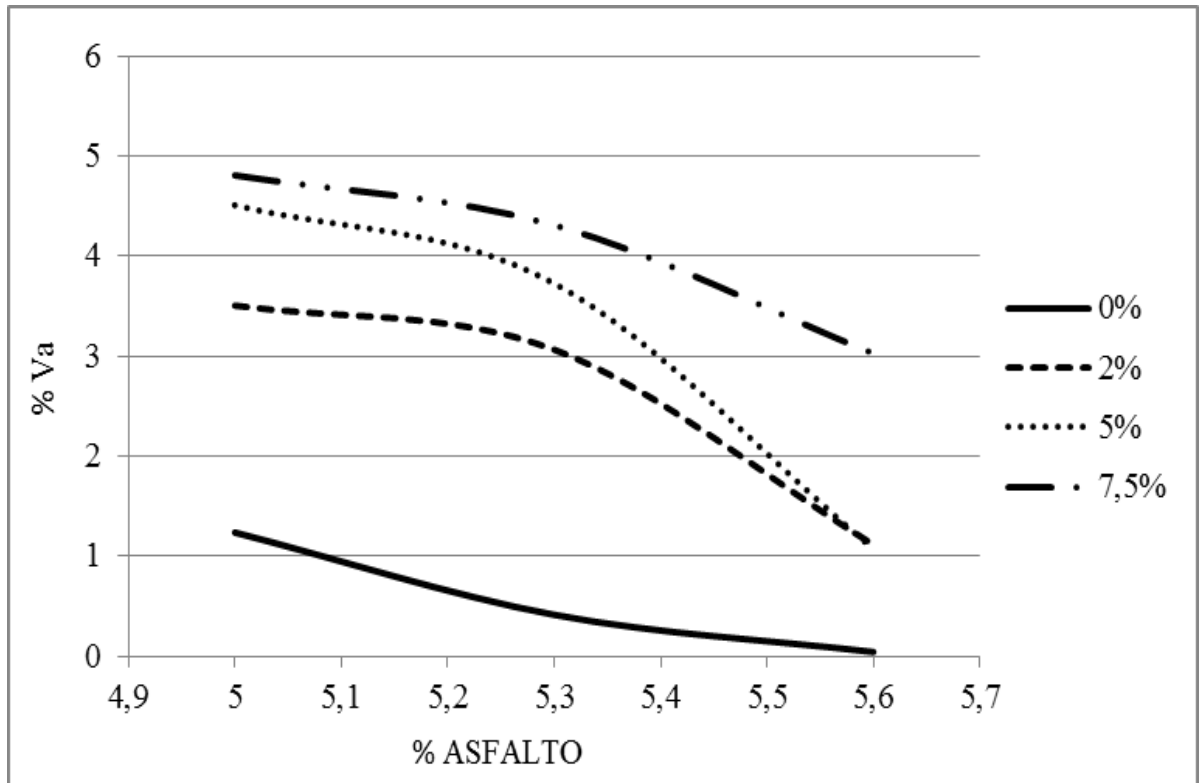


Fuente Los Autores

El flujo hace alusión a la deformación vertical que sufre la probeta al ser fallada en la prensa Marshall. El rango de aceptación que establece la norma esta entre 2 y 3,5 mm, no todas dosificaciones ensayadas cumplen con el parámetro.

### 6.1.3 Variación de vacíos con aire

Figura 7 Variación de vacíos con aire (%)

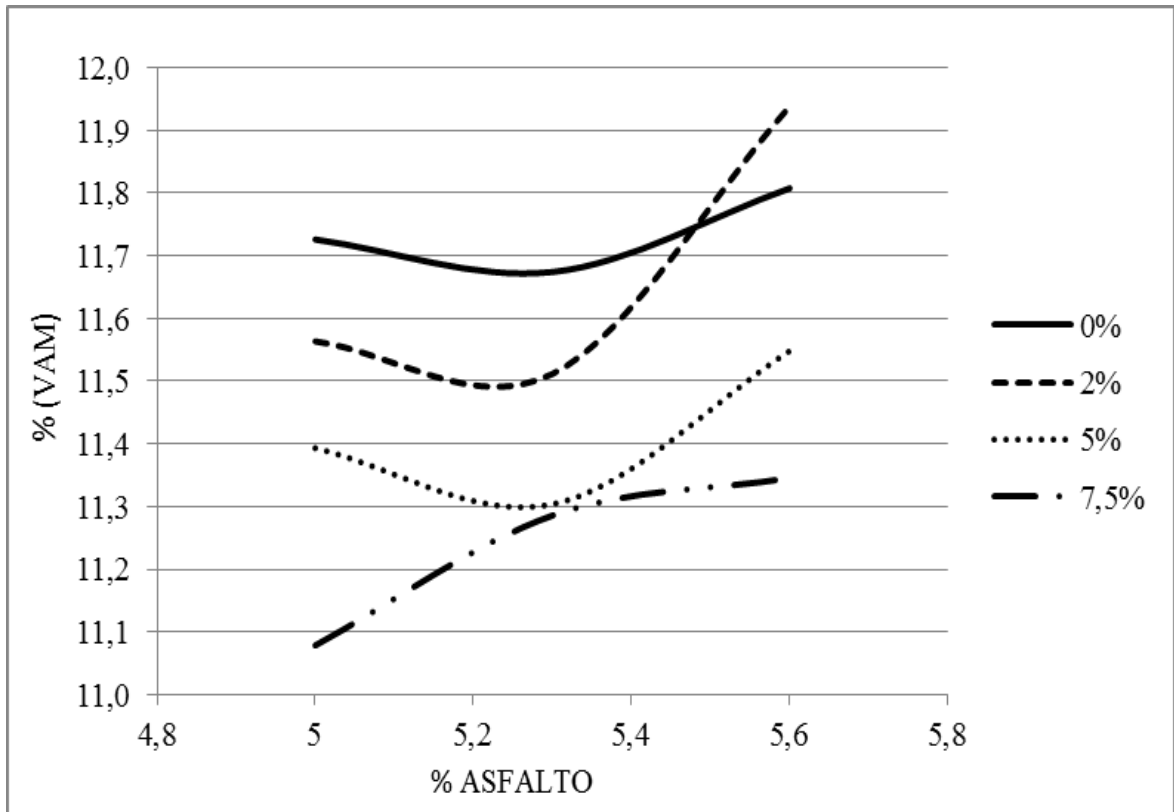


Fuente Los Autores

El porcentaje de vacíos incide directamente en la densidad de la mezcla asfáltica; se observa como la arena original se encuentra por debajo del parámetro exigido por la norma, pero al agregar la arena de desecho tiende a mejorar aumentando el porcentaje de vacíos ya que el rango de aceptación se encuentra entre 4 y 6%.

### 6.1.4 Variación de vacíos en agregado mineral

Figura 8 Variación de vacíos en agregado mineral (%)

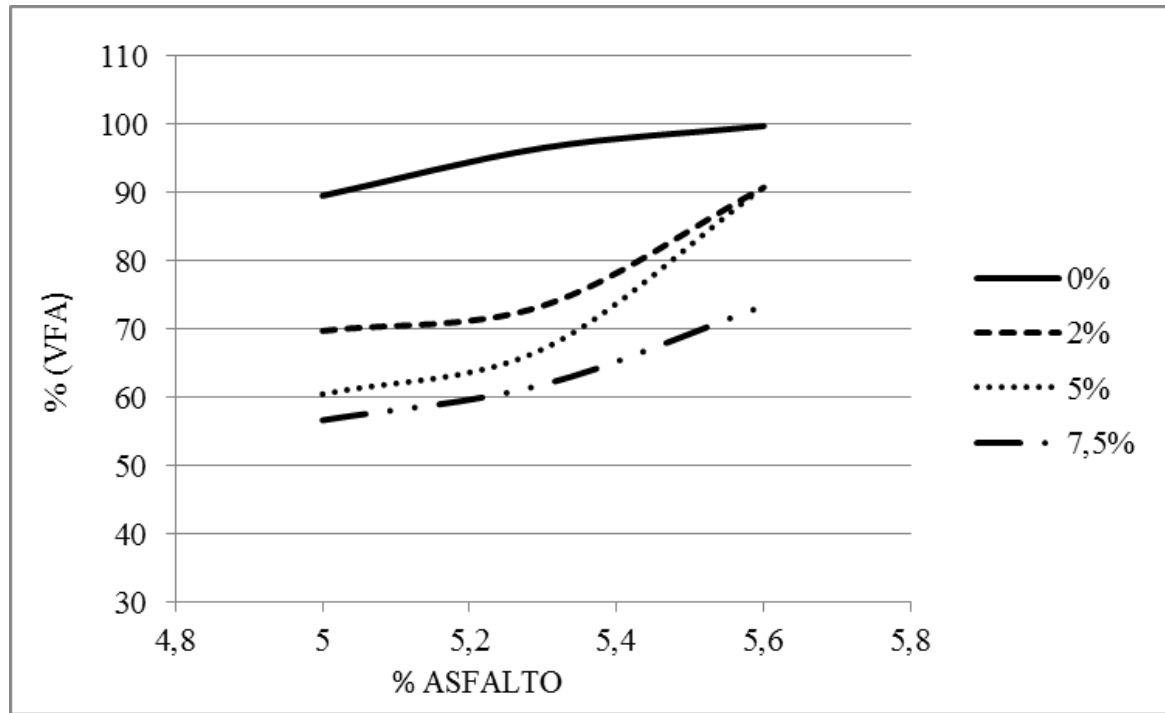


Fuente Los Autores

El comportamiento del porcentaje de vacíos en el agregado mineral desmejora notablemente con la inclusión de la arena de desecho respecto a los demás parámetros. Ninguna de las cuatro propuestas es apta para la fabricación de mezclas asfálticas porque la norma establece un porcentaje de aceptación superior al 15% para este parámetro.

### 6.1.5 Variación de vacíos llenos de asfalto

Figura 9 Variación de vacíos llenos de asfalto (%)

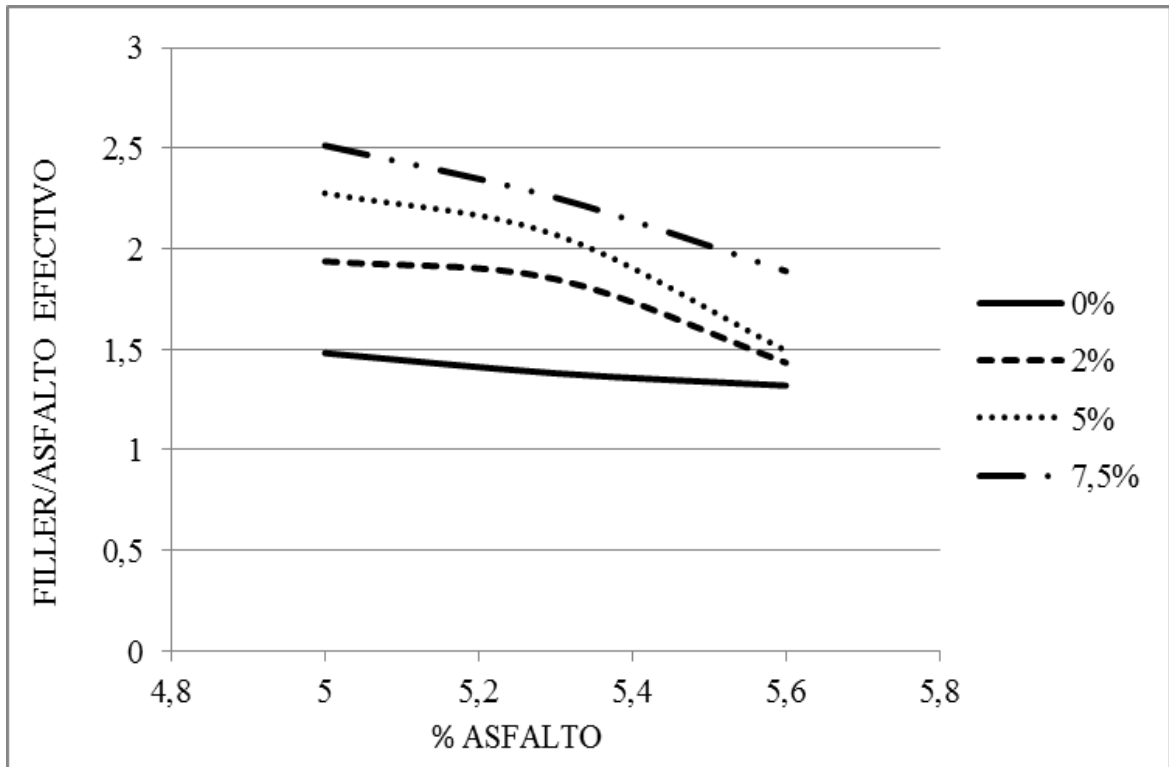


Fuente Los Autores

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto es inversamente proporcional con el porcentaje de vacíos con aire de la mezcla asfáltica, por consiguiente, se observa que los resultados obtenidos para este parámetro, son congruentes con lo que se observa en la gráfica de porcentaje vacíos con aire. Según los requerimientos de la norma, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto mejora con la adición de la arena de desecho, a tal punto, que la mezcla encaja dentro del rango de aceptación de entre 65 y 75%.

### 6.1.6 Relación Llenante / Asfalto efectivo

Figura 10 Relación Llenante / Asfalto efectivo.



Fuente Los Autores

Es la relación llenante/ asfalto efectivo, en masa entre el porcentaje de agregado que pasa por el tamiz no 200 y el contenido de asfalto efectivo, para el análisis de esta grafica se observa que la arena pura se encuentra por encima dentro del rango permitido por la norma, al adicionar la arena de desecho, la relación llenante/asfalto efectivo aumenta aún más, alejando el material del valor de aceptación que está entre 0,8 y 1,2.

Después de obtener los resultados para cada grupo de probetas, según su dosificación, se llegó a la conclusión que la inclusión de la arena de desecho no es conveniente para la fabricación de mezclas asfálticas, aunque con 0% de arena de desecho, no cumple con la totalidad de los parámetros establecidos en la especificación, aun así, es importante resaltar la tendencia que muestran los resultados, observando cómo desmejora el comportamiento al aumentar el porcentaje de arena de desecho en la mezcla asfáltica.

## 7. CONCLUSIONES

Los estudios indican que el empleo de arena de desecho como una fracción del componente granular del agregado pétreo, produce significativas modificaciones en el comportamiento de la mezcla asfáltica, desmejorando el cumplimiento de especificaciones de las mezclas asfálticas.

La adición de arena afectó los vacíos en el agregado mineral, disminuyendo el porcentaje de vacíos, lo cual es contrario a los requerimientos de la norma, ya que esta exige un porcentaje mayor o igual al 15%. De igual manera, otro parámetro que no cumple, es el de la relación llenante/asfalto efectivo.

Con la adición de la arena de desecho se obtiene una mezcla aún más densa que deja menos espacio entre los agregados, es decir, hay espacios entre los agregados de la arena pura, y a medida que se va adicionando la arena fina se van llenando esos espacios.

Una mezcla asfáltica de este tipo, no permite suministrar una cantidad suficiente de ligante asfáltico para proveer una lámina de espesor satisfactoria que recubra el agregado, por ende, el comportamiento en campo de dicha mezcla seguramente sea inestable, con tendencia al desagregado de sus componentes, ocasionado por el tráfico.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

### **8.1 Referencias de Libros**

[1] DEL TORO WILFREDO, CASTAÑEDA EDUARDO, Guía de conocimientos básicos de mecánica de suelos, Universidad Industrial de Santander. Departamento de ingeniería civil, Bucaramanga, 1993.

[2] I.N.V.E – 748 – 07. RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL.

[3] I.N.V.E – 799 – 07. ANALISIS VOLUMETRICO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE.

### **8.2 Tesis**

[1] CIFUENTES SERGIO ALFREDO, RUEDA SERGIO ANDRES, Variación de las propiedades mecánicas del concreto asfaltico sometidos a ciclos de humedecimiento y secado, Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2002.

[2] CORDOBA CAMILO, VALENCIA MAURICIO, Tesis para el estudio de la disposición del catalizador gastado de la planta de parafinas, como material llenante en la estructura del pavimento, Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 1996.

## 9. ANEXOS

### 9.1 Resultado de los parámetros para la arena desecho de 2%

Tabla 6 Parámetros para la arena desecho de 2%

PARAMETROS	SIGLA	RESULTADOS		
% LIGANTE ASFALTICO	(Pb)	5	5,3	5,6
% AGREGADO	(Ps)	95	94,7	94,4
AGREGADO GRUESO	(P1)	41,47	41,34	41,21
AGREGADO FINO	(P2)	51,63	51,46	51,30
ARENA	(P3)	1,90	1,89	1,89
GE LIGA	(Gb)	1,008	1,008	1,008
GE AGREGADO GRUESO	(G1)	2,55	2,55	2,55
GE AGREGADO FINO	(G2)	2,60	2,60	2,60
GE AGREGADO ARENA	(G3)	2,36	2,36	2,36
GE BULK COMBINADO	(Gsb)	2,57	2,57	2,57
GE MAX. TEOR. COMPACTADA	(Gmm)	2,482	2,480	2,427
GE BULK COMPACTADO	(Gmb)	2,395	2,404	2,400
GE EFECTIVA DEL AGREGADO	(Gse)	2,689	2,701	2,648
ASFALTO ABSORBIDO	(Pba)	1,693	1,857	1,116
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO	(Pbe)	3,391	3,542	4,547
% VACIOS AGREGADO MINERAL	(VAM)	11,563	11,512	11,938
% VACIOS DE AIRE COMPACTADA	(Va)	3,505	3,065	1,112
% VACIOS LLENOS DE LIGANTE ASFALTICO	(VFA)	69,687	73,379	90,681
RELACION POLVO, LLENANTE Y ASFALTO EFEC.	(R.P)	1,94	1,85	1,43

ESTABILIDAD 2%	
5	1713,6483
5,3	1740,2877
5,6	1862,9208

FLUJO 2%	
5	1,61
5,3	1,74
5,6	1,91

Fuente Los Autores

## 9.2 Resultado de los parámetros para la arena desecho de 5%

Tabla 7 Parámetros para la arena desecho de 5%

PARAMETROS	SIGLA	RESULTADOS		
		5	5,3	5,6
% LIGANTE ASFALTICO	(Pb)	5	5,3	5,6
% AGREGADO	(Ps)	95	94,7	94,4
AGREGADO GRUESO	(P1)	40,21	40,08	39,95
AGREGADO FINO	(P2)	50,04	49,89	49,73
ARENA	(P3)	4,75	4,74	4,72
GE LIGA	(Gb)	1,008	1,008	1,008
GE AGREGADO GRUESO	(G1)	2,55	2,55	2,55
GE AGREGADO FINO	(G2)	2,60	2,60	2,60
GE AGREGADO ARENA	(G3)	2,36	2,36	2,36
GE BULK COMBINADO	(Gsb)	2,57	2,57	2,57
GE MAX. TEOR. COMPACTADA	(Gmm)	2,506	2,496	2,430
GE BULK COMPACTADO	(Gmb)	2,393	2,403	2,404
GE EFECTIVA DEL AGREGADO	(Gse)	2,719	2,721	2,652
ASFALTO ABSORBIDO	(Pba)	2,211	2,240	1,278
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO	(Pbe)	2,900	3,179	4,394
% VACIOS AGREGADO MINERAL	(VAM)	11,393	11,304	11,548
% VACIOS DE AIRE COMPACTADA	(Va)	4,509	3,726	1,070
% VACIOS LLENOS DE LIGANTE ASFALTICO	(VFA)	60,422	67,037	90,735
RELACION POLVO, LLENANTE Y ASFALTO EFEC.	(R.P)	2,28	2,07	1,49

ESTABILIDAD 5%	
5	1676,445
5,3	1761,4155
5,6	1974,99

FLUJO 5%	
5	1,95
5,3	2,23
5,6	2,58

Fuente Los Autores

### 9.3 Resultado de los parámetros para la arena desecho de 7,5%

Tabla 8 Parámetros para la arena desecho de 7,5%

PARAMETROS	SIGLA	RESULTADOS		
% LIGANTE ASFALTICO	(Pb)	5	5,3	5,6
% AGREGADO	(Ps)	95	94,7	94,4
AGREGADO GRUESO	(P1)	39,15	39,02	38,90
AGREGADO FINO	(P2)	48,73	48,57	48,42
ARENA	(P3)	7,13	7,10	7,08
GE LIGA	(Gb)	1,008	1,008	1,008
GE AGREGADO GRUESO	(G1)	2,55	2,55	2,55
GE AGREGADO FINO	(G2)	2,60	2,60	2,60
GE AGREGADO ARENA	(G3)	2,36	2,36	2,36
GE BULK COMBINADO	(Gsb)	2,56	2,56	2,56
GE MAX. TEOR. COMPACTADA	(Gmm)	2,517	2,506	2,479
GE BULK COMPACTADO	(Gmb)	2,396	2,398	2,404
GE EFECTIVA DEL AGREGADO	(Gse)	2,732	2,733	2,714
ASFALTO ABSORBIDO	(Pba)	2,486	2,500	2,237
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO	(Pbe)	2,638	2,932	3,489
% VACIOS AGREGADO MINERAL	(VAM)	11,078	11,286	11,345
% VACIOS DE AIRE COMPACTADA	(Va)	4,807	4,310	3,025
% VACIOS LLENOS DE LIGANTE ASFALTICO	(VFA)	56,606	61,813	73,333
RELACION POLVO, LLENANTE Y ASFALTO EFEC.	(R.P)	2,51	2,25	1,89

ESTABILIDAD 7,5%	
5	1508,8005
5,3	1662,666
5,6	1782,084

FLUJO 7,5%	
5	2,2
5,3	2,21
5,6	2,253

Fuente Los Autores

## 9.4 Resultado de los parámetros para la arena desecho de 0%

Tabla 9 Parámetros para la arena desecho de 0%

PARAMETROS	SIGLA	RESULTADOS		
		5	5,3	5,6
% LIGANTE ASFALTICO	(Pb)	5	5,3	5,6
% AGREGADO	(Ps)	95	94,7	94,4
AGREGADO GRUESO	(P1)	41,47	41,34	41,21
AGREGADO FINO	(P2)	51,63	51,46	51,30
ARENA	(P3)	1,90	1,89	1,89
GE LIGA	(Gb)	1,008	1,008	1,008
GE AGREGADO GRUESO	(G1)	2,55	2,55	2,55
GE AGREGADO FINO	(G2)	2,60	2,60	2,60
GE AGREGADO ARENA	(G3)	2,36	2,36	2,36
GE BULK COMBINADO	(Gsb)	2,57	2,57	2,57
GE MAX. TEOR. COMPACTADA	(Gmm)	2,425	2,414	2,409
GE BULK COMPACTADO	(Gmb)	2,395	2,404	2,408
GE EFECTIVA DEL AGREGADO	(Gse)	2,619	2,618	2,625
ASFALTO ABSORBIDO	(Pba)	0,688	0,683	0,787
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO	(Pbe)	4,346	4,653	4,857
% VACIOS AGREGADO MINERAL	(VAM)	11,563	11,512	11,645
% VACIOS DE AIRE COMPACTADA	(Va)	1,237	0,414	0,042
% VACIOS LLENOS DE LIGANTE ASFALTICO	(VFA)	89,301	96,401	99,644
RELACION POLVO, LLENANTE Y ASFALTO EFEC.	(R.P)	1,50	1,40	1,34

ASFALTO	ESTABILIDAD P%
5	1579,992
5,3	1660,3695
5,6	1671,852

ASFALTO	FLUJO P%
5	1,6
5,3	1,93
5,6	2,6

Fuente Los Autores