

**DISEÑO VOLUMÉTRICO MARSHALL  
MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-19  
CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 DE REFINERÍA**



**PLANTA COINOBRAS S.A.S  
KM 4 VÍA GIRÓN – ZAPATOCA, SANTANDER**

**INFORME TÉCNICO  
BUCARAMANGA, 05 DE MAYO DE 2023**

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	3
1. GENERALIDADES.....	4
2. PROCEDIMIENTO .....	5
2.1 ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO .....	5
2.2 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO.....	5
2.3 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS .....	5
2.4 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS .....	6
2.5 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL .....	6
2.6 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES .....	6
2.7 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL .....	7
2.8 DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS .....	7
2.9 SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SULFATOS .....	7
2.10 DETERMINACIÓN DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO (CONTENIDO DE IMPUREZAS) .....	7
2.11 ÍNDICE DE PLASTICIDAD .....	8
2.12 EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS .....	8
2.13 VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS .....	8
2.14 PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS .....	9
2.15 PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN AGREGADO GRUESO .....	9
2.16 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍO EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA) .....	9
2.17 DENSIDAD BULK DE LLENANTE MINERAL EN KEROSENE.....	10
2.18 VACÍOS DEL LLENANTE SECO COMPACTO .....	10
2.19 EFECTO DEL AGUA SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS - AGUA HERVIDA.....	10
2.20 ADHESIVIDAD POR MÉTODO RIEDEL WEBER .....	10
2.21 CONCENTRACIÓN CRÍTICA DEL LLENANTE MINERAL .....	11
2.22 ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL .....	11
2.23 EVALUACIÓN DE LA SUCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA (TSR) .....	11
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	12
RESULTADOS DE LA FORMULA DE TRABAJO.....	16

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## INTRODUCCIÓN

El presente diseño de mezcla asfáltica en caliente tiene como objetivo, definir el contenido óptimo de asfalto con mejorador de adherencia y la gradación de los agregados (Fórmula de trabajo), para una mezcla asfáltica tipo MDC-19 elaborada en la planta de producción, ubicada sobre el km 4 vía Girón – Zapatoca; esta combinación brindará la resistencia a la mezcla mediante la unión entre partículas, las cuales cumplan los requisitos de gradación, estabilidad, fluencia, densidad y porcentajes de vacíos, de acuerdo con el método de diseño Marshall y las especificaciones generales de construcción de carreteras 400 y 450- INVIAS 2013.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 1. GENERALIDADES

Los agregados pétreos utilizados en la producción de concreto asfáltico (Denso) en (Caliente) Tipo (MDC-19), a fecha (05/05/2023), provienen de la fuente de explotación (Río Chicamocha, Sector pescadero), ubicado en el departamento de Santander y cuyas plantas de explotación son Avenza, como se muestra en la tabla 1 (Descripción de agregados) relacionada a continuación:

Día de ensayo	05/05/2023
Tipo de mezcla	MDC-19
% agregados utilizados	25% Triturado 3/4" – 75% Arena triturada pasa 3/8"
Fuente de material	Rio Chicamocha, sector Pescadero
Procedencia	Triturado: Planta de producción COINOBRAS S.A.S Arena triturada: Avenza – Planta de producción COINOBRAS S.A.S

**Tabla 1.** Descripción de la muestra

La Gravedad Especifica Efectiva (Gse) es igual a **(2.700)** g/cm<sup>3</sup>.

**Nivel de Tránsito:** NT3

**Temperatura Media climática:** 24 °C

**Clasificación climática de la Zona:** Intermedia

**Uso de capa en estructura de pavimento:** Rodadura

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	30-40	MDC-10
	40-60	MDC-19, MSC-19
	>60	MDC25, MDC-19, MSC-19
Intermedia	>50	MDC-25, MSC-25
Base	>75	MSC-25, MGC-38, MGC,25
Alto módulo	60-130	MAM-25
Bacheos	50-75	MSC-25, MGC-25
	>75	MSC-25-MGC-38, MGC-25

**Tabla 2.** Tipo de mezcla en función del tipo y espesor compacto de la capa-Art 450 de INVÍAS

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 2. PROCEDIMIENTO

### 2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

#### **NORMA: INV E-213-13**

Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

### 2.2 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO

#### **NORMA: INV E-217-13**

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el peso unitario de agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, en condición suelta o compacta, y para calcular los vacíos en base en la misma determinación. El método es aplicable a materiales que tengan tamaño máximo nominal menor o igual a 5.

Los valores obtenidos al aplicar esta norma, se emplean en el estudio de las estructuras granulares de las mezclas asfálticas por el método Bailey.

### 2.3 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

#### **NORMA: INV E-223-13**

En esta norma se describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.

El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencial de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 2.4 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

### **NORMA: INV E-222-13**

Con esta norma se describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en las mezclas como las de concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras que se dosifican o analizan sobre la base de un volumen absoluto. Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado a causa del agua absorbida por los poros permeables de sus partículas, en relación con la masa seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua un tiempo suficiente para satisfacer la mayoría de su potencial de absorción.

## 2.5 DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL

### **NORMA: INV E-128-13**

Este método se utiliza para determinar el peso específico de los suelos y del llenante mineral (filler) por medio de un picnómetro, siendo esta la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el agua del mismo volumen de agua destilada, a la misma.

## 2.6 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

### **NORMA: INV E-218-13**

La realización de este ensayo tiene como finalidad, determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados empleando la máquina de los ángeles. Los materiales después de ser desgastados al finalizar el ensayo, se lavan por el tamiz #12 y por diferencia de pesos con la cantidad de material cargado originalmente, se determina el porcentaje de desgaste de los materiales pétreos.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 2.7 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

### **NORMA: INV E-238-13**

Esta norma describe un procedimiento para medir la resistencia a la abrasión de una muestra de agregado grueso utilizando el aparato Micro-Deval.

La prueba tiene por finalidad determinar la pérdida por abrasión de agregados gruesos en presencia de agua y de una carga abrasiva. Muchos agregados son más débiles en estado húmedo que seco, y el uso del agua en este ensayo incorporara esta reducción de resistencia, en contraste con otros ensayos que se realizan solamente con agregados secos.

El ensayo Micro-Deval es útil para el control de calidad, porque detecta cambios en las propiedades de un agregado proveniente de una fuente como parte de un proceso de control de calidad o de aseguramiento de calidad.

## 2.8 DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS

### **NORMA: INV E-224-13**

Esta norma cubre un procedimiento para evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso al aplastamiento cuando es sometido a un esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria para que el agregado produzca 10% de finos, constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8).

## 2.9 SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SULFATOS

### **NORMA: INV E-220-13**

La realización de este ensayo tiene como finalidad, determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio y juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos. Con él se puede hacer una estimación preliminar de la inalterabilidad de los agregados que se usarán para concreto u otros propósitos.

## 2.10 DETERMINACIÓN DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO (CONTENIDO DE IMPUREZAS)

### **NORMA: INV E-237-13**

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la limpieza superficial de los agregados, tanto de origen natural como artificial, con tamaños superiores a 4.75 mm, utilizados en la construcción de carreteras.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

El ensayo consiste en separar por lavado, mediante un tamiz de referencia, las partículas menores de 0.5 mm mezcladas o adheridas a la superficie de las partículas del agregado grueso, las cuales se consideran como impurezas. Posteriormente, se calcula el porcentaje en masa de las impurezas respecto a la masa seca de la muestra total.

## 2.11 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

### **NORMA: INV E-125 Y 126-13**

Los límites líquido y plástico de un suelo, junto con su contenido de agua, se usan para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad, junto con el porcentaje de partículas menores a 2  $\mu$ m, permite estimar la actividad de la fracción fina de un suelo.

## 2.12 EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS

### **NORMA: INV E-133-13**

Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las relaciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm.

Produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino. Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad admisible de finos arcillosos en un agregado.

## 2.13 VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS

### **NORMA: INV E-235-13**

El ensayo consiste en añadir de manera sucesiva pequeñas dosis de una solución de azul de metileno a una suspensión de la muestra de ensayo en agua. Después de cada dosis se comprueba la absorción de solución colorante por parte de la muestra, realizando una prueba de coloración sobre papel de filtro para detectar la presencia de colorante libre.

Una vez confirmada la presencia de colorante libre, se calcula el valor de azul de metileno, expresado en gramos de colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.



	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 2.14 PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS

### **NORMA: INV E-240-13**

Esta norma describe el procedimiento para la determinación del porcentaje de partículas planas, alargadas o planas y alargadas, en un agregado grueso. Se miden partículas individuales de una fracción de tamaño específico, para determinar las relaciones ancho/espesor, largo/ancho o largo/espesor.

## 2.15 PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN AGREGADO GRUESO

### **NORMA: INV E-227-13**

Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo de una muestra de agregado grueso compuesta por partículas fracturadas que cumplen con los requisitos específicos.

Algunas especificaciones contienen requisitos relacionados a un porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos. Uno de los propósitos de este requisito es incrementar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregado ligadas o no ligadas.

Otro propósito es dar estabilidad a los agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento. Este método proporciona un procedimiento estandarizado para determinar la aceptabilidad de los agregados gruesos con respecto a esos requisitos.

## 2.16 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍO EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA)

### **NORMA: INV E-239-13**

Esta norma se refiere a determinación del contenido de vacío de una muestra de agregado fino no compactada.

La información del contenido de vacío, será útil como indicador de propiedades tales como: La demanda de agua en las mezclas de concreto hidráulico; factores de fluidez, bombeo o manejabilidad cuando se formulan lechadas o morteros; el efecto del agregado fino sobre la estabilidad y los vacíos en un agregado mineral (VAM) de concreto asfáltico; y la estabilidad de porción de agregados finos de una base granular.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 2.17 DENSIDAD BULK DEL LLENANTE MINERAL EN KEROSENE

### **NORMA: INV E-225-13**

Esta norma describe un procedimiento para determinar la densidad bulk de una llenante mineral. Lo cual determina en estas condiciones es una medida relativa del grado de finura del llenante del ensayo.

La finura de un llenante mineral está relacionada con su mayor o menor actividad desde el punto de vista de la estabilidad del ligante en el sistema llenante-ligante. Valores de densidad bulk en querosene entre 0.5 y 0.8 g/ml corresponden a una actividad media adecuada para su utilización en mezclas asfálticas. Valores por debajo o por encima de dichos límites son indicativos, respectivamente, de una actividad excesiva o insuficiente.

## 2.18 VACÍOS DEL LLENANTE SECO COMPACTO

### **NORMA: INV E-229-13**

El volumen de vacíos del llenante compactado en las condiciones de esta norma se corresponde, aproximadamente, con el contenido óptimo de ligante asfáltico que da un mastico asfáltico de máxima viscosidad, para empleo en la construcción de carreteras.

## 2.19 EFECTO DEL AGUA SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS - AGUA HERVIDA

### **NORMA: INV E-757-13**

Este método de ensayo es útil como indicador de la susceptibilidad relativa del agregado cubierto de asfalto a la acción del agua, pero no se debe usar como un indicador de su comportamiento en el campo, porque aún no se han establecido correlaciones para tal fin.

Si el ensayo indica una pérdida importante de adherencia debido a la acción del agua, será necesario emplear otros métodos de ensayo más detallados, para evaluar mejor la mezcla en relación con las características de adherencia del par ligante-agregado.

## 2.20 ADHESIVIDAD POR MÉTODO RIEDEL WEBER

### **NORMA: INV E-774-13**

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la adhesividad de los ligantes asfálticos a una arena natural o de trituración, cuando la mezcla agregado-ligante se somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio de concentración molar creciente.

La adhesión se califica de acuerdo con la concentración de carbonato de sodio que produce el desplazamiento total del ligante de la superficie del agregado.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## 2.21 CONCENTRACIÓN CRÍTICA DEL LLENANTE MINERAL

### **NORMA: INV E-745-13**

Con este procedimiento se determina la concentración crítica de material pasa #200 (llenante mineral) en una mezcla de llenante – asfalto, el valor hallado debe ser mayor que la concentración en volumen del llenante en una determinada mezcla asfáltica, por lo tanto, se debe comparar el valor obtenido con lo hallado en el diseño Marshall, el propósito de este ensayo es evitar problemas de rigidez en el pavimento que conlleve a una eventual fisura de la mezcla al paso de las cargas.

## 2.22 ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL

### **NORMA: INV E-748-13**

El objetivo del diseño de una mezcla asfáltica es determinar la cantidad óptima de cemento asfáltico para que esta cumpla con las características principales del ensayo como son: La estabilidad, el flujo, los VAM, VFA, para unos  $V_a$ , (vacíos con aire), de diseño. Para determinar el porcentaje óptimo de ligante se preparan mezclas con la granulometría de diseño obtenida de acuerdo al criterio del INVIAS, el cual recomienda que la curva tenga un comportamiento sensiblemente paralelo a las franjas granulométricas establecidas para cada tipo de mezclas. Para encontrar este contenido óptimo de ligante se realizan variaciones en los contenidos de ligante desde un 4 % hasta 6 % para tener un barrido de las propiedades de la mezcla con estas diferentes proporciones de participación de los materiales y así determinar el porcentaje óptimo de ligante.

## 2.23 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA (TSR)

### **NORMA: INV E-725-13**

Este método de prueba establece los procedimientos para preparar y probar especímenes de concreto asfáltico con el propósito de medir el efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta. Este método de prueba es aplicable a las mezclas densas y se usa para evaluar el efecto de la humedad en las mezclas elaboradas con o sin aditivo adhesivo (antistripping), incluidos líquidos y sólidos pulverulentos, tales como cal hidratada o cemento Portland.

Este procedimiento de prueba se puede usar para probar mezclas de concreto asfáltico junto con la mezcla de diseño, para determinar el potencial de daño por humedad, para determinar si un aditivo adhesivo es efectivo o no y para encontrar la cantidad óptima de aditivo para maximizar su efectividad. Este método de prueba puede ser usado también para evaluar mezclas producidas en planta con el propósito de calificar la efectividad de los aditivos bajo las condiciones impuestas en el campo.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en la elaboración de un diseño Marshall para la mezcla asfáltica tipo **MDC-19** con **Cemento Asfáltico 60-70**.

#### 1. Ensayo de laboratorio calidad de los agregados

Los agregados pétreos utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas, utilizadas en el laboratorio se relacionan en dos subtipos de agregados: Triturado pasa 3/4" y Arena triturada pasa 3/8". En todos los casos se empleó material de río Chicamocha sector Pescadero, cuya fuente de extracción son las plantas Avenza y Arenera Chicamocha, ubicadas en el departamento de Santander. Todos los materiales fueron acopiados en la **Planta COINOBRAS - Girón**.

PESOS UNITARIOS Y ESPECÍFICOS DE LOS AGREGADOS		
PROPIEDAD	Triturado 3/4"	Arena Triturada 3/8"
Peso unitario estado suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1815	
Peso unitario estado apisonado (Kg/m <sup>3</sup> )	1982	
Densidad relativa (Gravedad específica) (SH) (g/cm <sup>3</sup> )	2,631	2,640
Densidad relativa (Gravedad específica) (SSS) (g/cm <sup>3</sup> )	2,653	2,663
Gravedad específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,691	2,701
Absorción	0,85	0,85

**Tabla 3.** Pesos unitarios y específicos de los agregados pétreos

#### 1.1 Ensayos de calidad para agregados

Para el presente diseño Marshall, se elaboraron los ensayos de caracterización de los agregados pétreos, los cuales han sido comparados bajo la normativa INVIAS 2013, Artículo 450-13 "*Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua*" y los cuales se presentan a continuación, en la tabla 4. Caracterización de agregados.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

ENSAYO	NORMA INVIAS	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%) (500 revoluciones)	INV E – 218	<25	25.4 23
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%) (100 revoluciones)	INV E – 218	<5	3.3 4.2
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	INV E – 238	<25	17.1 18.6
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	INV E – 224		
Valor en seco, mínimo (kN)		<110	104
Relación húmedo/seco, mínima (%)		>75	106
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	INV E – 232	>0,45	0,50
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	INV E – 220	<18	13.34 1.08
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	INV E – 237	<0,5	0,48
Índice de plasticidad, máximo (%)	INV E – 125 INV E – 126	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%)	INV E – 133	>50	68
Azul de metileno, máximo (%)	INV E – 235	<10	3.5 4.6
Partículas planas y alargadas relación 5:1	INV E – 240	<10	0.9
Caras fracturadas, agregados gruesos, Una cara: mínimo %	INV E – 227	>85	95.7
Caras fracturadas, agregados gruesos, Dos caras: mínimo %	INV E – 227	>70	90.6
Angularidad de los agregados finos	INV E – 239	>45	47.5
Densidad bulk del llenante mineral en kerosene (g/cm3)	INV E – 225	0,5 a 0,8	0,75
Vacíos del llenante seco compactado (%)	INV E – 229	≥38	

**Tabla 4.** Resultados obtenidos de los ensayos a los agregados pétreos

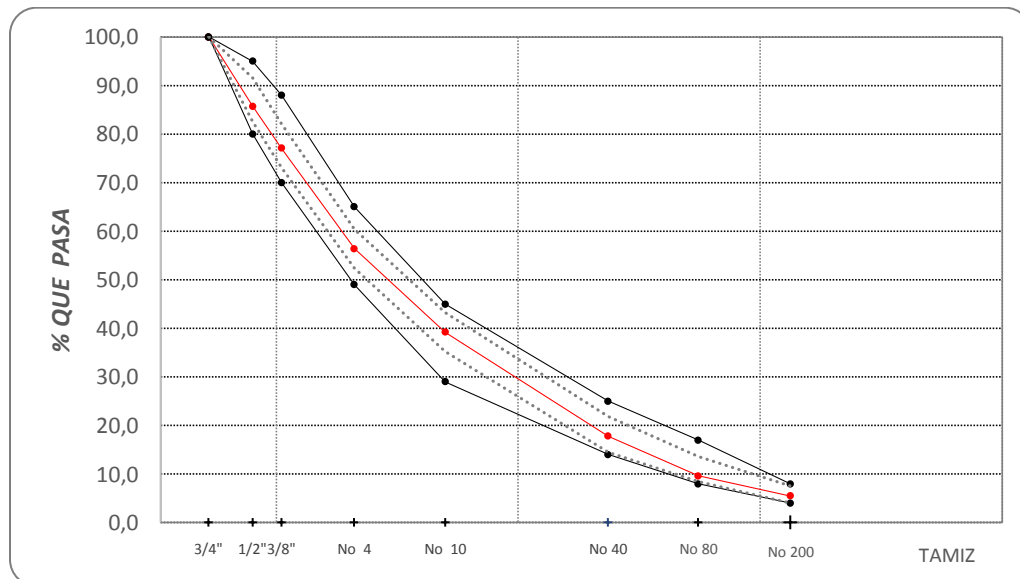
	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

2. Una vez obtenidos los resultados de caracterización de los agregados, se realizó la combinación de los mismos, por peso, obteniéndose una gradación continua y densa con un 25% de triturado pasa 3/4" y 75% de arena triturada pasa 3/8". (Ver Tabla 5 y Gráfico 1).

TAMIZ		% PASA										
		ESPECIFICACIÓN TABLA 450-6 MDC-19		GRADACIÓN ORIGINAL			% A UTILIZAR EN PESO			MATERIAL COMBINAD O	FÓRMULA DE TRABAJO	
				M1: TRITURADO PASA 3/4" COMBINADO	M2: ARENA TRITURADA PASA 3/8" AVENSA	M3: ARENA TRITURADA PASA 3/8" COINOBRAS	M1	M2	M3			
PULGADAS	mm	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR				25,0%	37,5%	37,5%		SUPERIOR	INFERIOR
1"	25,00	100	100	100,0	100,0	100,0	25,0	37,5	37,5	100,0	100	100
3/4"	19,00	100	100	100,0	100,0	100,0	25,0	37,5	37,5	100,0	100,00	100,00
1/2"	12,500	95	80	42,8	100,0	100,0	10,7	37,5	37,5	85,7	91,50	82,50
3/8"	9,500	88	70	8,5	100,0	100,0	2,1	37,5	37,5	77,1	82,10	73,10
No 4	4,750	65	49	1,5	73,4	76,0	0,4	27,5	28,5	56,4	60,40	52,40
No 10	2,000	45	29	1,5	49,8	53,7	0,4	18,7	20,1	39,2	43,20	35,20
No 40	0,425	25	14	1,4	21,5	25,2	0,3	8,0	9,5	17,8	21,80	14,50
No 80	0,18	17	8	1,1	11,5	13,4	0,3	4,3	5,0	9,6	13,60	8,40
No 200	0,075	8	4	0,8	7,0	7,1	0,2	2,6	2,7	5,5	7,60	4,00

**Tabla 5.** Granulometría de la combinación de áridos para Fórmula de Trabajo

3. A las diferentes fracciones granulométricas de la "Gradación Combinada" (gruesos, arenas y llenante) se le evaluaron las demás propiedades físicas indicadas en la especificación INVIAS 450-2013, tales como limpieza a través de ensayo de equivalente de arena, durabilidad mediante ensayos de solidez en sulfato de sodio y desgaste Ángeles y Micro Deval, así como también índices de forma, caras fracturadas y angularidad; estas propiedades se resumen en la tabla 4 comparándolas con los rangos de aceptación de especificación INVIAS 450-2013.



**Gráfico 1.** Comportamiento granulométrico mezcla tipo MDC-19

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

4. De la combinación obtenida se subdividieron los áridos para determinar los respectivos pesos específicos Bulk (Gs) y realizar el cálculo de la gravedad específica teórica (Gmt) obteniendo los resultados indicados en la tabla 6.

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA			% en peso	Gs	Ponderado
RETENIDO # 4	(Grava)		22.9%	<b>2,691</b>	1,134
PASA # 4 RETENIDO EN 200	(Arena)		71.6%	<b>2,700</b>	1,362
		TOTAL	94.5%		<b>2,693</b>

**Tabla 6.** Determinación de gravedad específica teórica (Gmt) de la combinación de agregados

5. Se elaboraron 15 especímenes, distribuidos en 5 grupos de 3 briquetas cada uno, con incrementos de asfaltos de 0,5%, desde 4,5% hasta 6,5%. A cada grupo se le adicionó un porcentaje de asfalto determinado, según método Marshall y criterios de especificación INVIAS 450 para tránsito NT3. Cada juego de briquetas fue confeccionado con Asfalto 60/70 convencional, cuya caracterización física se anexa al final.

La muestra de combinación de agregados fue preparada y calentada a 150 °C para mezclarla con diferentes porcentajes de ligante a temperatura de mezcla de 150 °C y posteriormente, compactarla a 135 °C.

De las mezclas obtenidas para cada contenido de asfalto se realizó ensayo para determinar la gravedad específica máxima teórica (Gmt) RICE según INV E – 735 – 2013. A partir de estos especímenes, se obtuvieron los resultados de densidad, vacíos, estabilidad y flujo, por cada porcentaje de asfalto. Los resultados han sido graficados en 10 curvas de diseño adjuntas para determinar el contenido óptimo de asfalto, que cumplan los parámetros establecidos y determine el nuevo valor de estabilidad que se acerque y refleje más los valores obtenidos de la producción de mezcla asfáltica.

Para seleccionar el contenido óptimo de asfalto, se tomaron como guías de diseño los criterios especificados en el artículo 450 – 13 del Instituto Nacional de Vías, para mezclas tipo MDC-19 y tránsito NT3, comparándolos con las 10 curvas de diseño obtenidas en el paso anterior y que se resumen en la tabla 7.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

Contenido de asfalto, %		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	ESPECIFICACIÓN
Densidad aparente briqueta, g/cm <sup>3</sup>	(Dm)	2,352	2,310	2,361	2,388	2,382	Dato diseño
Densidad máx. medida (Rice), g/cm <sup>3</sup>	(Gmm)	2,502	2,500	2,486	2,453	2,448	Dato diseño
Vacíos con aire, %	Va	6,0	7,6	5,0	2,6	2,7	4% - 6%
Vacíos en los agregados minerales, %	VAM	16,61	18,50	17,17	16,66	17,30	>15%
Vacíos llenos de asfalto, %	VFA	63,8	59,0	70,7	84,1	84,4	65% a 75%
Estabilidad corregida, N	Et	21493,3	15900	19656	19874,3	16025	≥9000
Flujo, mm	Ft	3,4	3,3	3,5	3,7	3,8	2,0 – 3,5
Relación Estabilidad / Flujo, kN/mm		6,4	4,9	5,6	5,4	4,3	3,0 – 6,0

**Tabla 7.** Resumen de propiedades físicas de mezclas asfálticas con diferentes contenidos de asfalto

### RESULTADOS REALES DE LA MEZCLA ÓPTIMA.

La fórmula de trabajo queda definida por los siguientes valores:

		ESPECIFICACIÓN	
PARÁMETRO	RESULTADO	Min.	Máx.
Contenido óptimo de asfalto, %	5,2	5,0	5,4
Vacíos con aire (Va), %	4,8	4,0	6,0
Densidad aparente briqueta, g/cm <sup>3</sup>	2,368	Dato diseño	
Gs Máxima medida (Rice), g/cm <sup>3</sup>	2,487	Dato diseño	
Estabilidad, N	19947	9000	-
Flujo, mm	3,4	2	3,5
Vacíos en los agregados (VAM), %	16,6	15	-
Vacíos llenos con asfalto (VFA), %	71,3	65	75
Relación llenante/Ligante	1,1	0,8	1,2
Relación Estabilidad/Flujo	5,9	3,0	6,0
Concentración real del llenante	0,282	-	0,32
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey	Relación de agregado grueso (Ag)	0,90	Reportar
	Porción gruesa del agregado fino (Afg)	0,50	Reportar
	Porción fina del agregado fino (AFf)	0,30	Reportar
Espesor promedio de película de asfalto mínimo, µm	9.28	7,5	-



	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

**Tabla 8.** Parámetros de diseño de la mezcla densa en caliente tipo MDC-19

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en la evaluación de la susceptibilidad a la humedad:

PARÁMETRO	RESULTADO	Min.	Máy.
TSR (MDC-19 con cemento asfáltico 60/70 de refinería), %	54,3	80	-
TSR (MDC-19 con cemento asfáltico 60/70 de refinería aditivado al 0,75% con promotor de adherencia), %	83,0	80	-

**Tabla 9.** Resultados obtenidos en ensayo de susceptibilidad a la humedad

El resultado mostrado en la tabla 9 expone que la mezcla asfáltica MDC-19 + cemento asfáltico 60-70 de refinería aditivado al 0,75% cumple con las especificaciones exigidas en la norma colombiana INVIAS, según la tabla 450 – 11 del artículo 450 – 13, para el ensayo de evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR), con un resultado de 83,0%.

Es de notar que el diseño de la mezcla en el laboratorio se realiza bajo condiciones de humedad y temperaturas controladas, según las normas de ensayo INVIAS 2013, por tal motivo esta fórmula puede sufrir modificaciones según los resultados estadísticos obtenidos de la producción.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación, igualmente, si durante la ejecución de las obras varían la procedencia o las características de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este Artículo, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo. Artículo 450.4.2.6.

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en la evaluación EFECTO DEL AGUA SOBRE LAS MEZCLAS ASFLATICAS SUELTAS (agua hervida) INV 757-13:



Sin agua hervida



agua hervida

Se evidencia que el área que retiene el cubrimiento original de la mezcla es aproximadamente del 97%.

Resultados obtenidos en la evaluación ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS ALOS AGREGADOS FINOS (Método riedel-weber) INV 774-13:

MOLARIDAD	g DE $\text{Na}_2\text{CO}_3$ / LITRO DE SOLUCIÓN
M/256	0,414
M/128	0,828
M/64	1,656
M/32	3,312
M/16	6,625
M/8	13,23
M/4	26,5
M/2	53,0
M/1	106,0

Tabla 774-1 (Cantidades para preparar un litro de solución de ensayo.

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD RIEDEL-WEBER
Desplazamiento total con agua destilada	0
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

ÍNDICE DE ADHESIVIDAD  
RIEDEL-WEBER:

9

DESPRENDIMIENTO PARCIAL: 7

DESPRENDIMIENTO TOTAL: 9

**0****6****9**



## INFORME DISEÑO MARSHALL

CÓDIGO: LAB-27

REVISIÓN: 001

Elaboró:  
Fredy Leonel Rangel Castro – Laboratorista

Revisó:  
Ing. Nestor Chavez – Jefe de planta

	<b>INFORME DISEÑO MARSHALL</b>	CÓDIGO: LAB-27
		REVISIÓN: 001

## resumen de los ensayos con variación en el % asfalto

	<b>DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA MÉTODO MARSHALL</b> <b>INV E - 799 - 13</b>	CÓDIGO: LAB-28
		VERSIÓN: 001

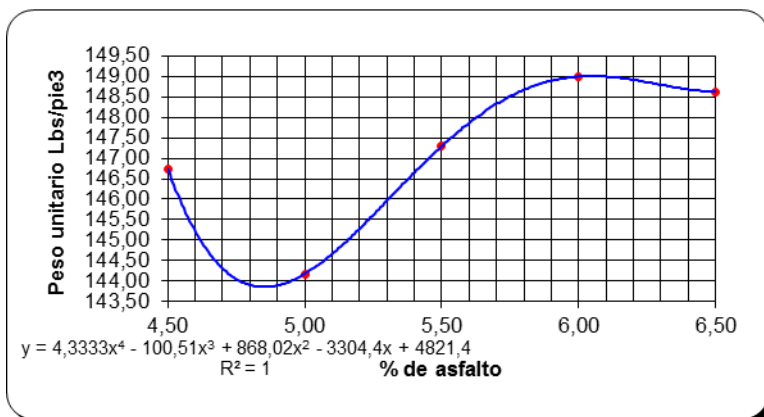
TIPO DE ASFALTO 60/70	
PESO ESPECIFICO DE ASFALTO	1,026
PESO ESPECIFICOS DEL LLENANTE MINERAL	2,646
PESO ESPECIFICOS DE MEDIOS	2,700
PESO ESPECIFICO DE GRUESOS	2,691
PESO ESPECIFICO PONDERADO	2,693

RESUMEN																								
A		B		C		B-C		Gse																
Briqueta No.	% Asfalto	Espesor	Peso aire	Peso SSS en aire	Peso en agua	Volumen cm3	Gravedad Especifica			% Asfalto absorbido	% Total en Volumen			Vacios en agreg. Min.	% Asfalto efectivo	Vacios llenos de asfalto	Rel. llena asf. Efectivo	Peso unt	Estabilidad (N)		Flujo		Estabilidad/Flujo	
							BULK	EFFECTIVA	MAXIMA GMM		Agregados	Vacios con aire	Asf. Efectivo						Lbs / Pie3	Medida	Corregida	mm		kN/mm
1		62,9	1183,8	1184,6	683,6	501,00	2,363												24600	25584,0	3,4			
2		63,2	1183,2	1184,8	682	502,80	2,353												19900	20696,0	3,5			
3		62,3	1183,2	1184	678,2	505,80	2,339												17500	18200,0	3,2			
Promedio	4,5						2,352	2,684	2,502	-0,12	83,39	6,0	10,59	16,61	4,62	63,8	1,2	146,8		21493,3	3,4	6,4		
4		65,4	1183,2	1184,6	673	511,60	2,313												17100	17100,0	3,1			
5		65,2	1184	1185,2	671,4	513,80	2,304												15900	15900,0	3,3			
6		64,1	1182,6	1183,4	672,4	511,00	2,314												14700	14700,0	3,4			
Promedio	5,0						2,310	2,704	2,500	0,16	81,50	7,6	10,92	18,50	4,85	59,0	1,1	144,2		15900,0	3,3	4,9		
7		62,2	1183,6	1184	682	502,00	2,358												18200	18928,0	3,2			
8		62,2	1182,8	1183,6	682,4	501,20	2,360												18900	19656,0	3,8			
9		62,1	1183	1183,8	683,4	500,40	2,364												19600	20384,0	3,5			
Promedio	5,5						2,361	2,710	2,486	0,24	82,83	5,0	12,14	17,17	5,28	70,7	1,0	147,3		19656,0	3,5	5,6		
10		61,2	1181,2	1181,6	687,6	494,00	2,391												16800	18312,0	3,8			
11		62,6	1183,2	1183,8	688,4	495,40	2,388												19000	20710,0	3,7			
12		62,1	1182	1182,6	686,8	495,80	2,384												18900	20601,0	3,6			
Promedio	6,0						2,388	2,692	2,453	-0,02	83,34	2,6	14,01	16,66	6,02	84,1	0,9	149,0		19874,3	3,7	5,4		
13		62,6	1182	1182,4	685,8	496,60	2,380												15500	16120,0	3,5			
14		61,3	1181,6	1181,8	687	494,80	2,388												15100	16459,0	4			
15		62,6	1182,2	1182,4	685,2	497,20	2,378												14900	15496,0	3,8			
Promedio	6,5						2,382	2,709	2,448	0,23	82,70	2,7	14,60	17,30	6,29	84,4	0,9	148,6		16025,0	3,8	4,3		

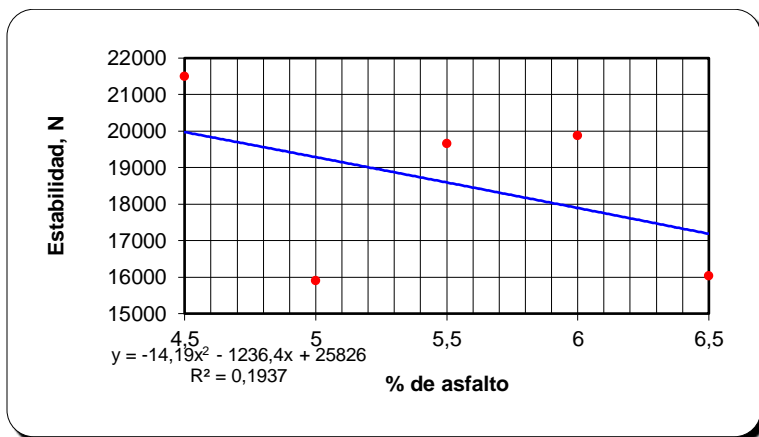
## Gráficos Diseño Marshall

### TENDENCIAS

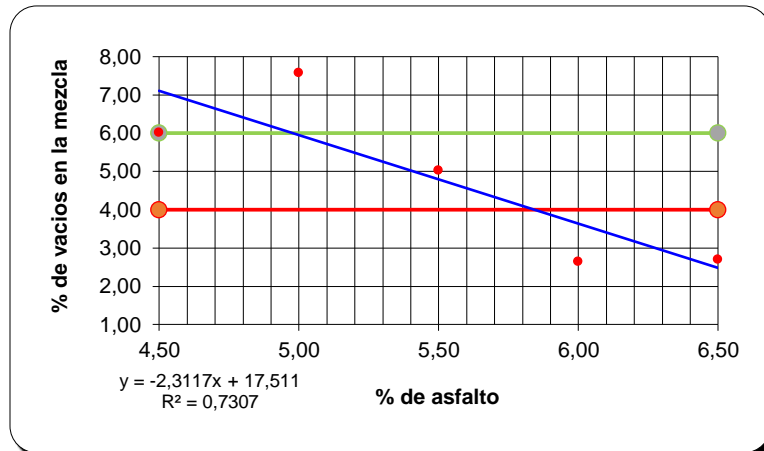
#### PESO UNITARIO VS. % ASFALTO



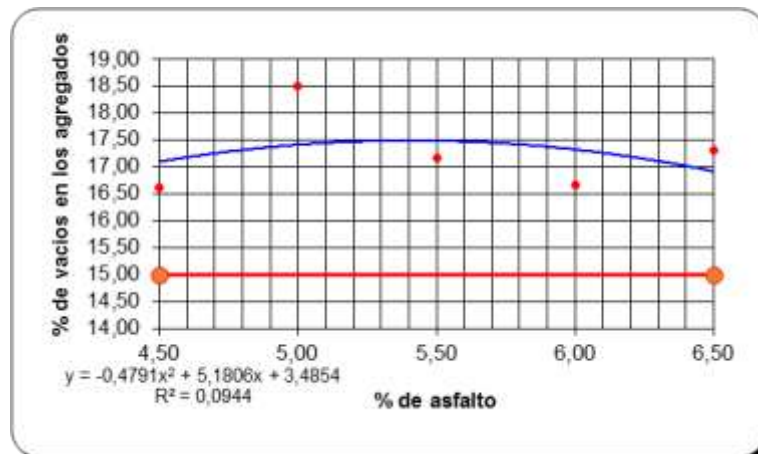
#### ESTABILIDAD VS. % ASFALTO



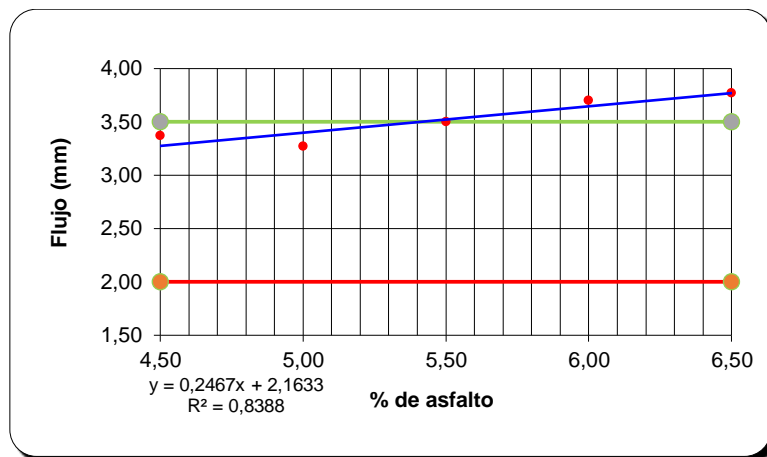
## % VACÍOS EN LA MEZCLA VS. % ASFALTO



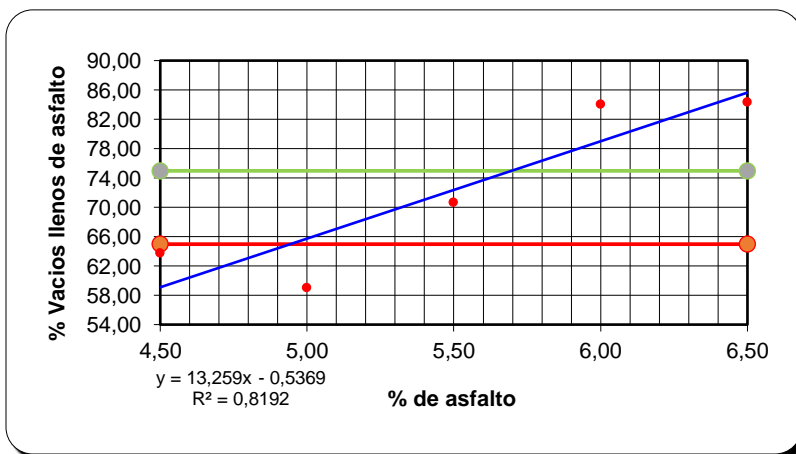
## % VACÍOS EN LOS AGREGADOS VS. % ASFALTO



## FLUJO VS. % ASFALTO

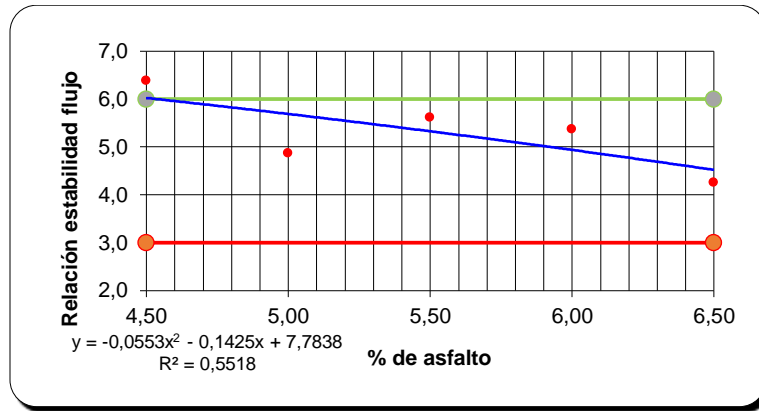


## % VACÍOS LLENOS DE ASFALTO VS. % ASFALTO

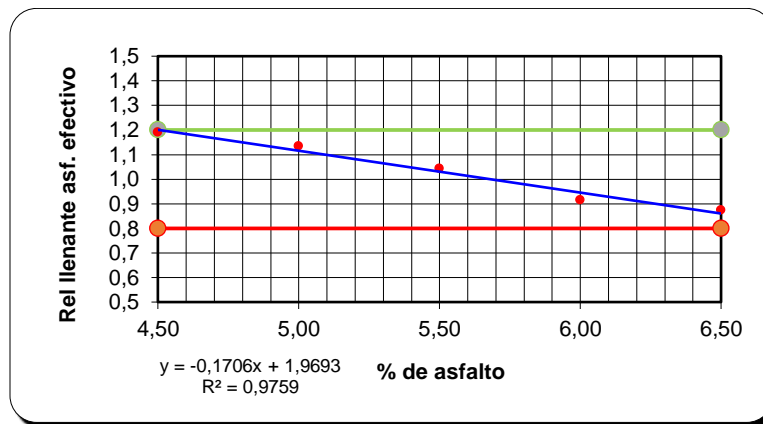




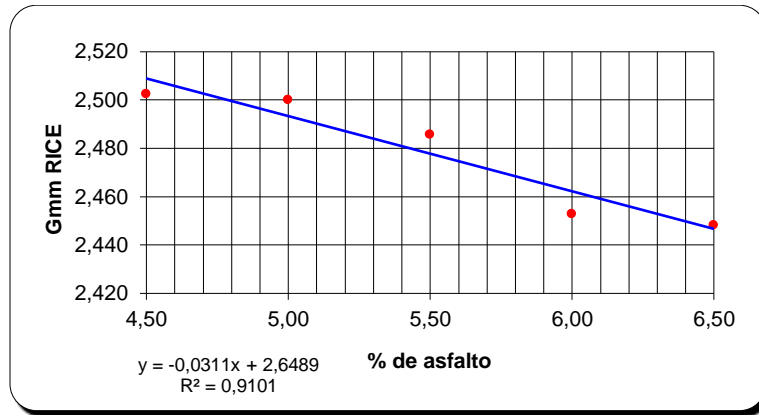
## RELACIÓN ESTABILIDAD FLUJO VS. % ASFALTO



## RELACIÓN LLENANTE VS. % ASFALTO



## GMM RICE VS. % ASFALTO



## DENSIDAD BULK VS. % ASFALTO

