

**DESARROLLO DE AYUDAS PARA LA FORMULACIÓN DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS**

LAURA MERCEDES MARTÍN GARZÓN

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

2010

**DESARROLLO DE AYUDAS PARA LA FORMULACIÓN DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS**

LAURA MERCEDES MARTÍN GARZÓN

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

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

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

2010

*A mis padres, por su amor, comprensión, esfuerzo y apoyo
en todo momento.*

A mi hermana, por todo su cariño

A mi familia, por ser lo mejor que tengo.

Laura Mercedes Martín Garzón

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece en forma especial al Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón, Director de éste trabajo, por su valiosa asesoría y orientación durante su desarrollo.

A Cristina y Eduardo por la orientación y compañía durante este tiempo.

“A Alexis por brindarme una amistad sincera e incondicional en todo momento”.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
1 MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 Generalidades.....	17
1.2 Métodos para el Diseño de Mezclas Asfálticas.....	17
1.2.1 Métodos de Superficie Específica.....	18
1.2.2 Métodos de Ensayos Mecánicos.....	19
1.3 Propiedades de una Mezcla Asfáltica.....	21
1.4 Componentes de una Mezcla Asfáltica.....	22
1.4.1 Los Agregados Minerales.....	23
1.4.2 Los Cementos Asfálticos.....	27
1.4.3 Vacíos con Aire	28
1.5 Coeficientes de Uniformidad y Curvatura.....	37
1.6 El Método de Bailey.....	39
1.7 Método Marshall.....	41
1.7.1 Requerimientos para el Desarrollo del Diseño De Mezcla.....	41
1.7.2 Tipo de Muestra.....	41
1.7.3 Número de Muestras.....	42
1.7.4 Equipo para el Ensayo.....	42
1.7.5 Procedimiento del Ensayo.....	42
1.7.6 Ensayo de Probetas Compactadas.....	45

1.7.7	Comportamiento Típico de Mezclas Asfálticas.....	49
1.7.8	Criterios para la Determinación del Contenido Óptimo.....	49
2	CONFORMACIÓN DE BASE DE DATOS.....	51
2.1	Descripción del Uso Práctico de Valor de Pendientes de VA y VFA.....	53
2.2	Formulación de Mezclas Típicas.....	58
2.3	Información Recopilada.....	59
2.3.1	Formulaciones Aportadas por Empresas.....	59
2.4	Formulaciones de Estudios Previos.....	61
2.5	Otras Formulaciones.....	61
3	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	63
4	CONCLUSIONES.....	70
5	RECOMENDACIONES.....	71
6	BIBLIOGRAFÍA.....	72
7	ANEXOS.....	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1. Ilustración de los parámetros volumétricos	29
Figura 1-2. Propiedades volumétricas.....	30
Figura 1-3. Relación entre VMA y límite de especificación para el rango de contenido de asfalto. Caso óptimo.	31
Figura 1-4. . Relación entre VMA y límite de especificación para el rango de contenido de asfalto. Caso indeseable.....	32
Figura 1-5. Vacíos en el agregado mineral, VAM.....	33
Figura 1-6. Vacíos con aire, Va.....	33
Figura 1-7. Relación entre Va y límites de especificación para el rango de contenido de asfalto.	34
Figura 1-8. . Relación entre VFA y límite de especificación para el rango de contenido de asfalto.	35
Figura 1-9. Curvas granulométricas.....	37
Figura 1-10. Método de Bailey.	39
Figura 2-1. Metodología de la investigación.....	51
Figura 2-2. Registro fotográfico de los ensayos de laboratorio.	52
Figura 2-3. Relaciones volumétricas y gravimétricas en una mezcla asfáltica.....	54
Figura 2-4. Curva de vacíos en el agregado mineral (VAM) empleando la predicción.....	54
Figura 2-5. Representación gráfica del método.	55
Figura 2-6. Representación gráfica de datos obtenidos.	57
Figura 2-7. . Gráficas obtenidas mediante la aplicación de las ayudas.....	57
Figura 2-8. Curvas Granulométricas empleadas por el estudiante.	58
Figura 2-9. Curvas Granulométricas MDC-1 aportadas por las empresas.....	60
Figura 2-10. . Curvas Granulométricas MDC-2 aportadas por las empresas.....	60

Figura 2-11. Curvas Granulométricas de estudios anteriores.	61
Figura 2-12. Curvas Granulométricas de otros tipos.	62
Figura 3-1. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-1 y varias.	63
Figura 3-2. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-2.	63
Figura 3-3. Curvas de Vacíos llenos de asfalto, VFA de las fórmulas MDC-1 y varias.	64
Figura 3-4. Curvas de Vacíos llenos de asfalto, VFA de las fórmulas MDC-2.	64
Figura 3-5. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-1 y varias relacionadas con el asfalto efectivo.	65
Figura 3-6. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-2 relacionadas con el asfalto efectivo.	65
Figura 3-7. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-1 y varias, relacionadas con el asfalto efectivo.	66
Figura 3-8. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-2, relacionadas con el asfalto efectivo.	66
Figura 3-9. Forma de las relaciones de las pendientes de los parámetros volumétricos frente a la información derivada de las granulometrías.	¡Error!

Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1. Propiedades funcionales de una mezcla asfáltica.....	21
Tabla 1-2. Propiedades técnicas de una mezcla asfáltica.....	22
Tabla 1-3. Ensayos que evalúan las características de las partículas.	24
Tabla 1-4. Clasificación de los Agregados Minerales.....	26
Tabla 1-5. Ensayos de evaluación de los cementos asfálticos.	27
Tabla 2-1. Características de los materiales utilizados.	59
Tabla 3-1. Pendientes promedio de los parámetros volumétricos V_a y VFA para MDC-1.....	67
Tabla 3-2. Pendientes promedio de los parámetros volumétricos V_a y VFA para MDC-2.....	67
Tabla 3-3. Pendientes promedio específicas y generales.	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
A. GRÁFICAS DE LAS GRANULOMETRÍAS.....	75
B. PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1.....	81
C. PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2.....	100
D. VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL CONTENIDO DE ASFALTO.....	122
E. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS FRENTE A LA INFORMACIÓN GRANULOMÉTRICA.....	129

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE AYUDAS PARA LA FORMULACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*

AUTOR: LAURA MERCEDES MARTÍN GARZÓN **

PALABRAS CLAVES: Gradaciones granulométricas, mezclas asfálticas en caliente, formulaciones de mezclas, porcentaje de vacíos llenos con asfalto, porcentaje de vacíos con aire, contenido de asfalto, contenido de asfalto efectivo, características de la mezcla.

DESCRIPCIÓN:

Con este trabajo se pretende, para las gradaciones granulométricas de mezclas asfálticas en caliente tipo MDC-1 y MDC-2 de INVIAS, tener una predicción para las curvas típicas de vacíos con aire (V_a) y vacíos llenos con asfalto (VFA), cumpliendo con las especificaciones contempladas por el INVIAS.

Con el propósito de determinar la variación del contenido de vacíos con aire respecto al contenido de asfalto en las diferentes formulaciones de mezclas, se reunieron en una figura las curvas de vacíos con aire de las mezclas que conforman la base de datos. Se obtuvieron las curvas de porcentaje de vacíos de la mezcla total y de porcentaje de vacíos llenos con asfalto con sus respectivas pendientes, de probetas de granulometría densa.

Buscando reducir la variabilidad de las pendientes de las curvas, se estudiaron las mismas relaciones en función del volumen del contenido de asfalto efectivo, procurando hacer estas relaciones menos dependientes de las características de los materiales y así evaluar realmente la acción del asfalto como agente ligante.

Para apreciar mejor la relación de cada diseño con el comportamiento de estas pendientes, se analizaron éstas frente a los datos que se pudieron inferir de las granulometrías existentes, tales como el coeficiente de uniformidad (C_u), coeficiente de curvatura (C_c), %Gravas (Agregado grueso), %Arenas (Agregado fino), %Finos (Llenante mineral) y los parámetros de Bailey (CA , FAC , Faf).

El objetivo final fue a partir de un dato de las curvas anteriormente nombradas, porcentaje de vacíos de la mezcla total o de porcentaje de vacíos llenos con asfalto, y aplicando las pendientes de las formulaciones conocidas, obtener las otras características de dicha mezcla.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Eduardo Castañeda.

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT OF HELPS FOR THE FORMULATION OF ASPHALT MIXTURES*

AUTHORS: LAURA MERCEDES MARTÍN GARZÓN**

KEYWORDS: grain size gradation, asphalt hot-mix formulations, the percentage of voids filled with asphalt, percent air voids, asphalt content, asphalt content effective mixing characteristics.

DESCRIPTION:

This work aims to granulometric gradations of hot mix asphalt type MDC-1 and MDC-2 winters, have a prediction for the typical curves of air voids (V_a) and voids filled with asphalt (VFA) meeting with the specifications laid down by the winter.

In order to determine the variation of air voids content for the content of asphalt mixtures of different formulations, met in an empty figure curves of mixtures with air that make up the database. Curves were obtained percentage of voids total mix and the percentage of voids filled with asphalt with their respective slopes, dense grain size specimens.

Seeking to reduce the variability of the slopes of the curves, the same relationships were studied based on the volume of effective asphalt content, trying to make these relationships less dependent on the characteristics of the materials and so really evaluate the action of asphalt as a binding agent.

To better appreciate the relationship of each design with the behavior of these slopes, they were tested against the data that could be inferred from the existing particle sizes, such as the coefficient of uniformity (C_u), coefficient of curvature (C_c), % Gravel (Added thick), % sand (fine aggregate), % fines (mineral filler) and the parameters of Bailey (AC, FAC, FAF).

The final goal was from a figure previously mentioned curves, percentage of voids total mix or percentage of voids filled with asphalt, and applying the slopes of the known formulations, obtain the other characteristics of the mixture.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Eduardo Castañeda.

INTRODUCCIÓN

La construcción de vías es uno de los elementos de mayor influencia en el desarrollo de un país, por esta razón es necesario resaltar la importancia de las mezclas asfálticas dentro de la estructura de un pavimento, pues se espera obtener de ellas durabilidad, estabilidad y economía.

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Sabido que la mezcla asfáltica es un nuevo material, sus propiedades van a depender de las propiedades de los materiales constituyentes y sus proporciones; además de esta dependencia intrínseca, se debe tener en cuenta que externamente son sometidas a una serie de sollicitaciones de gran magnitud y dentro de un intervalo de variedad, que de igual forma influyen en su comportamiento en el transcurso de su servicio. En consecuencia, para su diseño se debe hacer la selección y la proporción adecuada de los materiales necesarios para alcanzar las propiedades deseadas.

De acuerdo con el Manual del Instituto del Asfalto, el objetivo principal del diseño de una mezcla asfáltica es determinar el contenido de asfalto adecuado para proporcionar una mezcla asfáltica durable, con suficiente estabilidad, adecuada trabajabilidad y una cantidad suficiente de vacíos para evitar deficiencias en el comportamiento de la capa asfáltica.

Entendida la importancia que tiene la cantidad de vacíos en una mezcla asfáltica, se propuso con esta investigación establecer una relación que permita definir curvas típicas de variación del porcentaje de vacíos con aire (V_a) y vacíos llenos con asfalto (VFA), con el contenido de asfalto utilizando las gradaciones granulométricas de los distintos diseños de mezclas y toda la información que se pudiera extraer de ellas.

La muestra de datos analizada comprende diseños Marshall realizados en el laboratorio, junto con otros adquiridos externamente.

En conclusión, con este trabajo se pretende, para las gradaciones granulométricas de mezclas asfálticas en caliente tipo MDC-1 y MDC-2 de INVIAS, tener una predicción para las curvas típicas de vacíos con aire (V_a) y vacíos llenos con asfalto (VFA), cumpliendo con las especificaciones contempladas por el INVIAS.

1 MARCO TEÓRICO.

1.1 Generalidades

Las mezclas asfálticas proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario.

En términos generales, el comportamiento de una mezcla asfáltica en servicio es agrietarse a través de la energía de deformación constantemente en el tiempo, que en forma secuencial, en primer lugar se deforma elásticamente disipando cierta cantidad de energía, otra parte se absorbe teniendo deformación plástica, y por último se tiene el agrietamiento al poder disipar el restante de energía.

Las mezclas asfálticas puestas en servicio están constituidas por una fase sólida, formada por partículas minerales de diferente tamaño, naturaleza y forma; trabadas entre sí y en íntimo contacto, que dan lugar a espacios ocupados por cemento asfáltico, aire y eventualmente agua durante la fase fluida. La interacción entre la fase sólida y la fase fluida forman un medio continuo, viscoso, generando la cohesión necesaria en la mezcla para mantener las partículas minerales unidas.

1.2 Métodos para el Diseño de Mezclas Asfálticas.

El diseño de una mezcla asfáltica persigue fundamentalmente la selección y dosificación de cada uno de los materiales participantes en ella, para así poder obtener las propiedades deseadas en el transcurso de su servicio. Teniendo en

cuenta factores a intervenir como los son: el tránsito, cuerpo estructural, topografía, condición de drenaje, condición climática y económica.

Los métodos existentes de diseño de mezclas asfálticas, tienen como objetivo general la adopción de una granulometría y combinación de agregados, dirigidos a cumplir con los requerimientos de un determinado proyecto, y un contenido de cemento asfáltico adecuado, para tratar de obtener una mezcla con:

- La cantidad conveniente de asfalto que asegure la obtención de un pavimento durable, que resulte del completo recubrimiento de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí bajo una compactación adecuada.
- Suficiente estabilidad como para satisfacer las exigencias del servicio sin desplazamiento o distorsiones.
- La adecuada cantidad de vacíos con aire en la mezcla compactada, para impedir exudaciones y pérdidas de estabilidad al producirse una pequeña compactación adicional bajo las cargas del tránsito, así como los cambios de volumen del asfalto a altas temperaturas.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una eficiente colocación de la mezcla con que se pavimentará sin que se produzca segregación.

1.2.1 Métodos de Superficie Específica.

Son métodos sencillos y rápidos, pero imprecisos. Para el caso de mezclas abiertas la imprecisión no tiene gran influencia, caso opuesto para mezclas cerradas ya que éstas son muy sensibles ante la variación del contenido de cemento asfáltico.

1.2.1.1 Método M. Duriez.

Permite calcular el porcentaje teórico de cemento asfáltico evaluando la superficie específica del agregado seleccionado.

1.2.1.2 Método del Instituto del Asfalto.

En este método se puede calcular directamente el porcentaje óptimo teórico de cemento asfáltico con respecto a la mezcla total.

1.2.1.3 Método del Equivalente Centrifuga de Keroseno (C. K. E.).

Calcula la superficie específica del agregado y el porcentaje de keroseno retenido, dirigiéndose a una serie de diagramas para hallar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

1.2.2 Métodos de Ensayos Mecánicos.

Determinada la granulometría y el tipo de cemento asfáltico, de acuerdo a los criterios preestablecidos, se fabrican en laboratorio una serie de probetas en las que varía el porcentaje de cemento asfáltico con respecto a un peso total de mezcla para la probeta.

Siguiendo la norma elegida, se realiza el ensayo para obtener posteriormente las relaciones entre el porcentaje cemento asfáltico y la estabilidad, fluencia, porcentaje de vacíos en la mezcla total (V_a), porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.), densidad y rigidez, evaluándose el porcentaje óptimo según criterios previamente adoptados.

1.2.2.1 Método Cántabro de Pérdida por Desgaste.

El método se basa en determinar el aporte cohesivo del cemento asfáltico en mezclas porosas. Se realiza midiendo la pérdida en peso por desgaste, que experimenta una probeta Marshall después de haberse ensayado en la máquina de los Ángeles sin carga abrasiva. Esta pérdida de peso es la que sirve de referencia para la dosificación de la mezcla.

El ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito. Su ejecución se describe en las Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras del Instituto Nacional de Vías I. N. V. E-760.

1.2.2.2 Método del Compactador Giratorio Superpave.

El método fue desarrollado por el programa de investigación SHRP (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras), el cual incluye nuevas especificaciones para el cemento asfáltico y el agregado. El método de diseño Superpave (Superior Performance Pavements) es empleado para mezclas asfálticas densas en caliente, se basa en el uso del compactador giratorio Superpave (Superpave Gyrotorio Compactador SGC) el cual fue diseñado para simular la compactación en el terreno y su acción es por amasado.

1.2.2.3 Método Hubbard-Field.

Originalmente el método fue diseñado para mezclas tipo mástico. Posteriormente se desarrolló un procedimiento de ensayo modificado para incluir una fracción de agregado grueso. El método modificado es aplicable únicamente a mezclas que usen asfaltos de penetración y en las cuales haya más del 35% de agregado grueso de tamaño máximo de 3/4". Su ejecución se describe en las Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras del Instituto Nacional de Vías I. N. V. E-750.

1.2.2.4 Método Marshall.

Respecto a este método se entrará en detalle en un apartado posterior.

1.3 Propiedades de una Mezcla Asfáltica.

Para que éstas tengan buen comportamiento y contribuyan a la durabilidad y estabilidad de toda la estructura, las mezclas asfálticas deben poseer en mayor o menor grado una serie de propiedades, las cuales en muchas ocasiones son contrapuestas, y la importancia que se le dé a una u otra dependerá de los requerimientos que tenga que cumplir como capa.

Teniendo presente los factores anteriormente mencionados es posible obtener mezclas asfálticas con características diferentes, que podrán adaptarse a los requerimientos específicos de un proyecto dado. Las propiedades funcionales más relevantes de las mezclas asfálticas son:

Tabla 1-1. Propiedades funcionales de una mezcla asfáltica.

Propiedades funcionales	Seguridad
	Resistencia al deslizamiento
	Regularidad transversal Visibilidad (marca viales)
	Comodidad
	Regularidad longitudinal Regularidad transversal Visibilidad
	Ruido
	Trabajabilidad

Fuente: Elaboración propia

Algunas propiedades técnicas de las mezclas asfálticas fundamentales para el buen funcionamiento estructural son las relacionadas a continuación:

Tabla 1-2. Propiedades técnicas de una mezcla asfáltica.

Resistencia a la deformación (Estabilidad).	Mide la capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos de corte impuestos por los vehículos, sin sufrir desplazamientos u otras deformaciones permanentes.
Resistencia a la deformación plástica.	Evalúa el comportamiento de la mezcla asfáltica al ser sometida a sollicitaciones que pueden generar deformaciones irreversibles en el tiempo.
Resistencia a la fatiga.	Mide la resistencia a la flexión repetida, por la acción continua de las cargas del tránsito.
Resistencia al deslizamiento.	Mide la capacidad de la superficie de la mezcla asfáltica en servicio de ofrecer oposición al deslizamiento o resbalamiento de los neumáticos de los vehículos, especialmente cuando en la superficie se tiene la presencia de agua.
Flexibilidad.	Mide la capacidad de un concreto asfáltico en servicio para acomodarse a movimientos y asentamientos graduales generados en las capas subyacentes, sin que se presente deterioro apreciable.
Impermeabilidad.	Evalúa la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior o a través de él, protegiendo así todo su cuerpo estructural.
Trabajabilidad.	Evalúa la facilidad con que el cemento asfáltico, agregados y relleno mineral son mezclados, para que posteriormente esta mezcla asfáltica pueda ser colocada y compactada.
Durabilidad.	Mide la capacidad de una mezcla asfáltica para resistir la desintegración del agregado, generado por acción de agentes climatológicos, el tránsito, o intervención simultánea en operación.

Fuente: Elaboración propia

1.4 Componentes de una Mezcla Asfáltica.

La caracterización de los materiales que intervienen en una mezcla asfáltica, es prioritaria para tener un concepto concreto de calidad de los mismos, evaluando

así su procedencia y el cumplimiento de los requerimientos exigidos tanto por las especificaciones del INVIAS como por el diseño mismo.

1.4.1 Los Agregados Minerales.

Los agregados minerales están formados por varios tipos de roca madre, por lo que su composición presenta distintos tipos de minerales que exhiben diferentes propiedades. Todas las propiedades de los agregados afectan la calidad y el rendimiento de las estructuras en las que se utilizan. Sin embargo, existen diferencias perceptibles en su efecto que dependen del destino, tipo de construcción, y el medio ambiente en el que se utilizan. Así, los agregados naturales pueden ser descritos sobre la base de diferentes tipos de propiedades exhibidas por ellos.

Los agregados pueden ser extraídos de ríos, canteras o túneles, y ser sometidos a un proceso de trituración, con el fin de obtener partículas o fragmentos de diferentes tamaños que se encuentren dentro de las gradaciones estandarizadas en las Especificaciones del INVIAS, para hacer parte de un pavimento de mezcla asfáltica.

Además de la calidad, el costo y la disponibilidad, son fundamentales para la selección del agregado y el relleno mineral en la elaboración de una mezcla asfáltica ya que éstos inciden en el valor total de la obra, repercutiendo sobre la viabilidad de la misma.

Teniendo el cumplimiento de los dos requisitos anteriores, se hace necesaria la evaluación de las propiedades del material para considerar su participación en la mezcla, satisfaciendo los requerimientos de diseño y de las normas INVIAS.

Los requerimientos para el agregado participante en los diferentes tipos de tratamientos y mezclas asfálticas son establecidos en el artículo 400-07 de INVIAS. Algunos requisitos de estos materiales se contemplan a continuación:

Tabla 1-3. Ensayos que evalúan las características de las partículas.

<p>Gradación y tamaño máximo de partícula I.N.V. E-213</p>	<p>Las especificaciones para mezclas asfálticas solicitan que las partículas del agregado requieren estar dentro de un cierto margen de tamaños, además, que esta distribución de tamaños se presente en ciertas proporciones. Los límites expuestos en las especificaciones son una muy buena guía en la selección de un material pétreo, ya que el aumento de puntos de contacto del material compactado gradado se traduce en una alta resistencia a fricción y una gran área de transferencia de carga de un conjunto a otro.</p>
<p>Forma y textura superficial de la partícula I.N.V. E-227, E-230</p>	<p>Para la evaluación de estas características las normas del INVIAS especifican que no existe un método directo ya que son tan sólo atributos de los agregados que describen su geometría, dan una idea de la aptitud de su esqueleto mineral y, por tanto, de su resistencia mecánica. La experiencia sugiere que los áridos cúbicos obtenidos mediante machaqueo son los más apropiados, porque unen a su forma regular una alta angulosidad y rugosidad textural.</p>
<p>Resistencia al desgaste I.N.V. E-218, E-219</p>	<p>Las normas del INVIAS especifican que el desgaste del agregado no debe superar los límites estipulados. Esta condición que puede ser evaluada a través del ensayo de desgaste del agregado mineral mediante la máquina de Los Ángeles, estima la capacidad del agregado de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla asfáltica, y posterior acción del tráfico.</p>
<p>Solidez (Sanidad) I.N.V. E-220</p>	<p>La evaluación de esta característica que se encuentra establecida en los procedimientos descritos en las Normas del INVIAS, determina la resistencia al ataque químico de los agregados, que conduce a la rotura y degradación de las partículas, lo cual se genera y acelera en presencia del agua.</p>
<p>Limpieza y actividad de los finos I.N.V. E-212, E-133</p>	<p>Las normas del INVIAS determinan la evaluación de estas características por medio de la inspección visual. La norma especifica un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables en el diseño de producción (sustancias orgánicas, esquistos, terrones de arcilla, partículas livianas, y polvo de origen arcilloso).</p>
<p>Peso específico y Capacidad de absorción I.N.V. E-222, E-223</p>	<p>La evaluación de estas características descritas en las Normas del INVIAS definen en sí la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. Es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos con un peso unitario específico.</p>
<p>Grado de afinidad con los cementos asfálticos I. N. V. E-740</p>	<p>Las especificaciones para mezclas asfálticas solicitan que debe haber una afinidad del agregado con el cemento asfáltico, es decir, determinar la tendencia del agregado a aceptar y retener una película de cemento asfáltico.</p>

1.4.1.1 Agregado Mineral según Tamaño.

El tamizado de los materiales, conduce a una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la elaboración de mezclas asfálticas de buena calidad consiste en mantener gradaciones específicas de agregados.

1.4.1.1.1 Agregado Grueso.

Se denomina agregado grueso o grava a las partículas de un tamaño igual o mayor que 4.75mm, es decir, que son retenidas en el tamiz No.4. Debe tener una buena resistencia al golpe, valor de abrasión, valor de impacto, entre otros. Su función es la de soportar tensiones provenientes de las ruedas. Debe tener buena resistencia al desgaste debido a la acción abrasiva del tráfico.

El agregado grueso procede de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que impidan la adhesión completa del asfalto.

1.4.1.1.2 Agregado Fino.

El agregado fino o arena es la porción de agregado que pasa el tamiz No.4 (abertura de 4.75mm) y es retenida por el tamiz No.200 (abertura de 0.075 mm). Su función es llenar los vacíos del agregado grueso. El agregado fino se constituye por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural.

La proporción admisible de arena natural dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deben ser duros, limpios, de superficie rugosa y angular, estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y satisfacer los requisitos de calidad pertinentes.

1.4.1.1.3 Relleno Mineral (Filler).

El relleno mineral, denominado también como filler, es el material cuyo tamaño es inferior a 0.075mm (tamiz No. 200). Además del producto de la trituración del agregado, la cal, el cemento, el polvo de tiza, las cenizas de combustible pulverizada, el talco y algunos productos sintéticos son usados como relleno mineral.

Actúa como endurecedor del cemento asfáltico, lo que significa que provoca una reducción en su deformación o fluencia generada por una carga, un incremento en su punto de ablandamiento, una reducción de su penetración, un incremento en rigidez y disminución del riesgo de segregación en la mezcla.

El siguiente cuadro sintetiza la clasificación de los agregados minerales:

Tabla 1-4. Clasificación de los Agregados Minerales.

Tamaño	Agregado grueso	
	Agregado fino	
	Relleno mineral (Filler)	
Origen	Rocas ígneas	Extrusivas
		Intrusivas
	Rocas sedimentarias	Silíceas
		Calcáreas
Rocas metamórficas		
Procedencia	Agregados naturales	
	Agregados procesados	
	Agregados sintéticos	

Fuente: Elaboración propia

1.4.2 Los Cementos Asfálticos.

El cemento asfáltico mantiene en posición los agregados, y la carga es tomada por la masa agregada a través de los puntos de contacto. Si todos los huecos se llenaran de asfalto, la carga sería soportada más bien por la presión hidrostática a través del asfalto, y la fuerza de la mezcla por lo tanto se reduciría. Esa es la razón por la que la estabilidad de la mezcla disminuye cuando el contenido de asfalto se incrementa más allá de cierto valor.

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente es seleccionado en función de las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía, tipificadas en el artículo 400-07, tabla 400.3 y 400.4.

Para evaluar la calidad de cualquiera de los tipos de cementos asfálticos y poder clasificarlos, el INVIAS determina algunos de los ensayos que se mencionan a continuación:

Tabla 1-5. Ensayos de evaluación de los cementos asfálticos.

Penetración INV E-706	Determina el grado de dureza del asfalto. Es una medida de la consistencia del mismo.
Viscosidad INV E-714, 715, 716	Determina el grado de fluidez del cemento asfáltico, en el rango de temperaturas que se usan durante su aplicación.
Punto de ablandamiento INV E-712	Determina el punto en que el cemento asfáltico encuentra su estado de fluidez bajo la acción de la temperatura.
Ductilidad INV E- 702	Determina la resistencia a la ruptura por medio del alargamiento de una probeta de cemento asfáltico.
Punto de inflamación INV E-709	Encuentra la temperatura mínima a la cual se producen flamas instantáneas al someter al cemento asfáltico a un calentamiento gradual.
Película delgada INV E-720, 721	Determina en el laboratorio las condiciones que produce un aumento de la consistencia del asfalto durante las operaciones de mezclado en la planta.
Solubilidad INV E-713	Determina una medida de la pureza del asfalto.

Ensayo de la mancha INV E-718	Detecta reordenamientos moleculares producidos por la acción de altas temperaturas.
Gravedad específica INV E-711	Determina la relación entre el peso de un material, a una temperatura dada, con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura.
Contenido de agua INV E-704	Determina si hay agua en el cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración propia.

1.4.3 Vacíos con Aire

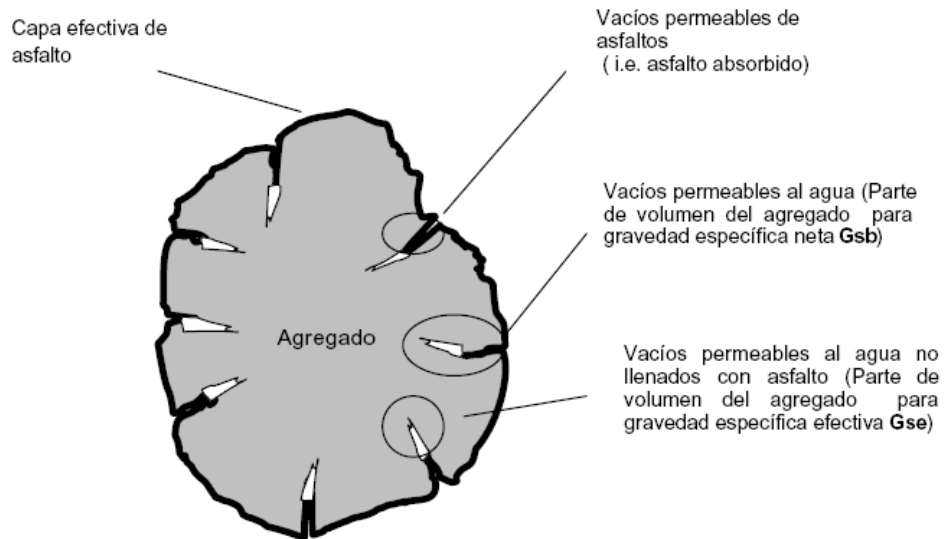
Una mezcla asfáltica compactada constituye un sistema poli-disperso formado por partículas de agregado de distinto tamaño, naturaleza y forma (fase sólida) trabadas entre sí y en íntimo contacto; los espacios entre las partículas están ocupados por la fase fluida, constituida por el cemento asfáltico y el aire, que ocupa los llamados vacíos.

Un factor que se tiene en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado.

Las propiedades volumétricas de una mezcla de pavimento compactado (vacíos de aire (V_a); vacíos en el agregado mineral (VAM); vacíos llenados con asfalto (VFA); y contenido de asfalto efectivo (P_{be})) proporcionan una indicación del probable funcionamiento de la misma.

Vacíos en el agregado mineral, VAM. Es el volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

Figura 1-1. Ilustración de los parámetros volumétricos



Fuente: (TRANSPORTE, 2004)

Contenido de asfalto efectivo, P_{be} . Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

Vacíos en el agregado mineral, VAM. Es el volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

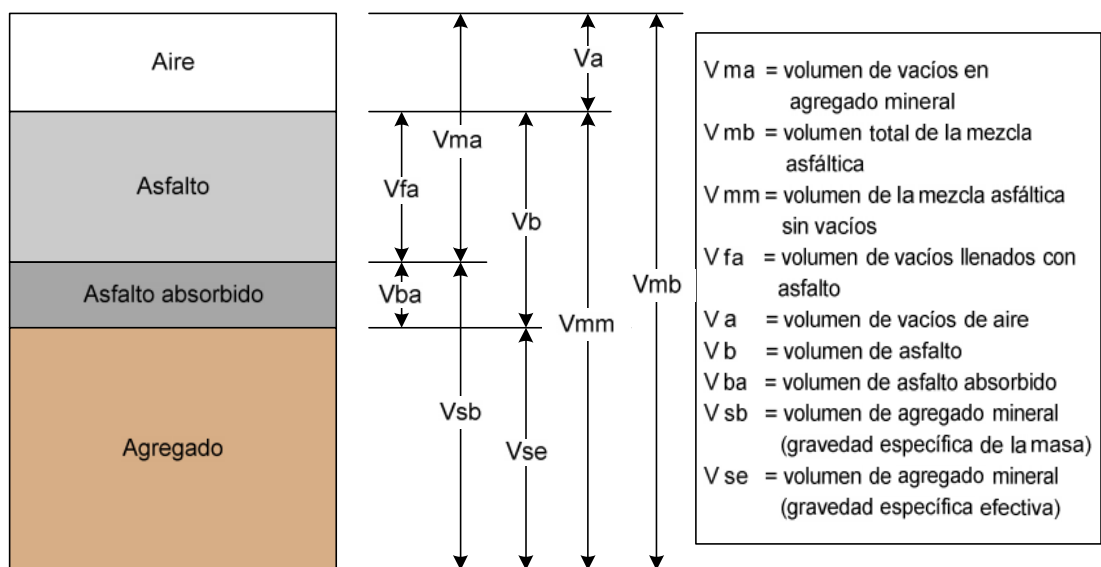
Contenido de asfalto efectivo, P_{be} . Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

Vacíos de aire, V_a . Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado,

expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado.

Vacíos llenados con asfalto, VFA.— Porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la porción de $(VAM - V_a)$ entre VAM .

Figura 1-2. Propiedades volumétricas.



Fuente: (TRANSPORTE, 2004)

La selección del diseño final de la mezcla corresponde a la más económica y que además cumpla satisfactoriamente con todos los criterios establecidos. Normalmente, los criterios de diseño de mezclas producirán un rango limitado de contenidos de asfalto aceptables que cumplan todos los lineamientos.

Existen algunas consideraciones en el ajuste que deben ser evaluadas en todo diseño antes de establecer el contenido de asfalto final:

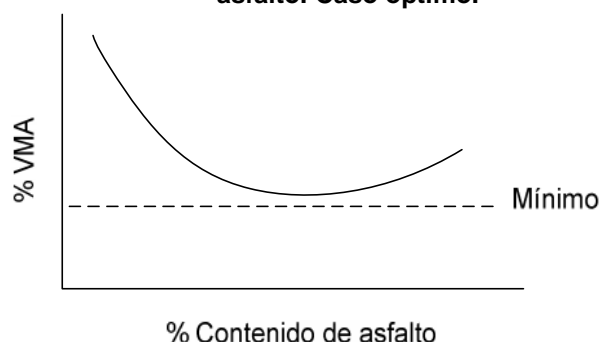
1.4.3.1 Evaluación de la curva de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Es muy difícil en el diseño de mezclas asfálticas lograr un mínimo de vacíos en el agregado mineral (VAM). Este parámetro se satisface si se proporciona suficiente espacio para el asfalto y se permite una adhesión adecuada para ligar las partículas de agregado cuando las temperaturas se incrementen y el asfalto se expanda.

Normalmente, la curva exhibe una forma de “U” alargada, decreciendo hasta un valor mínimo para después incrementarse con el aumento del contenido de asfalto. En la curvatura de la gráfica se puede reconocer la sensibilidad de la mezcla al contenido de asfalto en dicho rango.

En la gráfica se aprecia que el volumen de vacíos en el agregado mineral (VAM) cambia con la variación del contenido de asfalto, y dependiendo de éstos se modifica el comportamiento de la mezcla. Así, cuando el contenido de asfalto se incrementa, la mezcla se vuelve más manejable y fácil de compactar, provocando un aumento en su densidad y por consiguiente una disminución proporcional de los VAM.

Figura 1-3. Relación entre VMA y límite de especificación para el rango de contenido de asfalto. Caso óptimo.

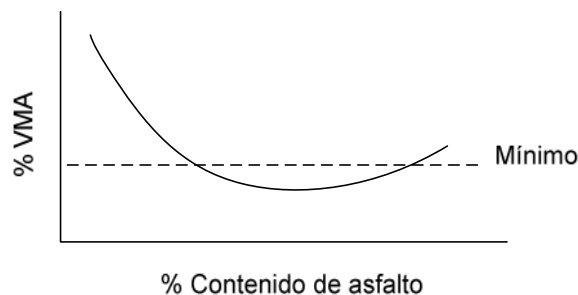


Fuente: (LÓPEZ RAMÍREZ, 2008)

Es recomendable evitar los contenidos del asfalto en el lado creciente de la curva VMA e idealmente, se sugiere seleccionar el contenido de asfalto de diseño un poco a la izquierda del punto inferior de la curva VMA, siempre y cuando no se incumpla ninguno de los otros criterios de diseño.

Es posible que el fondo de la curva VMA caiga por debajo del criterio mínimo de los VMA; de ocurrir esto, se deben realizar cambios en las fórmulas de trabajo, pues no es una opción diseñar con las cantidades de asfalto que superen los criterios mínimos, ya que esta decisión entregaría mezclas muy secas propensas a segregación (lado derecho de la curva) o a mezclas que sufren muchas deformaciones (lado izquierdo de la curva).

Figura 1-4. . Relación entre VMA y límite de especificación para el rango de contenido de asfalto. Caso indeseable



Fuente: E (LÓPEZ RAMÍREZ, 2008)

Si el criterio mínimo de VMA está completamente por encima de todo el rango del contenido de asfalto, es justificable la revaluación o el cambio en las fuentes del material.

Anteriormente se había indicado, que los vacíos en el agregado mineral, VMA, se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, el cual incluye los vacíos de aire (V_a) y el contenido

de asfalto efectivo (P_{be}), expresado como un porcentaje del volumen total. Por lo tanto, el VAM puede estimarse restando el volumen del agregado determinado por su gravedad específica neta, del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada, tal como lo muestra la ecuación:

$$VMA = 100 - \frac{(G_{mb} * P_s)}{G_{sb}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica.

G_{mm} = Gravedad específica máxima de la mezcla sin compactar.

G_{mb} = Gravedad específica máxima de la mezcla compacta.

Figura 1-5. Vacíos en el agregado mineral, VAM.



Fuente: Elaboración propia.

1.4.3.2 Evaluación de la curva de Vacíos con aire (V_a)

Los vacíos de aire, V_a , en la mezcla asfáltica compactada corresponden a los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado.

Figura 1-6. Vacíos con aire, V_a .



Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, puede determinarse usando:

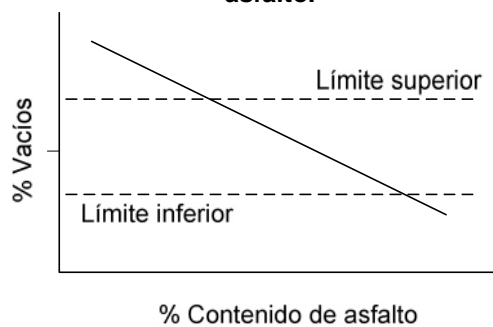
$$V_a = 100 * \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica máxima de la mezcla sin compactar.

G_{mb} = Gravedad específica máxima de la mezcla compacta.

Figura 1-7. Relación entre V_a y límites de especificación para el rango de contenido de asfalto.



Fuente: (LÓPEZ RAMÍREZ, 2008)

Los porcentajes de vacíos con aire para el diseño de una mezcla, son aceptables dentro de un rango, referido al porcentaje de vacíos esperados después de varios años de tránsito. Esta meta no varía con el tránsito ya que se supone que el esfuerzo de compactación de laboratorio es seleccionado para el volumen vehicular esperado.

Analizando la curva V_a , es de esperar que mezclas con poco porcentaje de vacíos (V_a), desarrollen ahuellamiento si se colocan en situaciones de tránsito pesado.

Sucede lo contrario en los casos en que los porcentajes de vacíos (V_a) superan el límite superior de vacíos con aire (V_a), ya que podría presentar fragilidad, agrietamiento prematuro, desgaste y desprendimiento.

El objetivo global es limitar los ajustes del diseño del contenido de asfalto a menos de 0.5% de vacíos de aire de la media del criterio de diseño (4%), especialmente en la parte baja del rango; y verificar que la mezcla de la planta se parezca exactamente a la elaborada en el laboratorio.

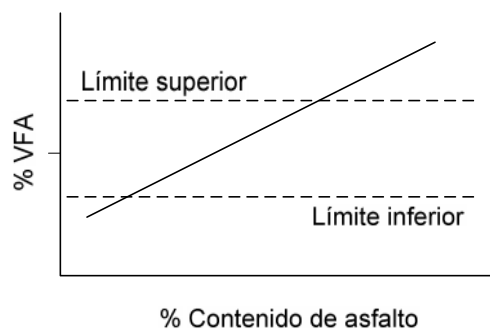
1.4.3.3 Evaluación de la curva de Vacíos Llenos con Asfalto (VFA)

El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, VFA, sin incluir el asfalto absorbido, se determina mediante la relación:

$$VFA = 100 * \frac{(VMA - V_a)}{VMA} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Aunque los VFA, los VMA y los V_a , están interrelacionadas entre sí y con dos de estos valores se puede obtener el tercero, es posible tomar el criterio VFA para el diseño de mezclas con VMA de marginales a aceptables.

Figura 1-8. . Relación entre VFA y límite de especificación para el rango de contenido de asfalto.



Fuente: (LÓPEZ RAMÍREZ, 2008).

El efecto principal del criterio de VFA es que limita los niveles máximos de VMA y subsecuentemente, los niveles máximos de contenido de asfalto.

El criterio VFA provee un factor de seguridad adicional en el diseño y construcción en términos de comportamiento, ya que pueden ocurrir cambios entre éstas etapas, incrementando en el margen de error.

Es un parámetro que complementa el control sobre los vacíos en la mezcla, ya que si tenemos un contenido alto de VFA aunado a un alto tráfico, las mezclas tenderán a manifestar ahuellamiento, mientras que si es bajo el valor de VFA, podría manifestar fragilidad, agrietamiento prematuro y desprendimiento.

1.4.3.4 Asfalto Efectivo

La cantidad óptima de asfalto es aquella que forma una membrana alrededor de las partículas con un espesor apto para resistir los elementos de intemperismo y evitar así la oxidación acelerada del asfalto, sin ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia. Dicho porcentaje puede variar según el tipo de material, la densidad y absorción del agregado, o por la misma reología del asfalto que se esté aplicando.

El contenido de asfalto efectivo, P_{be} , se calcula considerando a la mezcla de pavimento como el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica, el cual se obtiene con la ecuación: (TRANSPORTE, 2004)

$$P_{be} = P_b - (P_{ba} + P_s) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

P_{be} = contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_b = contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_{ba} = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

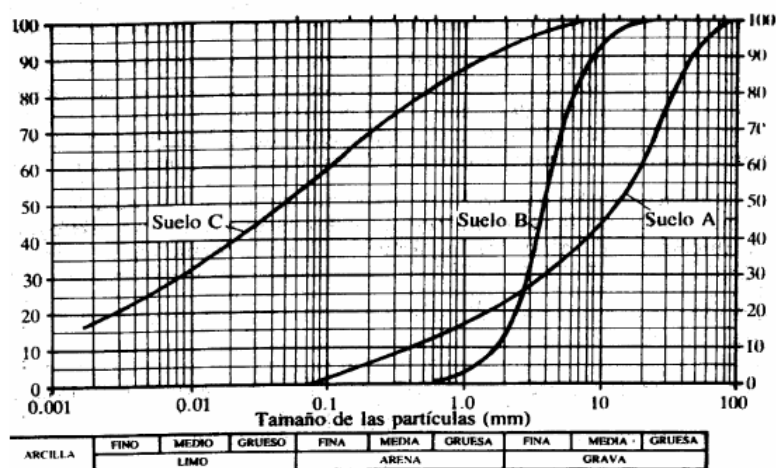
P_s = contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla.

1.5 Coeficientes de Uniformidad y Curvatura.

Una mezcla gradada densa usa la cantidad adecuada de todos los tamaños, desde grueso a fino incluyendo el polvo de los materiales. Las mezclas gradadas densas tienden a tener gran número de puntos de contacto entre piezas individuales resultando una alta resistencia a fricción. El aumento de puntos de contacto del material compactado gradado también se traduce en una gran área de transferencia de carga de un conjunto a otro. Esto disminuye la posibilidad de aplastamiento de la pieza agregada individual por el punto de carga.

La forma de la curva da idea inmediata de la distribución granulométrica del suelo.

Figura 1-9. Curvas granulométricas.



Fuente: (PIEDRAHITA y GONZALEZ 2008)

El *coeficiente de uniformidad* es utilizado para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas. A medida que D_{60} se aleja más de D_{10} , aumenta el coeficiente de uniformidad, lo que significa que mejora la graduación del material. Si, por el contrario, son muy parecidas, se tiene un material mal graduado cuya gráfica tiende a una línea vertical.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{30}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Podría ser que entre los puntos D_{60} y D_{10} el gráfico tuviera algunas sinuosidades, por lo que conviene tener una medida intermedia que es lo que persigue el *coeficiente de curvatura* (Cc), denominado así porque se está controlando la curvatura o rectitud del gráfico en ese intervalo. Éste da información sobre el equilibrio entre diversos tamaños.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$$Cu > 4 \text{ a } 6,$$

$$1 < Cc < 3$$

Los D_i ; $i = 10, 30, 60$ son los tamaños de las partículas, para el cual el $i\%$ del material es más fino que ese tamaño.

Es posible que el coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc) de los diferentes diseños no siempre describan la forma de la curva granulométrica.

1.6 El Método de Bailey.

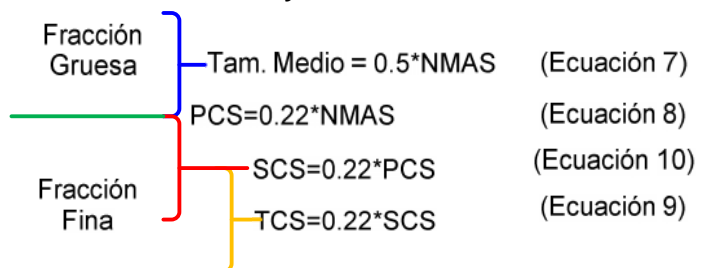
El método de Bailey, de la selección granulométrica está directamente relacionada con las características de compactación de cada fracción, con los vacíos en el agregado mineral (VAM) y los vacíos de la mezcla (V_a).

Según este método, 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 dependen del diámetro máximo nominal del agregado de la mezcla (NMAS). Éste se define de acuerdo con la especificación Superpave, como el primer tamiz encima de la malla que retiene más de 10% del material.

En el Método de Bailey, el tamiz que define la división entre el agregado fino y grueso es llamado el Tamiz de control primario (PCS), que se basa en el diámetro máximo nominal (SCS) de la mezcla, como se muestra en la Figura. La TSC se considera como el tamiz con el diámetro de apertura más próximo al resultado de la ecuación.

Figura 1-10. Método de Bailey.



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

NMAS = Diámetro máximo nominal del agregado.

PCS = tamiz de control principal.

SCS = tamiz de control secundario.

TCS = tamiz de control terciario.

El análisis en dos dimensiones se basa en cuatro combinaciones de las características geométricas de los agregados, donde cada uno presenta un valor para el factor de compresión de las partículas. Este factor es la relación entre el diámetro de las partículas más gruesas, que crean vacíos, y las partículas finas, que llenan los vacíos.

Después de haber determinado la graduación, 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 hasta la PCP. El agregado fino, a su vez, se divide y se analiza en dos partes. La división del agregado fino se realiza multiplicando el PCP por un factor de 0,22, que proporciona el tamiz de control secundario (PCS), que es 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 (PCT), que se determina multiplicando el PCS por un factor de 0,22.

Para la evaluación de la compactación de cada una de las tres partes de la graduación seleccionada, el método de Bailey define tres parámetros:

- Porcentaje de agregado grueso (índice de AC): Indica el comportamiento de la mezcla en la compresión de la partícula de agregado grueso, y como una rebanada delgada de la mezcla cumple los vacíos dejados por el agregado grueso.

$$CA = \frac{\%T.Medio - \%PCS}{100 - \%T.Medio} \quad (\text{Ecuación 11})$$

- Porcentaje grueso de los agregados finos (Proporción FA_C): Indica el comportamiento de la mezcla en la compresión de las partículas de agregado grueso, y como una rebanada delgada de la mezcla cumple los vacíos dejados por el agregado grueso.

$$FA_C = \frac{\%SCS}{\%PCS} \quad (\text{Ecuación 12})$$

- Porcentaje fino de agregados finos (Proporción FA_F): Indica el comportamiento de la mezcla en la compresión de la partícula de agregado grueso, y como una rebanada delgada de la mezcla cumple los vacíos dejados por el agregado grueso.

$$FA_F = \frac{\%TCS}{\%SCS} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Las proporciones CA, FA_C y FA_F son muy útiles para la evaluación y los ajustes en los vacíos del agregado mineral (VAM). Es importante recordar que los cambios en la forma, la fuerza, el ángulo y la textura de los agregados deben tenerse en cuenta en los análisis.

1.7 Método Marshall.

1.7.1 Requerimientos para el Desarrollo del Diseño De Mezcla.

Su ejecución se describe en las Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras del Instituto Nacional de Vías I. N. V. E-748.

1.7.2 Tipo de Muestra.

Emplea muestras normales para ensayos de 2 1/2 pulgadas por 4 de diámetro, las cuales se preparan bajo un procedimiento especificado.

1.7.3 Número de Muestras.

En el diseño se emplean 4 porcentajes diferentes de cemento asfáltico. Se acostumbra a iniciar con un porcentaje de 4.5 % de cemento asfáltico con respecto al peso de la muestra total, elaborándose los juegos de probetas con incrementos en dicho porcentaje de 0.5%.

1.7.4 Equipo para el Ensayo.

Los elementos para el ensayo Marshall incluyen: el molde de compactación de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo mecánico de compactación con una zapata circular de 3 y 7 pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas con su respectivo pedestal de compactación perfectamente anclado al piso. Otros elementos tales como compactadores, termómetros, estufa, bandejas metálicas, baño de María, balanzas, espátulas, guantes, tamices, extractores de muestras, etc, son necesarios para la ejecución de éste ensayo.

1.7.5 Procedimiento del Ensayo.

1.7.5.1 Preparación de los Agregados.

Se secan a 160°C hasta obtener peso constante. Como casi nunca es posible obtener un agregado que cumpla con los requisitos granulométricos exigidos, debe hacerse una combinación de los disponibles. Aplicando los porcentajes requeridos por las gradaciones disponibles, éstas se comparan con la norma de diseño para verificar si la mezcla en tales proporciones cumple con las especificaciones. De no ser así se requieren algunos ajustes en la granulometría.

El procedimiento en laboratorio conlleva a separar los diferentes tamaños por tamizado de las gradaciones disponibles, y luego extraer de cada uno de estos

tamaños las proporciones que deben intervenir en la mezcla, para obtener la gradación requerida.

1.7.5.2 Preparación del Cemento Asfáltico.

Teniendo el cemento asfáltico sólido convencional o modificado, se calienta hasta la temperatura de mezcla cuidando no excederla.

1.7.5.3 Preparación de la Mezcla.

Para obtener muestras compactadas cercanas a 2.5 ± 0.01 pulgadas de altura se requieren alrededor de 1200 gramos de mezcla. Por lo tanto se mezclan las cantidades necesarias de cada fracción de agregados y cemento asfáltico para garantizar dicho peso. En el recipiente de mezcla se debe colocar la cantidad adecuada de agregado, a la temperatura especificada (superior en $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la temperatura de mezcla del cemento asfáltico), mezclándose rápidamente y abriéndose un cráter dentro del cual se coloca la cantidad calculada de cemento asfáltico. La mezcla se realiza empleando un palustre o mezclador mecánico, lo más rápido posible con el fin de evitar disminuciones de temperatura.

El procedimiento es el mismo para cada una de las muestras que se van a preparar.

1.7.5.4 Compactación de las Mezclas.

Teniendo la mezcla asfáltica lista para introducirla en el molde de compactación, se tiene en cuenta que previamente, tanto el molde de compactación como el pisón estén limpios y se hayan colocado en la estufa entre 100 y 150°C por 30 minutos.

En seguida se arma el molde, se coloca su collar de extensión y su base, se le aplica aceite, y posteriormente se introduce el papel filtro en el fondo, colocando luego de forma rápida dentro del molde la mezcla, la cual se debe emparejar con una espátula caliente, aplicando 15 golpes alrededor del perímetro y 10 en su interior nivelando finalmente la superficie del material.

“Es importante que la mezcla se encuentre dentro de los límites que se requieren o de lo contrario la mezcla debe descartarse pues no se permite el calentamiento”. Posteriormente se sujeta el molde con el aro de ajuste, se coloca en el pedestal de compactación entre la guía y sobre la cadena de rotación, y se aplican 75 golpes a caída libre según se especifique.

Terminada la aplicación del número de golpes requerido, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se le quita la placa de base y el collar de extensión, se invierte el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando el mismo número de golpes por la nueva cara. Se retira el molde del pedestal, se le quita el collar y la base y se deja enfriar a temperatura ambiente.

Estando a temperatura ambiente, al molde se le coloca el collar de extensión para retirar la probeta compactada, la cual debe identificarse marcando cada cara con tiza o crayola.

Se pesa la probeta y se mide su espesor; si su altura está por fuera de lo especificado, puede ajustarse la cantidad de agregado a utilizar para elaborar las siguientes probetas, aplicando la expresión:

$$Peso_{ajustado\ del\ agregado} = \frac{2.5 * Peso_{del\ agregado\ usado}}{altura_{medida\ de\ la\ muestra} (pg)} \quad (Ecuación\ 14)$$

Este procedimiento de compactación se realiza sobre todas las muestras que se elaboren con los diversos porcentajes de cemento asfáltico.

1.7.6 Ensayo de Probetas Compactadas.

En el método Marshall, cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado: determinación del peso específico “bulk”, ensayo de estabilidad y flujo, análisis de densidad de vacíos.

1.7.6.1 Determinación del Peso Especifico “Bulk”.

El peso específico bulk de una probeta compactada es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Dependiendo de la textura superficial de cada una de las probetas cerrada o abierta, el peso específico se evalúa de acuerdo a las Normas de Ensayos del INVIAS.

Para probetas de superficie cerrada (I.N.V. E-733):

$$Gb = \frac{Wa}{W_{ss} - W_w} \quad \text{(Ecuación 15)}$$

Donde:

Wa: Peso de la probeta seca en el aire.

Ww: Peso de la probeta en el agua.

Wss: Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca.

1.7.6.2 Ensayo de Estabilidad Y Flujo.

La estabilidad Marshall es la fuerza aplicada en condiciones normalizadas del ensayo expresado en libras o en kilogramos.

El valor de la estabilidad Marshall se alcanza cuando las deformaciones elásticas y elasto – retardadas han sido superadas y comienzan las deformaciones plásticas sin una brusca discontinuidad.

La fluencia Marshall es la reducción del diámetro de la probeta normalizada en el momento de alcanzar la carga máxima en la dirección de ésta. Se la expresa generalmente en 0.01 pulgadas o milímetros.

Para cada una de las probetas compactadas se les aplica el siguiente procedimiento.

- Las probetas se llevan a un baño de agua a $60\pm 1^{\circ}$ C durante un lapso de 20 a 30 minutos.
- Se limpia cuidadosamente la mordaza de prueba y se lubrican las barras guías con una delgada película de aceite.
- Estando listo el aparato de carga Marshall, se saca la probeta del agua y se seca rápidamente su superficie.
- Se coloca la probeta en la mordaza inferior y se centra. Luego se ajusta el anillo superior y se centra el conjunto en el mecanismo de carga. Se coloca el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y se lleva su aguja a cero.
- A continuación se le aplica carga a la probeta a una velocidad de 50.8 mm./minuto (2 pulgadas/minuto), hasta que ocurra la falla. El valor correspondiente a esta lectura de carga se anota como ESTABILIDAD MARSHALL.
- Mientras se está aplicando carga, se mantiene el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra guía y se retira cuando ocurra la carga máxima, la lectura en el dial en este instante se denomina FLUJO y se acostumbra a expresar en centésimas de pulgada.

El procedimiento anteriormente descrito, desde que se saca la probeta del baño de agua hasta la falla en la máquina, no debe tardar más de 30 segundos.

1.7.6.3 Análisis de Densidad y Vacíos.

Al terminar el ensayo de estabilidad y flujo debe realizarse un análisis de la densidad de vacíos para cada serie de muestras de la siguiente manera:

Se promedian los pesos específicos "bulk" de las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de cemento asfáltico, descartando las que se alejen considerablemente del valor promedio.

Previamente de la caracterización del agregado se obtiene la gravedad específica neta del agregado, con la expresión:

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

P1, P2, P3, ...: Porcentajes en peso de cada una de las fracciones de material que interviene en el total del agregado.

G1, G2, G3, gravedad específica neta individual del agregado.

Gsb: gravedad específica neta para el agregado total.

Se determina la gravedad específica efectiva del agregado usando:

$$Gsb = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

Gmm = gravedad específica máxima de la mezcla del pavimento (sin vacíos de aire).

Pmm = porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100.

P b = contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

G b = gravedad específica del asfalto

Se calcula la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica, con la expresión:

$$G_{mt} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

P_s = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado.

Se conoce el porcentaje de absorción de cemento asfáltico empleando la expresión:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

P_{ba} = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado

G_{sb} = gravedad específica neta del agregado.

Se calcula el contenido de asfalto efectivo, P_{be} , como el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado, con la expresión:

$$P_{be} = P_b - (P_{ba} + P_s) \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

P_{be} = contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla

P_s = contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla

Se determina el porcentaje de vacíos en el agregado mineral con la expresión:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Se determina el porcentaje de vacíos con aire:

$$Va = 100 * \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Finalmente el porcentaje de vacíos llenos de asfalto se determina mediante la relación:

$$VFA = 100 * \frac{VMA - Va}{VMA} \quad (\text{Ecuación 23})$$

1.7.7 Comportamiento Típico de Mezclas Asfálticas.

Para observar el comportamiento de una mezcla asfáltica es necesario realizar las siguientes relaciones:

- Densidad vs. % de cemento asfáltico.
- Estabilidad vs. % de cemento asfáltico.
- Flujo vs. % de cemento asfáltico.
- % de vacíos con aire en la mezcla total vs. % de cemento asfáltico.
- % de vacíos en los agregados minerales vs. % de cemento asfáltico.
- Rigidez vs. % de cemento asfáltico.

1.7.8 Criterios para la Determinación del Contenido Óptimo

Con base en las curvas dibujadas, el contenido óptimo de cemento asfáltico se calcula promediando los siguientes valores.

- El que corresponde a la densidad máxima.

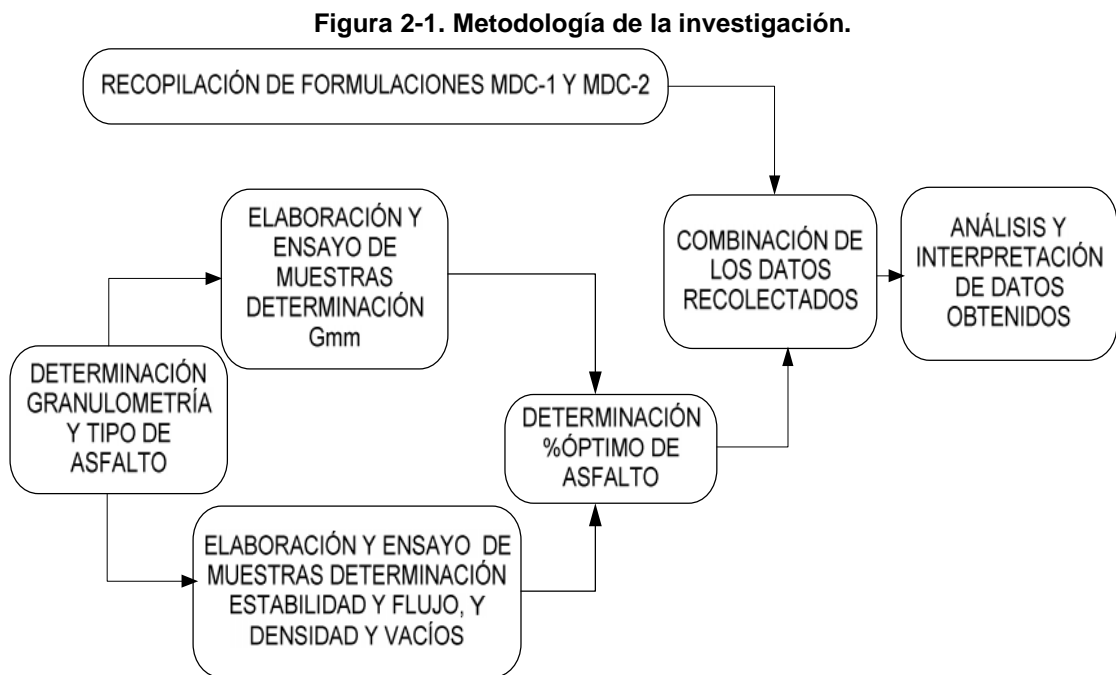
- El que corresponde a la estabilidad máxima.
- El que corresponde al valor medio del porcentaje de vacíos con aire permitido por las especificaciones.

Con el porcentaje promedio obtenido se verifica si los valores de flujo, estabilidad y vacíos se encuentran dentro de los límites especificados en los criterios de calidad establecidos por el Instituto Nacional de Vías, INVIAS. tabla 450.4 .

2 CONFORMACIÓN DE BASE DE DATOS

En esta investigación se propuso establecer un valor de la variación de los Vacíos llenos de asfalto (VFA) y de los Vacíos con aire (V_a) en función del contenido de asfalto de las formulaciones MDC-1 y MDC-2, y que sirvieran de apoyo para la formulación de mezclas asfálticas.

En la figura se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la metodología que se desarrolló.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de investigación se llevó a cabo en tres etapas. La primera etapa consistió en la recolección de datos externos, seguida de la elaboración de los diseños en el laboratorio.

Figura 2-2. Registro fotográfico de los ensayos de laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos que sirvieron de base corresponden a diseños elaborados como parte del estudio, otros fueron suministrados por empresas de diferentes ciudades y unos más, referenciados en estudios anteriores.

Algunas empresas suministraron los resultados de los ensayos que evalúan las características de los materiales además de los diseños Marshall, pero para hacer homogénea la base de datos, al estudio ingresó únicamente la información necesaria para la realización del análisis de densidad y vacíos

Una vez obtenida la base de datos, se procedió a hacer el análisis de los parámetros volumétricos.

2.1 Descripción del Uso Práctico de Valor de Pendientes de VA y VFA

Este ejemplo muestra la utilidad de esta herramienta, ya que antes de elaborar varias probetas para el diseño, se puede calcular el rango donde está el contenido óptimo de asfalto y hacer pruebas cerca de éste, disminuyendo el número de éstas.

De una probeta que se elabora en el laboratorio se conoce:

- %Asfalto_(gr.) = 4.5%
- % agregado_(gr) = 95.5%

y se determina:

- Peso de la probeta en el aire (W_{mb}) = 1198.4 gr
- Gravedad máxima teórica (G_{mm}) = 2.469
- Gravedad del agregado (G_{sb}) = 2.63
- Gravedad del asfalto (G_b) = 1.0196
- Gravedad específica Bulk (G_{mb}) = 2.33

A partir de estos datos se deducen los pesos y volúmenes de la mezcla.

(Figura 2-3)

Conocidas éstas, es posible determinar los parámetros volumétricos de la probeta.

$$\% \text{VMA} = \frac{\text{VMA}}{\text{V}_{mb}} * 100 = 15.40\%$$

$$\% \text{VFA} = \frac{(\text{VMA} - V_a)}{\text{VMA}} * 100 = 63.42\%$$

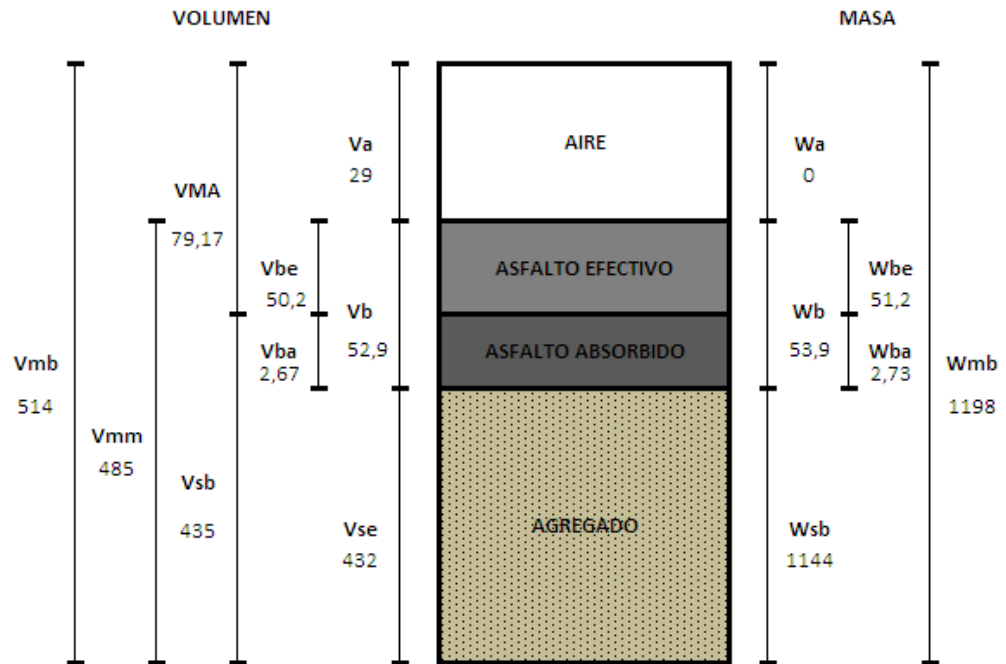
$$\% V_a = \frac{V_a}{\text{V}_{mb}} * 100 = 5.63\%$$

Si se tienen las pendientes promedio:

$$m_{V_a} (\% \text{Asf}) = -2.04$$

$$m_{VFA} (\% \text{Asf}) = 13.41$$

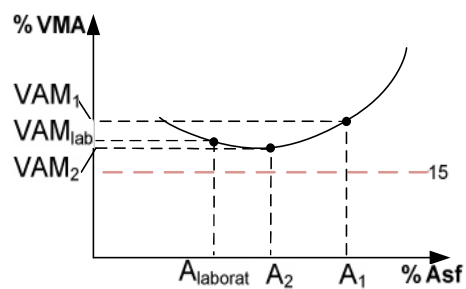
Figura 2-3. Relaciones volumétricas y gravimétricas en una mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

Se tratará de determinar el contenido de vacíos en agregado mineral, VAM con los porcentajes A_1 y A_2 . (Ver figura 2-4).

Figura 2-4. Curva de vacíos en el agregado mineral (VAM) empleando la predicción.



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$A_{laborat}$ = Dato conocido de la probeta.

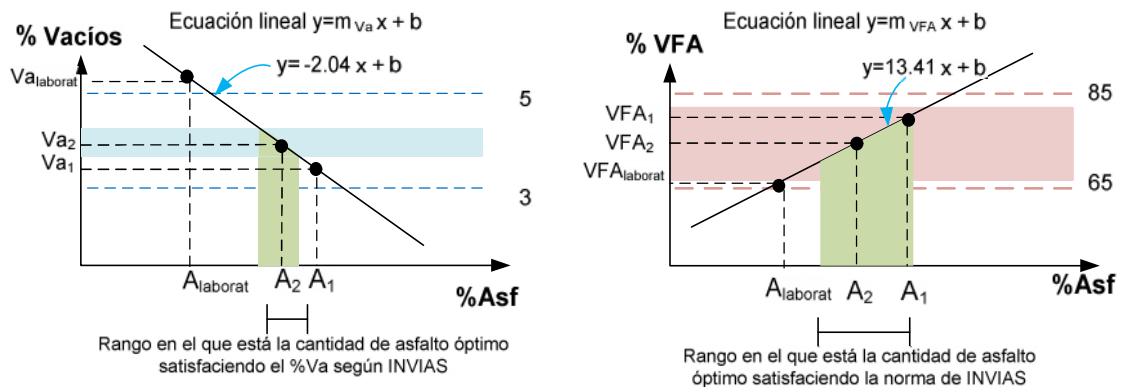
A_1, A_2 = Datos estimados con la aplicación del método.

Con los parámetros volumétricos de la probeta con 4,5% de contenido de asfalto, Va y VFA, más la pendiente promedio de cada gráfica se puede encontrar las ecuaciones lineales, resultando:

$$Va(\% \text{Asf}) = -2.04 * \% \text{Asf} + 14.81$$

$$VFA(\% \text{Asf}) = 13.41 * \% \text{Asf} + 3.082$$

Figura 2-5. Representación gráfica del método.



Fuente: Elaboración propia.

Para una probeta con 5.5% de asfalto, suponiendo que, $Wsb=1$ y la absorción del agregado es constante, se tiene:

$$Wb = 0.058\text{gr}$$

$$Wmb = 1.058\text{gr}$$

$$Vb = 0.057 \text{ cm}^3$$

$$Vsb = 0.380 \text{ cm}^3$$

De la probeta realizada con 4.5% de asfalto se conoce:

$$Vsb = 435,159\text{m}^3 \quad y \quad Vba = 2,68 \text{ cm}^3$$

Entonces el volumen absorbido por cm^3 de agregado es

$$\frac{V_{ba}}{V_{sb}} = \frac{2,68\text{cm}^3}{435.159\text{cm}^3} = 0,0062$$

Con lo que se puede estimar los siguientes datos:

$$V_{ba} = 0,0023 \text{ cm}^3 \quad \text{y} \quad W_{ba} = 0,0024\text{gr}$$

$$V_{be} = 0,054\text{cm}^3 \quad \text{y} \quad W_{be} = 0,056\text{gr}$$

$$V_{se} = 0,378 \text{ cm}^3$$

Empleando las ecuaciones obtenidas de las gráficas encontramos %Va y %VFA:

$$\% Va(5,5\%) = 3.59\%$$

$$\% VFA(5,5\%) = 76.837\%$$

Conocido estos datos se puede hallar:

$$V_a = 0.0162\text{cm}^3$$

$$VMA = 0.071\text{cm}^3$$

$$\% VMA = 15.72\%$$

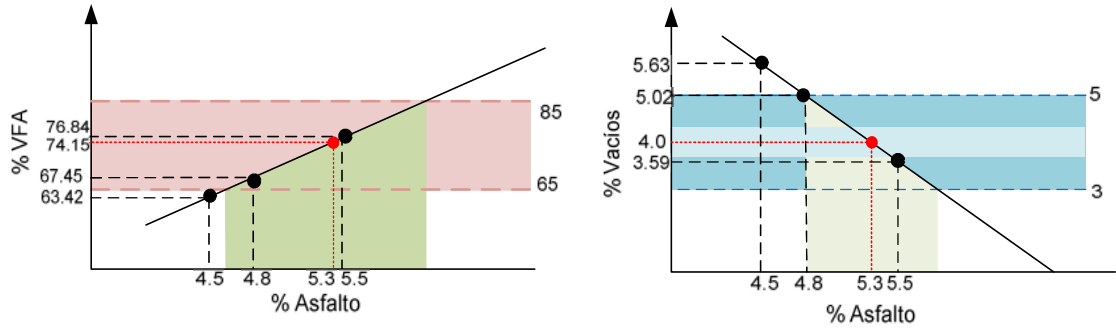
Como se había mencionado anteriormente, el objetivo global es limitar los estudios a porcentajes de muy cercanos al que se selecciona para fabricar la mezcla

Entonces empleando este método, de un %Va ideal igual a 4% se encuentra el valor de 5,3% de cemento asfalto.

$$4\% Va = -2.04 * x\%_{\text{asfa}} + 14.81, \text{ entonces} \quad x\%_{\text{asfa}} = 5.299 \approx 5.3\%_{\text{asfa}}$$

$$VFA(5,3\%_{\text{asf}}) = 13.41 * 5.3\%_{\text{asfa}} + 3.082 = 74.155\%$$

Figura 2-6. Representación gráfica de datos obtenidos.



Fuente: Elaboración propia.

Con 5.3% de asfalto se tiene:

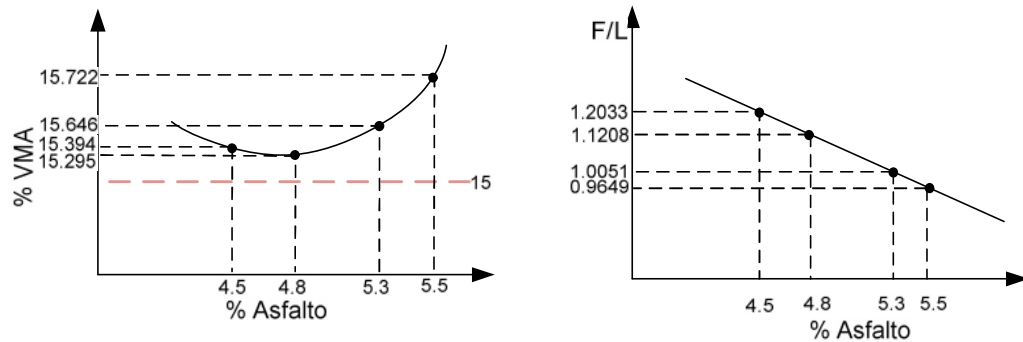
% Va = 4%
 % VFA = 74.155%
 $V_a = 0.018032 \text{ cm}^3$
 $VMA = 0.07058096 \text{ cm}^3$
 % VMA = 15.656%

Con 4.8% de asfalto se tiene:

% Va = 5.018%
 % VFA = 67.45%
 $V_a = 0.021546 \text{ cm}^3$
 $VMA = 0.068655 \text{ cm}^3$
 % VMA = 15.295%

A partir de todos los datos existentes, se obtuvieron también las siguientes relaciones:

Figura 2-7. . Gráficas obtenidas mediante la aplicación de las ayudas.



Fuente: Elaboración propia.

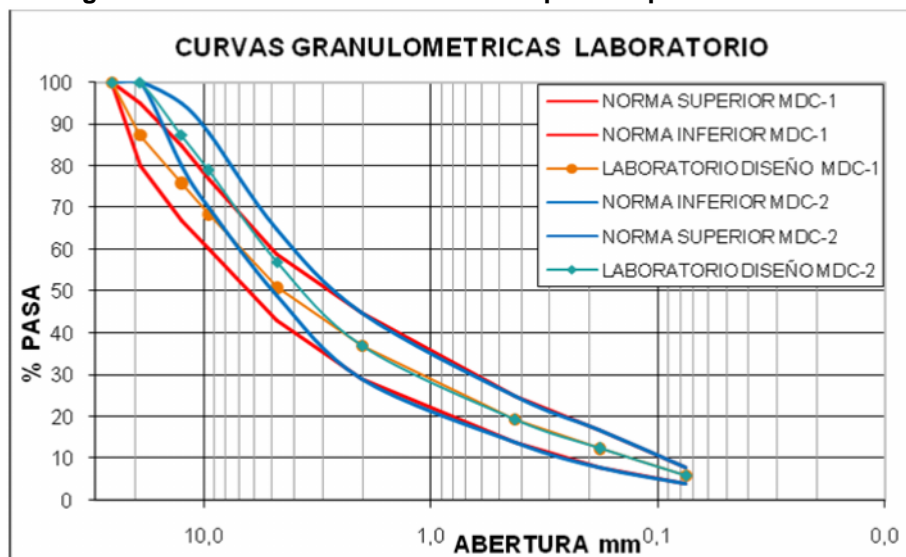
2.2 Formulación de Mezclas Típicas.

Se analizaron las mezclas tipo MDC-1 y MDC-2 entre las múltiples posibilidades permitidas por el Instituto INVIAS, pues son las formulaciones que más se emplean en los proyectos viales a nivel nacional, lo cual facilitó la obtención de datos.

Los diseños elaborados por el estudiante utilizaron la línea media del huso INVIAS en la gradación del material granular. La granulometría del agregado obtenida mediante la combinación de las distintas fracciones, se encuentra obviamente comprendida dentro de las franjas fijadas en la Tabla 450.2 del artículo 450 de INVIAS.

A continuación se presentan las curvas granulométricas utilizadas para la elaboración de briquetas.

Figura 2-8. Curvas Granulométricas empleadas por el estudiante.



Fuente: Elaboración propia.

Para cada una de estas granulometrías se realizaron los diseños Marshall para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico. Se emplearon 4 porcentajes diferentes de cemento asfáltico iniciando en 4.5% de asfalto respecto al peso de la muestra total de 1200gr, elaborando probetas con incrementos de 0.5% de asfalto. Además, se realizó el ensayo de Gravedad Máxima Teórica, Gmm, para mezclas de 1500 gr con el mismo contenido de asfalto. Los materiales utilizados para la fabricación de estas probetas fueron suministrados por las empresas Asfaltar.S.A. y Paviandi, y sus características se resumen en el siguiente cuadro.

se emplean 4 porcentajes diferentes de cemento asfáltico. Se acostumbra a iniciar con un porcentaje de 4.5 % de cemento asfáltico con respecto al peso de la muestra total, elaborándose los juegos de probetas con incrementos en dicho porcentaje de 0.5%.

Los materiales empleados presentan las siguientes características:

Tabla 2-1. Características de los materiales utilizados.

TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,02
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,63
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 1
MATERIAL PROCEDENTE DE PESCADERO, SANTANDER	

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Información Recopilada

2.3.1 Formulaciones Aportadas por Empresas

Los diseños procedentes de empresas corresponden a mezclas en uso.

En éstas, la mezcla de diferentes agregados para satisfacer el requisito de granulometría de agregados representa un grado de complejidad mayor, pues esta combinación debe estar dentro de una banda aceptable. Se recurre al método de

ensayo y error, y en la combinación resultante se utiliza las proporciones que satisfacen los requisitos.

Este estudio cuenta con un diseño de la ciudad de Cúcuta, tres de la ciudad de Bogotá y nueve de Bucaramanga representados a continuación:

Figura 2-9. Curvas Granulométricas MDC-1 aportadas por las empresas.

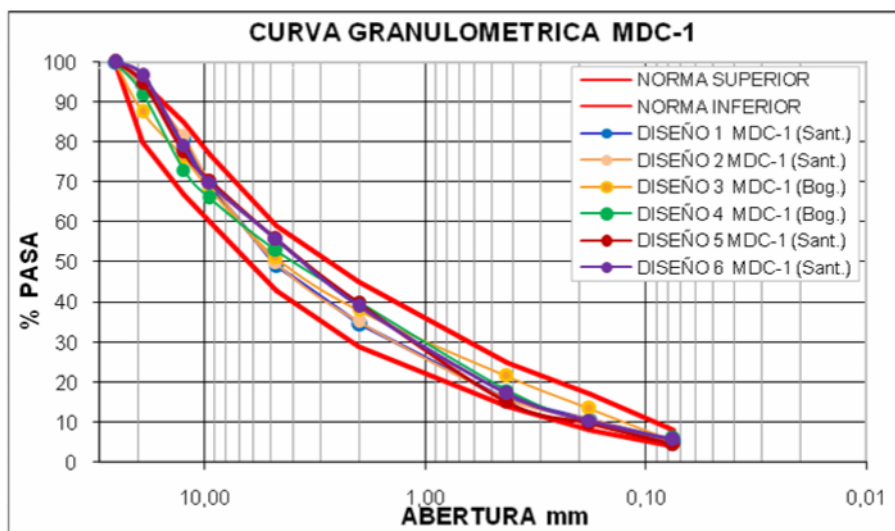
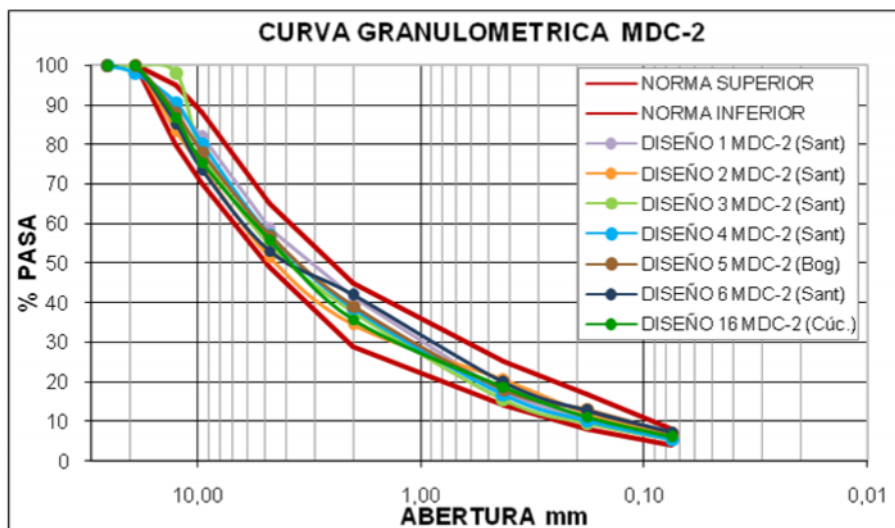


Figura 2-10. . Curvas Granulométricas MDC-2 aportadas por las empresas.

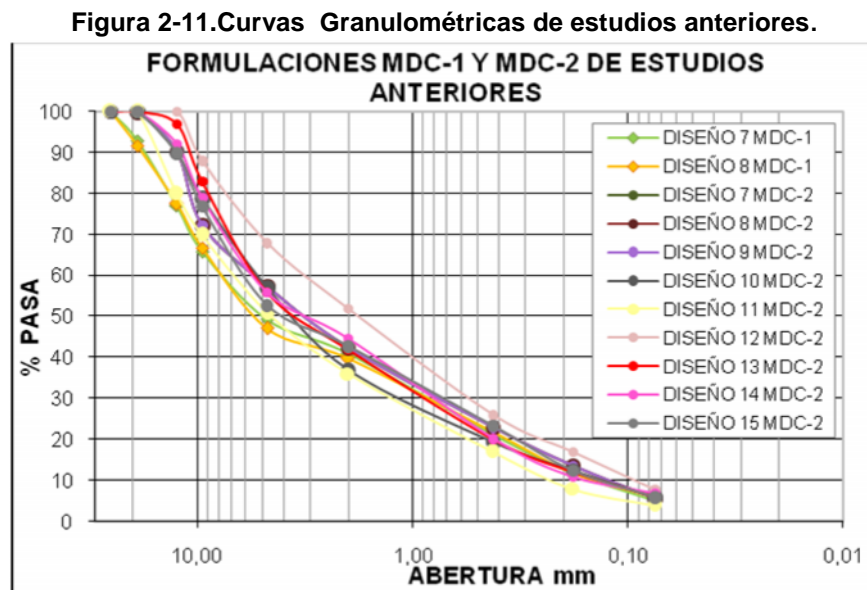


Fuente: Elaboración propia.

2.4 Formulaciones de Estudios Previos.

Buscando ampliar la base de datos, se encontró que en diferentes claustros universitarios se emprenden investigaciones cuyos objetivos son la exploración de nuevos métodos y materiales con el fin de optimizar las mezclas asfálticas para fines específicos. Casi la totalidad de estos estudios se desarrollan empleando mezclas MDC-2 y muy por debajo se encuentran las mezclas MDC-1

Los diseños encontrados presentan las siguientes granulometrías:

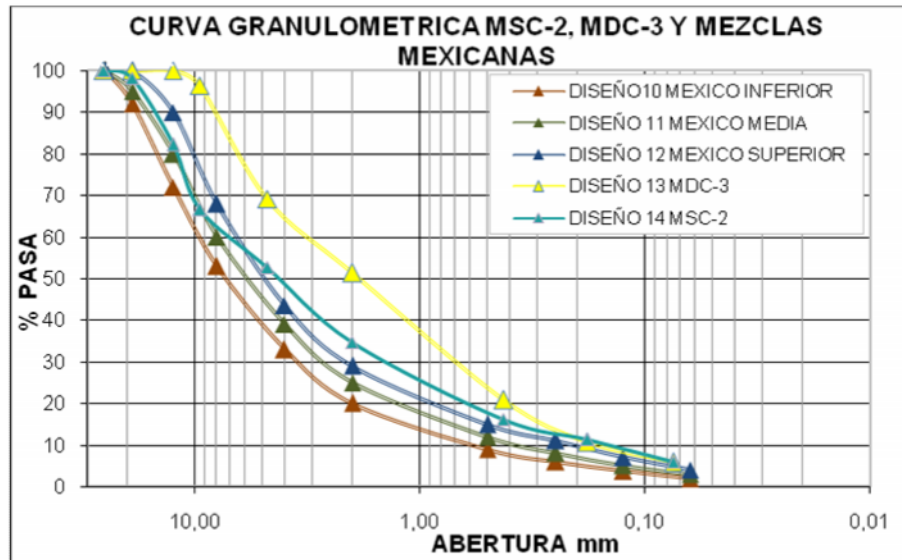


Fuente: Elaboración propia.

2.5 Otras Formulaciones

En vista de que se reunieron algunas granulometrías ajenas a los tipos analizados, se optó por incluirlas dentro del análisis con el fin de evaluar las diferencias en el comportamiento de éstas frente a las mezclas MDC-1 y MDC-2.

Figura 2-12. Curvas Granulométricas de otros tipos.



Fuente: Elaboración propia.

3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con el propósito de determinar la variación del contenido de vacíos con aire respecto al contenido de asfalto en las diferentes formulaciones de mezclas, se reúnen en la figura las curvas de vacíos con aire de las mezclas que conforman la base de datos.

Figura 3-1. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-1 y varias.

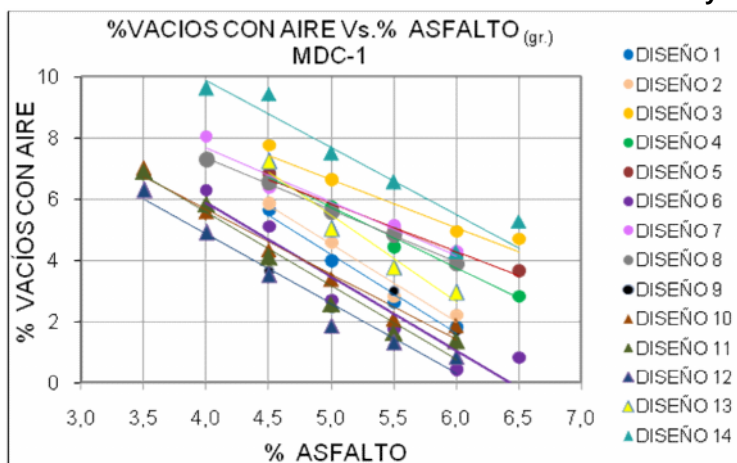
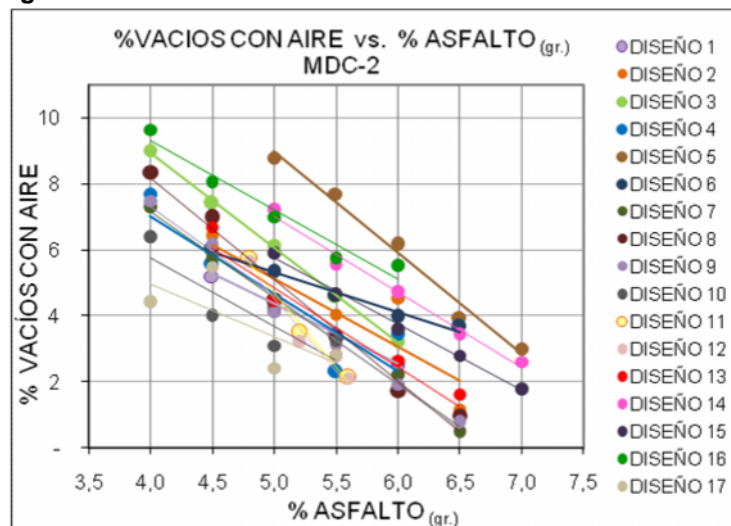


Figura 3-2. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-2.



Fuente: Elaboración propia.

Con el mismo propósito pero ahora con la variación del contenido de vacíos llenos de asfalto con respecto al contenido de asfalto, se representaron las curvas resultantes de todos los diseños en la figura siguiente.

Figura 3-3. Curvas de Vacíos llenos de asfalto, VFA de las fórmulas MDC-1 y varias.

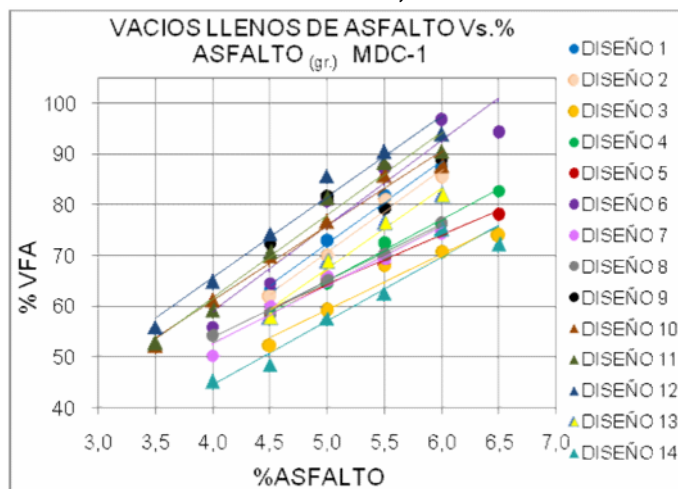
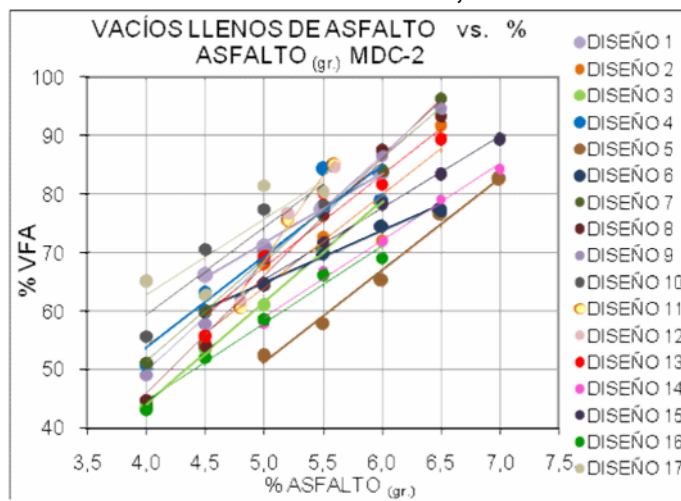


Figura 3-4. Curvas de Vacíos llenos de asfalto, VFA de las fórmulas MDC-2



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En las gráficas para diseños MDC-1, se incluyeron diseños de diferentes granulometrías a ésta. Estos se definieron con un identificador diferente (Δ) a las de las mezclas MDC-1 (\circ).

Con el propósito de reducir la variabilidad de las pendientes de las curvas, se estudiaron las mismas relaciones en función del volumen del contenido de **asfalto efectivo**, procurando hacer estas relaciones menos dependiente de las características de los materiales y así evaluar realmente la acción del asfalto como agente ligante. Las nuevas relaciones presentan el siguiente comportamiento.

Curvas de Vacíos con aire, V_a :

Figura 3-5. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-1 y varias relacionadas con el asfalto efectivo.

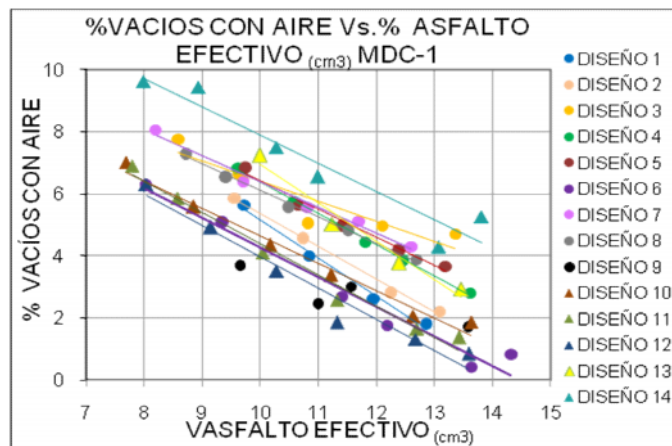
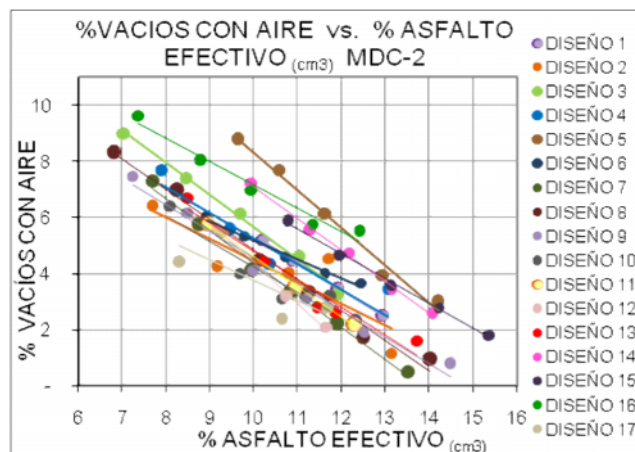


Figura 3-6. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-2 relacionadas con el asfalto efectivo.



Fuente: Elaboración propia.

Curvas de Vacíos llenos de asfalto, VFA:

Figura 3-7. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-1 y varias, relacionadas con el asfalto efectivo.

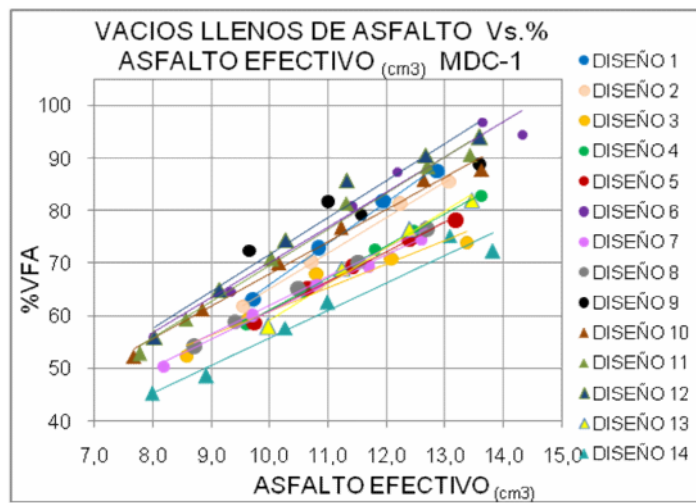
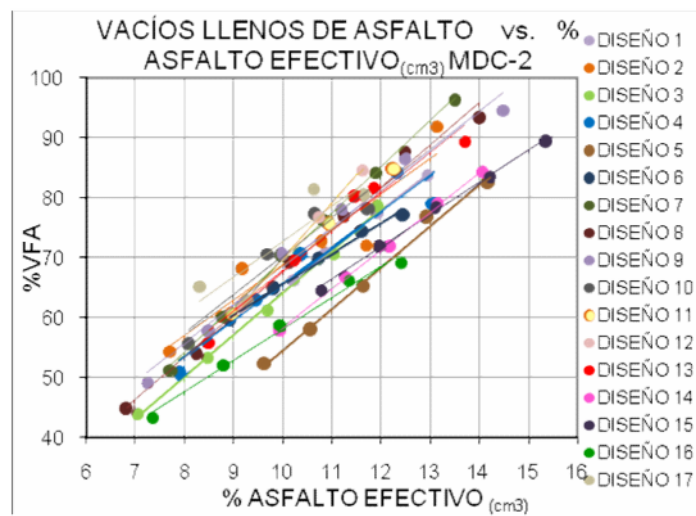


Figura 3-8. Curvas de Vacíos con aire de las fórmulas MDC-2, relacionadas con el asfalto efectivo.



Fuente: Elaboración propia.

De las gráficas de vacíos con aire (V_a) y Vacíos llenos de asfalto (V_{AF}), se puede establecer un rango de pendientes que definen el comportamiento de la mezcla

respecto a los parámetros en cuestión frente a la variación del contenido de asfalto.

Al comparar las gráficas, se puede apreciar que el comportamiento de los parámetros volumétricos frente al contenido de asfalto efectivo_(cm³) se hace uniforme entre sí, limitando el rango de pendientes a un intervalo más estrecho y definido.

Tabla 3-1. Pendientes promedio de los parámetros volumétricos Va y VFA para MDC-1.

MDC-1				
Pendiente	m _{Va} (%Asf)	m _{Va} (%asf Efec)	m _{VFA} (%Asf)	m _{VFA} (%asf Efec)
Máxima	-1,56	-0,64	16,91	7,80
Mínima	-2,57	-1,22	9,68	4,51
Promedio	-2,04	-0,94	13,41	6,13

Tabla 3-2. Pendientes promedio de los parámetros volumétricos Va y VFA para MDC-2.

MDC-2				
Pendiente	m _{Va} (%Asf)	m _{Va} (%asf Efec)	m _{VFA} (%Asf)	m _{VFA} (%asf Efec)
Máxima	-1,20	-0,68	28,46	9,27
Mínima	-4,49	-1,33	8,95	5,02
Promedio	-2,53	-0,98	16,48	6,65

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, se hizo difícil apreciar la relación de cada diseño con el comportamiento de estas pendientes, por lo que se analizaron éstas frente a los datos que se pudieron inferir de las granulometrías existentes, tales como el coeficiente de uniformidad (Cu), coeficiente de curvatura (Cc), %Gravas (Agregado grueso), %Arenas (Agregado fino), %Finos (Llenante mineral) y los parámetros de Baileys (CA, FAc, FAf).

Nota: En la obtención de la pendiente promedio para MDC-1, se excluyeron los diseños cuyas granulometrías son diferentes a ésta.

En el cuadro siguiente se describe el comportamiento de estas relaciones para una apreciación más simple.

3-99. Forma de las relaciones de las pendientes de los parámetros volumétricos frente a la información derivada de las granulometrías.

Vs.	MDC-1				MDC-2			
	m_{Va}		m_{VFA}		m_{Va}		m_{VFA}	
	%Asfalto	%Asfalto Efectivo	%Asfalto	%Asfalto Efectivo	%Asfalto	%Asfalto Efectivo	%Asfalto	%Asfalto Efectivo
Cc								
Cu								
%Gravas								
%Arenas								
%Fino								
CA								
FAC								
FAf								

Tendencia lineal

Sin tendencia.
Comportamiento disperso

Fuente: Elaboración propia.

De las gráficas obtenidas empleando dispersión de puntos, no se encontró una relación en el comportamiento de las pendientes con alguno de los parámetros deducidos de la granulometría (Cu, Cc, %Gravas, %Arenas, %Finos y CA, FAC, FAf) para los diferentes tipos de mezcla, ya que no existe un comportamiento similar en las gráficas que coincidan para MDC-1 y MDC-2.

Por lo tanto se señala que las pendientes de los parámetros volumétricos, vacíos con aire (V_a) y vacíos llenos de asfalto (VFA), relacionadas con el %Asfalto (gr.) y %Asfalto efectivo (cm^3) se encuentran dentro de los rangos mostrados en el cuadro y, a partir de la muestra de mezclas con que se cuenta para este estudio, es posible definir la pendiente media común a todas ellas, pues dicho valor coincide con el comportamiento tipo de la mayoría de las pendientes.

Tabla 3-3. Pendientes promedio específicas y generales.

.MDC-1									
Pendiente	m_{V_a} (%Asf)	m_{V_a} (%asf Efec)	m_{VFA} (%Asf)	m_{VFA} (%asf Efec)		m_{V_a} (%Asf)	m_{V_a} (%asf Efec)	m_{VFA} (%Asf)	m_{VFA} (%asf Efec)
Máxima	-1,56	-0,64	16,91	7,8	Máxima	-1,20	-0,64	28,46	9,27
Mínima	-2,57	-1,22	9,68	4,51	Mínima	-4,49	-1,33	8,95	4,51
Promedio	-2,04	-0,94	13,41	6,13	Promedio	-2,55	0,96	15,05	6,39
MDC-2									
Máxima	-1,2	-0,68	28,46	9,27					
Mínima	-4,49	-1,33	8,95	5,02					
Promedio	-2,53	-0,98	16,48	6,65					

Fuente: Elaboración propia.

Los valores promedio obtenidos para las pendientes de V_a y VFA, pueden ser útiles si, por ejemplo, se conoce los parámetros volumétricos de una sola probeta, pues al tener éstos un comportamiento lineal es posible estimar cuál será el contenido óptimo de asfalto.

4 CONCLUSIONES

- El objetivo de determinar una pendiente para los parámetros volumétricos, vacíos con aire (V_a) y vacíos llenos de asfalto (VFA), se logró parcialmente pues se determinaron unos rangos de pendientes que pueden funcionar para la predicción del contenido óptimo de asfalto en las mezclas densas MDC-1 y MDC-2, pero sin establecer una relación intrínseca con la granulometría.
- Al analizar la información derivada de la granulometría, se encontraron algunas tendencias para cada diseño MDC-1 y MDC-2, pero no se identificó un patrón que vinculara a las mezclas densas en general.
- Las gráficas de los parámetros volumétricos, vacíos con aire (V_a) y vacíos llenos de asfalto (VFA) relacionadas con el contenido de asfalto (en función del peso), tuvieron un comportamiento lineal disperso, frente a unas gráficas de dichos parámetros relacionadas con el contenido de asfalto efectivo (en función del volumen), cuyo comportamiento fue definido, con un rango de pendientes menor y unas curvas lineales cercanas entre sí. Por lo que se concluye que el comportamiento de las mezclas asfálticas densas es más fiel si se analiza discriminando el asfalto que absorbe el agregado.
- Las pendientes obtenidas permiten estimar un rango de valor óptimo de contenido de asfalto; este dato hará que sea suficiente hacer los ensayos cerca a dicho punto, tanto por encima y como por debajo, disminuyendo el número de pruebas por diseño.

5 RECOMENDACIONES

- Se pueden relacionar parámetros como forma (lajas, alargadas, cúbicas, redondas), textura superficial de partícula (micro textura: suave, áspera) y la resistencia del agregado (débiles, duras) para hacer una predicción de parámetros volumétricos más fiel al comportamiento real.
- Su sugiere continuar con la investigación, ya que de lograrse realizar una predicción acertada, se contaría con una herramienta que facilitará el desarrollo de cualquier diseño de mezclas de este tipo, además de generar una disminución de gastos en el desarrollo de cualquier diseño.

6 BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA Edgar Alexis PEÑA Analisis comparativo del diseño de mezclas asfálticas MDC-2 con asfalto original y modificado con polímeros por los métodos Marshall y SUPERPAVE [Informe]. - Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2007 .

ANDRADE CARDOSO Angélica- ROJAS PARDO, Jenny Alejandra Diseño de mezcla asfáltica de matriz gruesa tipo "Stone Mastic Asphalt" para Bogotá [Libro]. - Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2005.

AURILIO Vince y William PINE Paul LUM The Bailey Method Achieving Volumetrics and HMA Compactibility [Informe].

CÁRDENAS CASTELLANOS Diego Fernando y HERNANDEZ AYALA Jorge Eliecer Evaluación de comportamiento de una mezcla asfáltica al ser elaborada por tres métodos diferentes [Libro]. - [s.l.] : Universidad Industrial de Santander, 2001.

Corporation Microsoft Biblioteca Encarta [En línea].

DIAZ CASTIBLANCO John Alexander y MELO ROJAS Edgar Rango de Rigidez Marshall de mezclas asfálticas correlacionado a valores obtenidos en diseño por fatiga [Libro]. - Bogotá : Universidad Nacional, 2004.

<http://www.asopac.com> [En línea].

<http://www.e-asphalt.com> [En línea].

ICONTEC Normas Técnicas Colombianas [Libro]. - Bogotá : [s.n.], 2002.

LÓPEZ RAMÍREZ David Variabilidad del módulo resiliente de una mezcla asfáltica MDC-2 dentro de la ventana de diseño propuesta por M. Witczak [Libro]. - Manizales : Universidad Nacional de Colombia, 2008.

ROMERO Emilio ARENAS y CORZO Andrés Julián SERRANO Analisis comparativo de propiedades de deformación en las mezclas MDC-2, MDC-3,M1 y Stone Matrix Asphalt [Informe]. - Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2006.

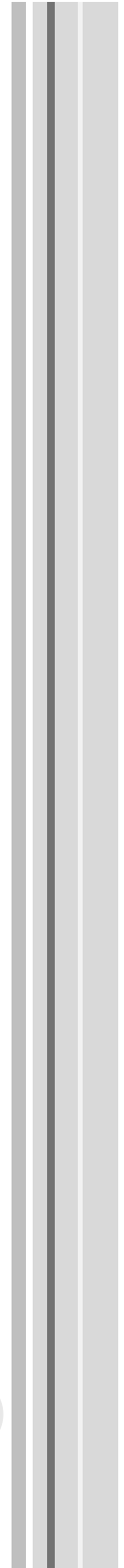
TRANSPORTE INSTITUTO MEXICANO DEL Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas // Publicación técnica No.246. - México : [s.n.], 2004.

TRANSPORTE INSTITUTO MEXICANO DEL Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros [Informe]. - México : [s.n.], 1990.

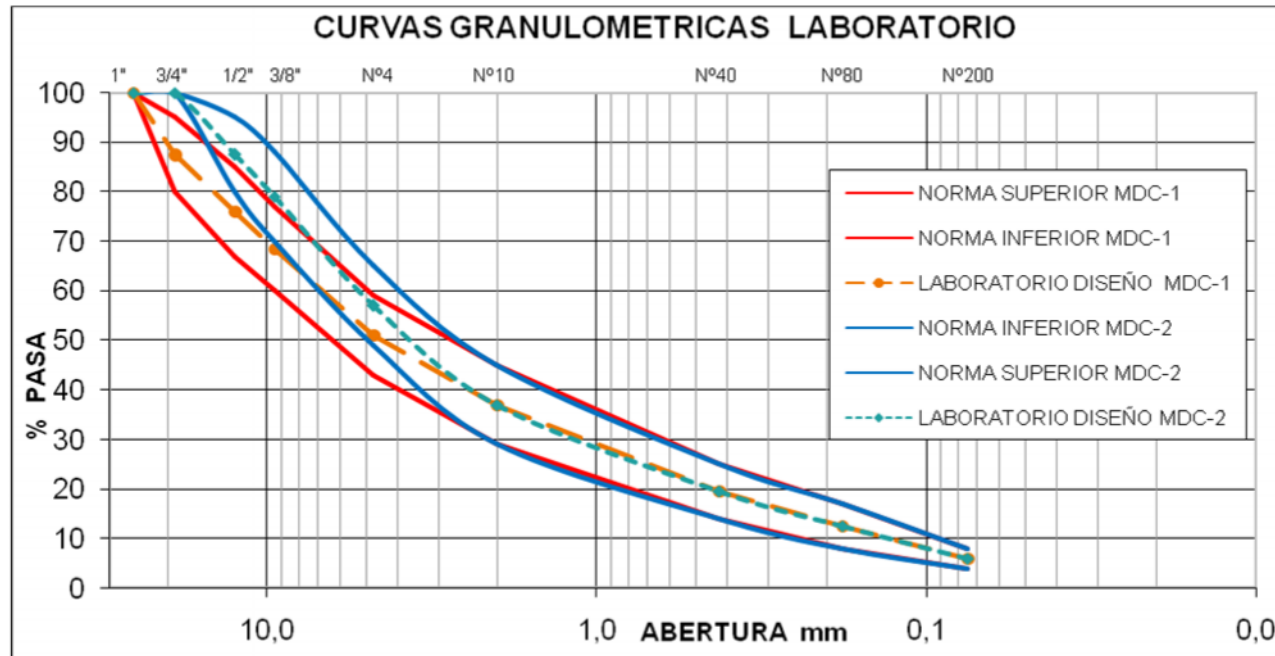
VIAS INSTITUTO NACIONAL DE Especificaciones Generales de Construcción para Carreteras. Normas para ensayos de Laboratorio INV E 400,450. ART 733, 735, 748. [Informe]. - 2007.

ANEXOS

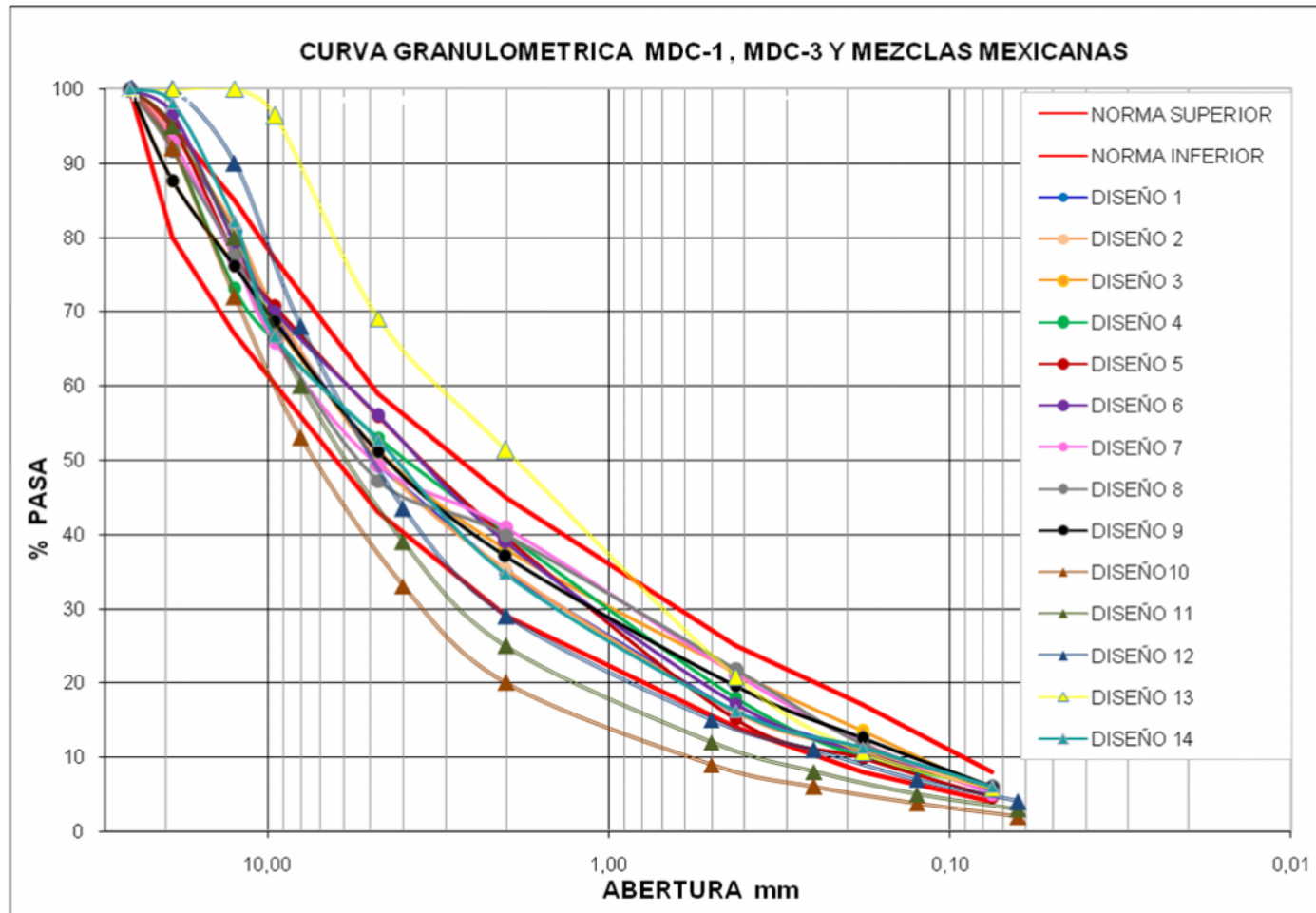
A. GRÁFICAS DE LAS GRANULOMETRÍAS



TAMIZ No.	mm	NORMA MDC-1		LABORATORIO DISEÑO MDC-1	NORMA MDC-2		LABORATORIO DISEÑO MDC-2
		MIN.	MAX.		MIN.	MAX.	
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	80,0	95,0	87,5	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	67,0	85,0	76,0	80,0	95,0	87,5
3/8"	9,5	60,0	77,0	68,5	70,0	88,0	79,0
Nº4	4,8	43,0	59,0	51,0	49,0	65,0	57,0
Nº10	2,0	29,0	45,0	37,0	29,0	45,0	37,0
Nº40	0,4	14,0	25,0	19,5	14,0	25,0	19,5
Nº80	0,2	8,0	17,0	12,5	8,0	17,0	12,5
Nº200	0,1	4,0	8,0	6,0	4,0	8,0	6,0



UIS Ingeniería Civil	GRANULOMETRÍAS DE MEZCLAS DE LABORATORIO	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: ENSAYOS DEL ESTUDIANTE	ANEXOS: A.1.



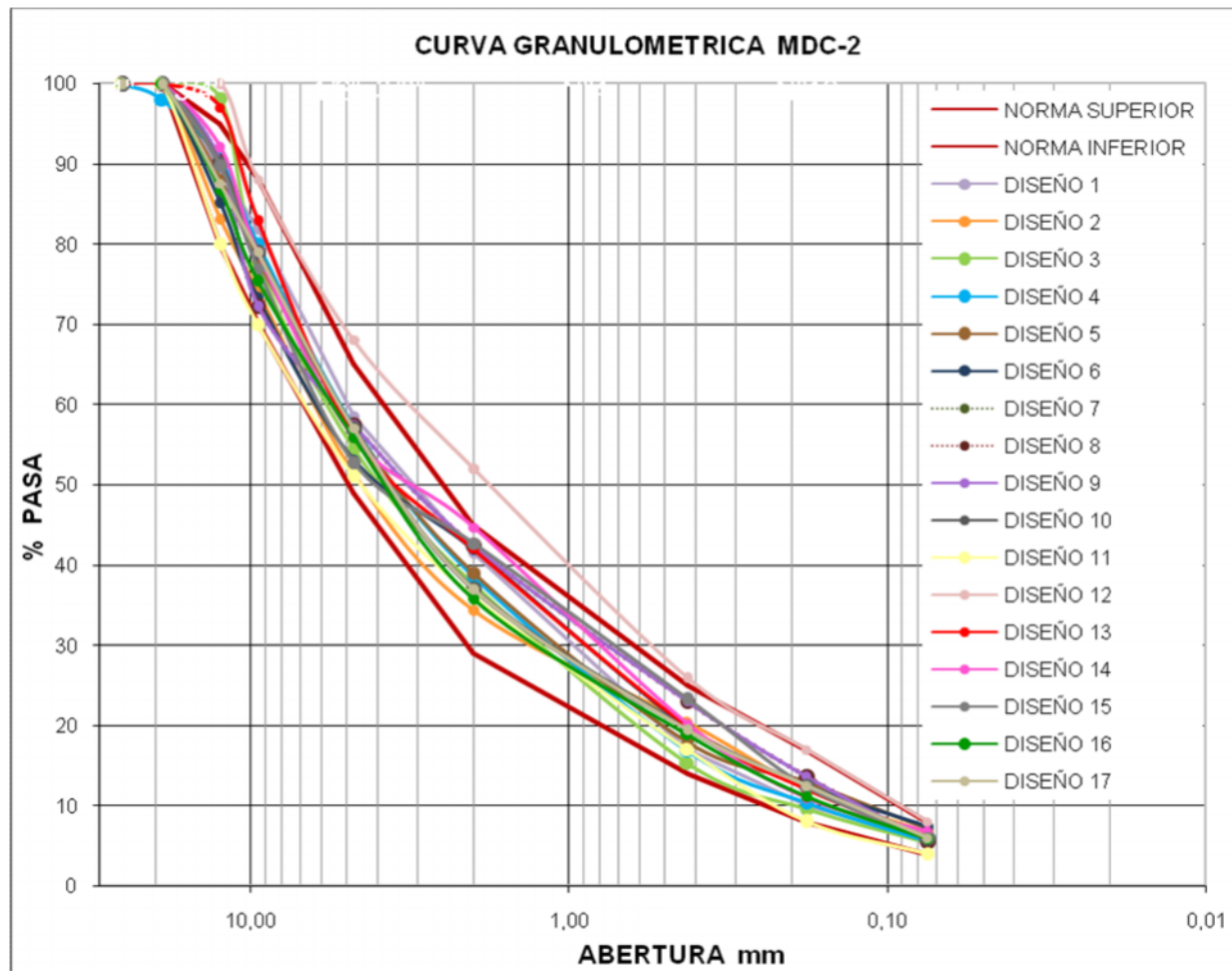
UIS Ingeniería Civil	GRANULOMETRÍAS DE MEZCLAS MDC-1	ARTÍCULO 450-07
	FUENTE: EMPRESAS, TRABAJOS DE GRADO ANTERIORES Y EL ESTUDIANTE.	ANEXOS: A.2.

COMBINACIÓN DE MATERIALES												
TAMIZ		NORMA MDC-1		% PASA								
				MDC-1								
No.	mm	MIN.	MAX.	DISEÑO 1	DISEÑO 2	DISEÑO 3	DISEÑO 4	DISEÑO 5	DISEÑO 6	DISEÑO 7	DISEÑO 8	DISEÑO 9
1"	25,40	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	80,0	95,0	94,33	93,86	87,50	92,00	94,84	96,62	92,90	91,70	87,50
1/2"	12,50	67,0	85,0	80,88	81,28	76,20	73,00	77,58	79,21	77,00	77,60	76,00
3/8"	9,50	60,0	77,0	69,47	70,22	68,30	66,00	70,57	70,02	65,80	66,70	68,50
N°4	4,75	43,0	59,0	49,29	49,87	51,20	53,00	55,78	55,94	49,30	47,20	51,00
N°10	2,00	29,0	45,0	34,80	35,21	38,00	40,00	39,60	38,92	40,90	39,90	37,00
N°40	0,43	14,0	25,0	15,81	15,98	21,50	18,00	15,02	17,16	21,10	21,80	19,50
N°80	0,18	8,0	17,0	10,72	10,85	13,40	10,00	9,86	10,55	11,80	11,70	12,50
N°200	0,08	4,0	8,0	5,37	5,17	5,30	6,00	4,62	5,71	5,10	6,00	6,00

Tamaño de tamiz	MEZCLAS MEXICANAS		
UNE (mm)	% PASA		
(mm)	DISEÑO 10	DISEÑO 11	DISEÑO 12
25	100	100	100
19	92	95	100
12,5	72	80	90
8	53	60	68
4	33	39	43,5
2	20	25	29
0,5	9	12	15
0,25	6	8	11
0,125	3,8	5	7
0,063	2	3	4

TAMIZ		MDC-3	MSC-2
		% PASA	
No.	mm	DISEÑO 13	DISEÑO 14
1"	25,4	100	100,00
3/4"	19	100	98,07
1/2"	12,5	100	82,08
3/8"	9,5	96,38	66,62
N°4	4,75	69,08	52,69
N°10	2	51,38	34,72
N°40	0,43	20,8	16,14
N°80	0,18	10,64	11,29
N°200	0,08	5,77	6,00

UIS Ingeniería Civil	GRANULOMETRÍAS DE MEZCLAS MDC-1	ARTÍCULO 450-07
	FUENTE: EMPRESAS, TRABAJOS DE GRADO ANTERIORES Y EL ESTUDIANTE.	ANEXOS: A.3.



UIS Ingeniería Civil	GRANULOMETRÍAS DE MEZCLAS MDC-2	ARTÍCULO 450-07
	FUENTE: EMPRESAS, TRABAJOS DE GRADO ANTERIORES Y EL ESTUDIANTE.	ANEXOS: A.4.

COMBINACIÓN DE MATERIALES											
TAMIZ		NORMA MDC-2		% PASA							
No.	mm	MIN.	MAX.	DISEÑO 1	DISEÑO 2	DISEÑO 3	DISEÑO 4	DISEÑO 5	DISEÑO 6	DISEÑO 7	DISEÑO 8
1"	25,40	100	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	100	100	100,00	100,00	100,00	97,99	100,00	100,00	99,95	99,95
1/2"	12,50	80	95	89,12	83,14	98,16	90,47	88,00	85,05	90,35	90,35
3/8"	9,50	70	88	81,84	74,17	77,75	80,02	78,00	73,35	72,29	72,29
N°4	4,75	49	65	58,52	51,38	54,51	57,21	57,00	53,12	57,47	57,47
N°10	2,00	29	45	41,40	34,34	37,58	38,59	39,00	41,86	42,42	42,42
N°40	0,43	14	25	16,95	20,45	15,37	16,80	18,00	19,79	22,98	22,98
N°80	0,18	8	17	10,12	12,04	9,58	10,30	13,00	12,58	13,67	13,67
N°200	0,08	4	8	5,90	6,71	5,44	5,55	7,10	7,39	5,63	5,63

COMBINACIÓN DE MATERIALES												
TAMIZ		NORMA MDC-2		% PASA								
No.	mm	MIN.	MAX.	DISEÑO 9	DISEÑO 10	DISEÑO 11	DISEÑO 12	DISEÑO 13	DISEÑO 14	DISEÑO 15	DISEÑO 16	DISEÑO 17
1"	25,40	100	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	100	100	99,95	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,50	80	95	90,35	90,00	80,00	100,00	97,00	92,10	89,80	86,70	87,50
3/8"	9,50	70	88	72,29	79,00	70,00	88,00	83,00	79,00	76,90	75,30	79,00
N°4	4,75	49	65	57,47	57,00	51,00	68,00	56,00	55,90	52,80	55,90	57,00
N°10	2,00	29	45	42,42	37,00	36,00	52,00	42,00	44,70	42,70	35,70	37,00
N°40	0,43	14	25	22,98	19,50	17,00	26,00	20,00	20,20	23,40	18,80	19,50
N°80	0,18	8	17	13,67	12,50	8,00	17,00	12,00	11,00	12,40	11,20	12,50
N°200	0,08	4	8	5,63	6,00	4,00	8,00	6,00	6,80	6,00	5,90	6,00

UIS Ingeniería Civil	GRANULOMETRÍAS DE MEZCLAS MDC-2	ARTÍCULO 450-07
	FUENTE: EMPRESAS, TRABAJOS DE GRADO ANTERIORES Y EL ESTUDIANTE.	ANEXOS: A.5.

B. PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1

DISEÑOS MDC-1 Y VARIAS



DISEÑO 1	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,0196
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,629
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 1
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 1 MDC-1																	
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos			
1	6,35		1199,30	687,80	1201,40	513,60	2,335										
2	6,32		1198,30	686,30	1199,80	513,50	2,334										
3	6,33		1197,60	683,00	1199,10	516,10	2,320										
PROMEDIO		4,5	1198,40			514,40	2,330	2,454	2,469	9,71	84,64	5,65	15,36	63,23	4,25	0,26	51,06
4	6,27		1193,20	687,30	1194,20	506,90	2,354										
5	6,39		1195,70	688,10	1196,70	508,60	2,351										
6	6,30		1188,30	687,40	1190,00	502,60	2,364										
PROMEDIO		5,0	1192,40			506,03	2,356	2,436	2,455	10,84	85,16	4,00	14,84	73,05	4,70	0,32	56,35
7	6,34		1198,30	695,00	1199,00	504,00	2,378										
***8	6,29		1200,50	687,10	1201,10	514,00	2,336										
9	6,30		1201,40	696,50	1202,30	505,80	2,375										
PROMEDIO		5,5	1199,85			504,90	2,376	2,419	2,441	11,94	85,43	2,63	14,57	81,94	5,13	0,39	61,54
10	6,34		1189,20	690,10	1189,80	499,70	2,380										
11	6,36		1192,70	695,30	1193,20	497,90	2,395										
12	6,28		1190,60	691,20	1191,00	499,80	2,382										
PROMEDIO		6,00	1190,83			499,13	2,386	2,401	2,430	12,86	85,32	1,82	14,68	87,58	5,50	0,53	66,05

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: B.1.

DISEÑO 2	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 – 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,013
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,629
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC – 1
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 2 MDC-1																	
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos			
1	6,25		1182,50	681,80	1189,50	507,70	2,329										
2	6,23		1183,70	682,80	1189,30	506,50	2,337										
3	6,21		1181,90	680,90	1190,70	509,80	2,318										
PROMEDIO		4,5	1182,70			508,00	2,328	2,453	2,473	9,54	84,59	5,87	15,41	61,92	4,16	0,36	49,89
4	6,19		1181,10	682,20	1185,30	503,10	2,348										
5	6,23		1182,40	679,40	1185,00	505,60	2,339										
6	6,21		1178,40	680,90	1183,80	502,90	2,343										
PROMEDIO		5,0	1180,63			503,87	2,343	2,434	2,456	10,83	84,59	4,58	15,32	70,07	4,64	0,37	55,73
7	6,17		1187,40	686,10	1188,70	502,60	2,363										
8	6,16		1184,30	684,30	1185,70	501,40	2,362										
***9	6,19		1186,00	683,20	1187,40	504,20	2,352										
PROMEDIO		5,5	1185,85			502,00	2,362	2,417	2,431	12,58	84,59	2,83	15,07	81,21	5,25	0,26	63,03
10	6,26		1182,40	684,20	1182,90	498,70	2,371										
11	6,24		1183,30	685,30	1183,40	498,10	2,376										
12	6,18		1181,50	681,20	1181,90	500,70	2,360										
PROMEDIO		6,0	1182,40			499,17	2,369	2,399	2,422	13,20	84,59	2,21	15,29	85,54	5,60	0,43	67,18

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: B.2.

DISEÑO 3	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,0174
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,487
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 1
MATERIAL DE CUNDINAMARCA	

DISEÑO 3 MDC-1																		
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos				
1	6,61		1172,50	638,70	1176,80	538,10	2,179											
2	6,58		1168,70	636,60	1172,80	536,20	2,180											
3	6,56		1165,60	633,70	1169,20	535,50	2,177											
PROMEDIO	4,50		1168,93			536,60	2,178	2,335	2,362	8,58	83,65	7,77	16,35	52,46	4,01	0,51	48,17	
4	6,68		1179,80	645,20	1182,40	537,20	2,196											
5	6,74		1182,40	644,70	1186,20	541,50	2,184											
6	6,65		1177,50	645,20	1181,40	536,20	2,196											
PROMEDIO	5,00		1179,90			538,30	2,192	2,319	2,348	9,62	83,73	6,65	16,27	59,15	4,48	0,55	53,73	
7	6,62		1181,00	651,00	1184,30	533,30	2,215											
8	6,66		1185,30	652,00	1188,10	536,10	2,211											
9	6,55		1175,10	648,00	1178,20	530,20	2,216											
PROMEDIO	5,50		1180,47			533,20	2,214	2,304	2,332	10,81	84,12	5,06	15,88	68,11	4,98	0,55	59,74	
10	6,68		1189,70	650,40	1192,40	542,00	2,195											
11	6,63		1184,70	648,70	1186,90	538,20	2,201											
12	6,65		1186,70	646,80	1189,40	542,60	2,187											
PROMEDIO	6,00		1187,03			540,93	2,194	2,289	2,309	12,10	82,94	4,96	17,06	70,91	5,61	0,41	67,38	
13	6,70		1191,40	645,50	1193,60	548,10	2,174											
14	6,58		1182,60	644,40	1184,60	540,20	2,189											
15	6,64		1187,70	643,70	1189,70	546,00	2,175											
PROMEDIO	6,50		1187,23			544,77	2,179	2,274	2,287	13,36	81,94	4,71	18,06	73,95	6,24	0,28	74,89	

UIS
Ingeniería
Civil

PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1

NORMA: INV E-733, E-735

FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA

ANEXOS: B.3.

DISEÑO 4	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,566
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 1
MATERIAL DE CUNDINAMARCA	

DISEÑO 4 MDC-1																		
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos				
1	6,12		1090,00	610,60	1096,00	485,40	2,246											
2	6,17		1099,00	615,90	1105,00	489,10	2,247											
3	6,23		1089,50	611,30	1096,90	485,60	2,244											
PROMEDIO	4,5		1092,83			486,70	2,245	2,400	2,410	9,60	83,57	6,83	16,43	58,43	4,32	0,19	51,85	
4	6,17		1083,30	609,00	1087,70	478,70	2,263											
5	6,23		1093,10	615,90	1098,60	482,70	2,265											
6	6,20		1097,80	617,00	1104,40	487,40	2,252											
PROMEDIO	5,0		1091,40			482,93	2,260	2,382	2,398	10,57	83,67	5,76	16,33	64,75	4,73	0,29	56,74	
7	6,07		1101,50	620,00	1104,80	484,80	2,272											
8	6,09		1107,60	623,00	1110,10	487,10	2,274											
9	6,13		1118,70	631,00	1122,40	491,40	2,277											
PROMEDIO	5,5		1109,27			487,77	2,274	2,366	2,380	11,80	83,75	4,45	16,25	72,63	5,24	0,27	62,92	
10	6,10		1110,70	626,20	1112,70	486,50	2,283											
11	5,98		1094,80	617,70	1096,80	479,10	2,285											
12	6,13		1099,20	622,00	1103,30	481,30	2,284											
PROMEDIO	6,0		1101,57			482,30	2,284	2,349	2,376	12,46	83,67	3,87	16,33	76,29	5,51	0,52	66,17	
13	6,13		1100,40	622,30	1102,30	480,00	2,293											
14	6,03		1097,40	620,20	1098,40	478,20	2,295											
15	6,03		1100,40	621,40	1101,30	479,90	2,293											
PROMEDIO	6,5		1099,40			479,37	2,293	2,332	2,360	13,61	83,57	2,82	16,43	82,84	6,00	0,54	71,99	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: B.4.

DISEÑO 5	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,616
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 1
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 5 MDC-1																	
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos			
1	—		1201,00	683,00	1205,00	522,00	2,301										
2	—		1203,00	683,00	1209,00	526,00	2,287										
3	—		1212,00	680,00	1216,00	536,00	2,261										
4	—		1200,00	680,00	1204,00	524,00	2,290										
PROMEDIO	4,5		1204,00			527,00	2,285	2,441	2,453	9,73	83,41	6,86	16,59	58,67	4,31	0,20	51,66
5	—		1193,00	678,00	1196,00	518,00	2,303										
6	—		1200,00	682,00	1204,00	522,00	2,299										
7	—		1219,00	698,00	1224,00	526,00	2,317										
8	—		1208,00	687,00	1212,00	525,00	2,301										
PROMEDIO	5,0		1205,00			522,75	2,305	2,423	2,443	10,65	83,71	5,64	16,29	65,37	4,67	0,35	56,03
9	—		1200,00	687,00	1205,00	518,00	2,317										
10	—		1206,00	684,00	1209,00	525,00	2,297										
11	—		1114,00	638,00	1119,00	481,00	2,316										
12	—		1203,00	691,00	1208,00	517,00	2,327										
PROMEDIO	5,5		1180,75			510,25	2,314	2,406	2,436	11,41	83,60	5,00	16,40	69,54	4,98	0,55	59,80
13	—		1260,00	720,00	1264,00	544,00	2,316										
14	—		1210,00	694,00	1215,00	521,00	2,322										
15	—		1199,00	685,00	1202,00	517,00	2,319										
16	—		1210,00	694,00	1214,00	520,00	2,327										
PROMEDIO	6,0		1219,75			525,50	2,321	2,388	2,423	12,38	83,41	4,21	16,59	74,63	5,39	0,64	64,74
17	—		1214,00	694,00	1218,00	524,00	2,317										
18	—		1206,00	692,00	1210,00	518,00	2,328										
19	—		1203,00	693,00	1208,00	515,00	2,336										
20	—		1200,00	690,00	1206,00	516,00	2,326										
PROMEDIO	6,5		1205,75			518,25	2,327	2,371	2,415	13,18	83,16	3,67	16,84	78,24	5,73	0,83	68,74

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: B.5.

DISEÑO 6																	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN												60 - 70					
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)												1,01					
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)												2,62					
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA												MDC - 1					
MATERIAL DE PESCADERO																	
DISEÑO 6 MDC-1																	
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos			
1	6,20		1149,20	661,50	1151,20	489,70	2,347										
2	6,06		1110,60	635,00	1113,50	478,50	2,321										
3	6,35		1153,20	663,10	1156,20	493,10	2,339										
4	6,11		1137,00	654,00	1138,20	484,20	2,348										
PROMEDIO		4,0	1137,50			486,38	2,339	2,463	2,496	8,01	85,68	6,30	14,32	55,97	3,47	0,56	41,60
5	6,34		1179,30	678,30	1180,70	502,40	2,347										
6	6,31		1153,30	665,70	1157,40	491,70	2,346										
7	6,28		1164,80	671,80	1167,40	495,60	2,350										
PROMEDIO		4,5	1165,80			496,57	2,348	2,445	2,474	9,33	85,57	5,10	14,43	64,64	4,02	0,50	48,22
8	6,34		1175,00	681,60	1177,20	495,60	2,371										
9	6,28		1175,70	679,30	1176,40	497,10	2,365										
10	6,22		1175,80	683,50	1176,70	493,20	2,384										
11	6,35		1185,90	687,40	1187,20	499,80	2,373										
12	6,27		1173,00	675,60	1174,00	498,40	2,354										
PROMEDIO		5,0	1177,08			496,82	2,369	2,427	2,435	11,40	85,90	2,70	14,10	80,85	4,86	0,15	58,34
13	5,73		1083,70	629,90	1084,30	454,40	2,385										
14	6,30		1184,40	689,40	1184,80	495,40	2,391										
15	6,24		1172,40	681,80	1173,90	492,10	2,382										
PROMEDIO		5,5	1146,83			480,63	2,386	2,409	2,429	12,18	86,05	1,77	13,95	87,32	5,16	0,36	61,91
16	6,26		1192,90	695,40	1193,10	497,70	2,397										
17	6,23		1190,10	695,10	1190,30	495,20	2,403										
18	6,37		1199,20	697,80	1200,00	502,20	2,388										
19	6,30		1194,10	696,00	1194,70	498,70	2,394										
PROMEDIO		6,0	1194,08			498,45	2,396	2,392	2,406	13,63	85,94	0,43	14,06	96,93	5,75	0,27	68,98
20	6,34		1198,80	693,20	1199,00	505,80	2,370										
21	6,35		1189,40	690,80	1190,30	499,50	2,381										
22	6,35		1198,90	697,60	1199,80	502,20	2,387										
23	6,34		1195,50	692,50	1196,20	503,70	2,373										
PROMEDIO		6,5	1195,65			502,80	2,378	2,374	2,398	14,31	84,85	0,83	15,15	94,49	6,08	0,45	72,99
UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1												NORMA: INV E-733, E-735				
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA												ANEXOS: B.6.				

DISEÑO 7
MDC-1 NORMALIZADO

METODO MARSHALL

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MDC-1 (INV-98)
PLANTA TUNJUELO

Fecha: Julio 04 de 2004

Realizó: RJB- FM

Revisó: CLY

Máxima tipo 15% - Máxima tipo II 16% - Máxima tipo III 26% - Grava 1/2" 33% - Grava común 15%

Tipo Especifico Agregado Grava					Tipo Especifico Agregado Grava					Tipo Especifico Agregado Grava					Grado Plantado en Tablas				
Mezcla No.	Abita %	Pasado tambo			Volumen cc.	Ponderaciones			Análisis Realizado	Volumen - (S) Total			Vacíos - %		Peso Unitario	Equilibrio		Flujo g/31"	
		75µ	150µ	300µ		Actual	Teórico	Residual		Agregado	Vacíos	Por Defecto	Vacíos Agregados	Defecto		Medida	Corregida		
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
1	4.0	1140.0	1190.2	601.5	518.7	2.215										2381	2391	9	
2	4.0	1151.1	1152.1	601.9	520.2	2.213										2381	2391	9	
3	4.0	1140.3	1141.4	626.6	514.8	2.213										2632	2632	9	
parado	4.0					2.214	2.389	2.305	0.182	94.3	7.5	6.2	15.7	3.8	136.2		2471	9	
4	4.5	1152.4	1130.8	604.1	519.5	2.218										2584	2584	10	
5	4.5	1139.7	1157.5	603.6	521.7	2.217										2590	2590	10	
6	4.5	1140.3	1190.2	602.2	518.0	2.219										2590	2590	10	
parado	4.5					2.218	2.367	2.376	0.173	94.0	6.6	9.4	16.0	4.3	136.4		2558	10	
7	5.0	1134.2	1135.0	604.9	520.1	2.219										2663	2663	11	
8	5.0	1150.5	1151.2	602.0	518.0	2.220										2697	2697	11	
9	5.0	1151.0	1151.9	603.8	518.1	2.222										2629	2629	11	
parado	5.0					2.220	2.351	2.362	0.216	93.6	6.0	10.4	16.4	4.9	135.5		2663	11	
10	5.5	1144.4	1145.2	601.0	514.2	2.220										2663	2663	12	
11	5.5	1146.8	1147.2	601.5	515.7	2.224										2595	2595	12	
12	5.5	1157.6	1159.1	603.6	522.3	2.216										2696	2696	12	
parado	5.5					2.225	2.335	2.346	0.217	93.3	5.3	11.5	16.7	5.3	135.6		2686	12	
13	6.0	1151.6	1132.0	606.8	515.2	2.206										2590	2590	13	
14	6.0	1150.8	1151.2	603.9	515.3	2.203										2632	2632	13	
15	6.0	1150.0	1150.4	640.2	519.2	2.202										2697	2697	12	
parado	6.0					2.204	2.319	2.332	0.254	93.3	4.2	12.5	16.7	5.9	135.4		2639	13	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD NACIONAL	ANEXOS: B.7.

**DISEÑO 8
MDC-1 MODIFICADO**

METODO MARSHALL

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MDC-1 / NV-2002

Fecha: ENERO 27 de 2008

Realizó: P.M.B - RQ

Revisó: O.L.J

Modulal Tipo 10% - Modulal Tipo II 10% - Modulal Tipo II 20% - Grava 1/2" 37% - Grava con un 10%

Peso Capas por Agregado / Capa					Peso Capas por Abalote / Capa					Grado Plastico en Abalote								
Abalote No.	Abalote %	Densidad aparente			Volumen cc.	Densidad Compactada			Abalote (kg/100 lb)	Volumen - (cc) Total			Vacíos - %		Disponibilidad Utilizada	Características		Espesor (cm)
		Grava	SS	Empalme		Actual	Teórica	Perdida		Agregado	Vacíos	Abalote	Vacíos Agregados	Abalote		Abalote	Cargada	
30	30	10	10	10	15	10	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
					160	160			100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100	100	100
1	4.0	1145.0	1147.8	825.0	822.0	2.190										3010	3010	9
2	4.0	1152.0	1150.9	829.1	824.8	2.196										3064	2961	9
3	4.0	1149.1	1150.0	826.5	823.5	2.190										3150	3027	9
Procedo	4.0					2.194	2.367	2.376	0.160	84.0	7.7	8.0	16.0	3.8	136.9		3100	9
4	4.5	1182.1	1180.2	835.1	828.1	2.201										3451	3310	10
5	4.5	1159.4	1160.9	834.2	828.7	2.201										3390	3258	10
6	4.5	1142.8	1143.5	828.5	814.9	2.219										3279	3279	10
Procedo	4.5					2.207	2.351	2.362	0.206	84.1	4.6	0.0	15.0	4.9	197.7		3289	10
7	5.0	1144.7	1145.8	829.1	818.5	2.216										3554	3554	12
8	5.0	1160.5	1161.5	834.9	828.6	2.204										3497	3337	11
9	5.0	1150.8	1150.9	834.2	818.7	2.227										3565	3565	11
Procedo	5.0					2.216	2.305	2.347	0.229	84.0	5.0	10.4	16.0	4.0	109.0		3492	11
10	5.5	1154.5	1155.0	835.8	819.7	2.221										3501	3501	12
11	5.5	1158.9	1157.4	837.2	820.2	2.224										3497	3497	11
12	5.5	1170.8	1171.0	842.5	828.5	2.215										3508	3388	12
Procedo	5.5					2.220	2.319	2.330	0.269	83.7	4.8	11.4	16.0	5.2	139.1		3465	12
13	6.0	1165.8	1166.2	844.0	821.0	2.234										3495	3495	13
14	6.0	1154.9	1155.8	837.9	817.8	2.230										3497	3497	13
15	6.0	1160.0	1160.8	839.2	825.8	2.219										3482	3324	12
Procedo	6.0					2.228	2.304	2.315	0.296	83.5	4.0	12.1	16.0	5.7	109.9		3435	13

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD NACIONAL	ANEXOS: B.8.

DISEÑO 9	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,02
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,63
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 1
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 9																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	6.214	4,5	1189,35	693,80	1191,15	497,35	2,391	2,459	2,483	9,65	86,68	3,67	13,32	72,45	4,12	0,40	49,47	
2	6.64	5,0	1188,50	694,80	1189,80	495,00	2,401	2,441	2,461	10,99	86,57	2,44	13,43	81,85	4,67	0,34	56,09	
3	6.04	5,5	1188,55	689,95	1189,00	499,05	2,382	2,424	2,456	11,57	85,42	3,01	14,58	79,34	4,96	0,57	59,55	
4	6.276	6,0	1181,55	684,85	1182,40	497,55	2,375	2,406	2,416	13,58	84,72	1,70	15,28	88,90	5,83	0,18	70,02	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: B.9.

DISEÑO 10 MEZCLA MEXICANA

CURVA INFERIOR.
ASFALTO 60/70
GRANULOMETRÍA DENSA 19mm.

Contenido de Asfalto %	# Probeta	Densidad media (gr/cm ³)	Estabilidad media corregida (KN)	Deformación media (mm)	Vacios en la Mezcla medio (%)	Vacios en el Agregado medio (%)
3,50%	11.1	2,36	13,08	2,37	7,02	14,75
	11.2					
	11.3					
4,00%	11.4	2,38	13,43	2,30	5,58	14,45
	11.5					
	11.6					
4,50%	11.7	2,39	12,83	2,27	4,35	14,36
	11.8					
	11.9					
5,00%	11.10	2,40	12,78	2,34	3,39	14,48
	11.11					
	11.12					
5,50%	11.13	2,41	13,10	2,44	2,07	14,29
	11.14					
	11.15					
6,00%	11.16	2,40	13,36	2,75	1,88	15,09
	11.17					
	11.18					

Composición Granulométrica para el Ensayo Marshall.
Curva inferior
Asfalto 60/70

Tamiz UNE	% Que Pasa	% Retenido	Peso por Tamiz (gr)	Peso Acumulado (gr)
25	100	0	0	0
20	92	8	86	86
12,5	72	20	220	308
8	53	19	209	517
4	33	20	220	737
2	20	13	143	880
0,5	9	11	121	1001
0,25	6	3	33	1034
0,125	3,8	2,2	24,2	1058
0,063	2	1,8	19,8	1078
Filler		2	22	1100
SUMA			1100	

Peso Total de Agregados por probeta (gr)	1100
--	------

Cantidad de Asfalto por Probeta.
Curva inferior
Asfalto 60/70

Contenido de Asfalto (%)	# Probeta	Contenido de Asfalto (gr)
3,5	11.1	38,5
	11.2	
	11.3	
4,0	11.4	44,0
	11.5	
	11.6	
4,5	11.7	49,5
	11.8	
	11.9	
5,0	11.10	55,0
	11.11	
	11.12	
5,5	11.13	60,5
	11.14	
	11.15	
6,0	11.16	66,0
	11.17	
	11.18	

Peso Total de Agregados por probeta (gr)	1100
--	------

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: DISEÑO MEXICANO (INTERNET)	ANEXOS: B.10.

DISEÑO 11 MEZCLA MEXICANA

CURVA MEDIA.
ASFALTO 60/70
GRANULOMETRÍA DENSA 19mm.

Contenido de Asfalto %	# Probeta	Densidad media (gr/cm ³)	Estabilidad media corregida (KN)	Deformación media (mm)	Vacios en la Mezcla medio (%)	Vacios en el Agregado medio (%)
3,50%	M1.1	2,36	13,36	1,99	6,92	14,67
	M1.2					
	M1.3					
3,75%	M1.4	2,38	14,34	1,90	5,86	14,20
	M1.5					
	M1.6					
4,50%	M1.7	2,40	14,92	1,91	4,12	14,13
	M1.8					
	M1.9					
5,00%	M1.10	2,42	14,54	2,19	2,58	13,76
	M1.11					
	M1.12					
5,50%	M1.13	2,42	13,66	2,35	1,65	13,92
	M1.14					
	M1.15					
6,00%	M1.16	2,42	12,29	2,43	1,38	14,65
	M1.17					
	M1.18					

Composición Granulométrica para el Ensayo Marshall.
Curva Media
Asfalto 60/70

Cantidad de Asfalto por Probeta.
Curva Media
Asfalto 60/70

Tamiz UNE	% Que Pasa	% Retenido	Peso por Tamiz (gr)	Peso Acumulado (gr)
25	100	0	0	0
20	95	5	55	55
12,5	80	15	165	220
8	60	20	220	440
4	39	21	231	671
2	25	14	154	825
0,5	12	13	143	968
0,25	8	4	44	1012
0,125	5	3	33	1045
0,063	3	2	22	1067
Filler		3	33	1100
SUMA			1100	

Peso Total de Agregados por probeta (gr)	1100
--	------

Contenido de Asfalto (%)	# Probeta	Contenido de Asfalto (gr)
3,5	M1.1	38,5
	M1.2	
	M1.3	
3,75	M1.4	41,25
	M1.5	
	M1.6	
4,5	M1.7	49,5
	M1.8	
	M1.9	
5,0	M1.10	55,0
	M1.11	
	M1.12	
5,5	M1.13	60,5
	M1.14	
	M1.15	
6,0	M1.16	66,0
	M1.17	
	M1.18	

Peso Total de Agregados por probeta (gr)	1100
--	------

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: DISEÑO MEXICANO (INTERNET)	ANEXOS: B.11.

DISEÑO 12 MEZCLA MEXICANA

CURVA SUPERIOR.
 ASFALTO 60/70
 GRANULOMETRÍA DENSA 19mm.

Contenido de Asfalto %	# Probeta	Densidad media (gr/cm ³)	Estabilidad media corregida (KN)	Deformación media (mm)	Vacios en la Mezcla medio (%)	Vacios en el Agregado medio (%)
3,50%	S1.1	2,37	16,33	2,16	6,31	14,11
	S1.2					
	S1.3					
4,00%	S1.4	2,39	16,09	2,07	4,92	13,85
	S1.5					
	S1.6					
4,50%	S1.7	2,41	15,63	2,26	3,52	13,60
	S1.8					
	S1.9					
5,00%	S1.10	2,44	15,74	2,38	1,87	13,13
	S1.11					
	S1.12					
5,50%	S1.13	2,43	15,40	2,84	1,32	13,64
	S1.14					
	S1.15					
6,00%	S1.16	2,43	13,83	2,86	0,86	14,21
	S1.17					
	S1.18					

mm	mm	mm	mm	mm
20	100	0	0	0
12,5	90	10	110	110
8	68	22	242	352
4	43,5	24,5	269,5	621,5
2	29	14,5	159,5	781
0,5	15	14,0	154	935
0,25	11	4	44	979
0,125	7	4	44	1023
0,063	4	3	33	1056
Filler		4	44	1100
		SUMA	1100	

Peso Total de Agregados por probeta (gr)	1100
--	------

3,5	S1.1	36,5
	S1.2	
	S1.3	
4,0	S1.4	44,0
	S1.5	
	S1.6	
4,5	S1.7	49,5
	S1.8	
	S1.9	
5,0	S1.10	55,0
	S1.11	
	S1.12	
5,5	S1.13	60,5
	S1.14	
	S1.15	
6,0	S1.16	66,0
	S1.17	
	S1.18	

Peso Total de Agregados por probeta (gr)	1100
--	------

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: DISEÑO MEXICANO (INTERNET)	ANEXOS: B.12.

DISEÑO 13	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	60 - 70
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (gr./cm ³)	1,02
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS (gr./cm ³)	2,63
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC -3
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 13 MDC-3																		
Probeta No.	Espesor (cm.)	% de Asfalto	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agrega. Mineral	Llenos				
1	6,49		1198,30	674,20	1199,40	525,20	2,282											
2	6,45		1196,40	673,20	1197,30	524,10	2,283											
3	6,47		1197,30	675,40	1198,90	523,50	2,287											
PROMEDIO		4,5	1197,33			524,27	2,284	2,459	2,462	9,98	82,78	7,24	17,22	57,95	4,46	0,05	53,47	
4	6,47		1193,30	680,90	1194,40	513,50	2,324											
5	6,49		1195,40	681,10	1196,60	515,50	2,319											
6	6,49		1196,30	682,10	1197,00	514,90	2,323											
PROMEDIO		5,0	1195,00			514,63	2,322	2,441	2,445	11,24	83,72	5,04	16,28	69,05	4,94	0,07	59,23	
7	6,38		1192,40	684,20	1193,00	508,80	2,344											
8	6,36		1194,20	684,30	1195,50	511,20	2,336											
9	6,37		1193,60	683,00	1194,50	511,50	2,334											
PROMEDIO		5,5	1193,40			510,50	2,338	2,424	2,429	12,38	83,85	3,77	16,15	76,65	5,40	0,10	64,83	
10	6,41		1198,30	688,70	1199,00	510,30	2,348											
11	6,40		1197,30	686,90	1198,10	511,20	2,342											
12	6,37		1196,30	685,90	1197,20	511,30	2,340											
PROMEDIO		6,0	1197,30			510,93	2,343	2,406	2,414	13,45	83,60	2,95	16,40	82,03	5,86	0,15	70,26	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: B.13.

DISEÑO 14	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,63
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MSC - 2
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 14 MSC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1			1110,40	624,30	1114,50	490,20	2,265											
2			1108,50	624,80	1118,40	493,60	2,246											
3			1110,10	623,90	1115,20	491,30	2,260											
PROMEDIO		4,0	1109,67			491,70	2,257	2,471	2,497	7,99	82,38	9,63	17,62	45,34	3,56	0,45	42,77	
4			1117,80	627,90	1126,40	498,50	2,242											
5			1118,50	628,90	1124,20	495,30	2,258											
6			1121,10	629,60	1129,20	499,60	2,244											
PROMEDIO		4,5	1119,13			497,80	2,248	2,452	2,483	8,93	81,63	9,44	18,37	48,61	4,00	0,53	47,97	
7			1132,20	638,60	1134,60	496,00	2,283											
8			1130,40	636,60	1137,20	500,60	2,258											
9			1129,20	639,40	1132,90	493,50	2,288											
PROMEDIO		5,0	1130,70			494,75	2,285	2,434	2,461	10,31	82,55	7,14	17,45	59,11	4,54	0,48	54,51	
10			1146,70	650,60	1149,90	499,30	2,297											
11			1144,60	648,70	1146,50	497,80	2,299											
12			1143,70	647,20	1147,20	500,00	2,287											
PROMEDIO		5,5	1145,00			499,03	2,294	2,416	2,456	11,00	82,44	6,56	17,56	62,62	4,83	0,71	57,90	
13			1159,10	660,30	1160,70	500,40	2,316											
14			1157,70	656,00	1159,20	503,20	2,301											
15			1154,40	657,90	1155,80	497,90	2,319											
PROMEDIO		6,0	1157,07			500,50	2,312	2,398	2,416	13,07	82,63	4,30	17,37	75,26	5,69	0,33	68,29	
16			1167,90	656,80	1170,20	513,40	2,275											
17			1164,60	657,90	1165,40	507,50	2,295											
18			1165,70	651,50	1167,70	516,20	2,258											
PROMEDIO		6,5	1166,07			512,37	2,276	2,380	2,403	13,81	80,91	5,28	19,09	72,36	6,11	0,42	73,30	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 1	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: B.14.

	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacíos con Aire (Va)	% Vacíos Agreg. Mineral (VAM)	% Vacíos Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL (gr.)	Volumen Asfalto Total (cm3)	Gse Gravedad específica efectiva agregado	Volumen agregado (cm3)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto efectivo (cm3)	Volumen total mezcla Vmb (cm3)	%Asfalto efectivo (cm3)	
																		MDC-1
	DISEÑO 1	4,5	5,65	15,36	63,23	4,25	0,26	53,93	1144,47	52,89	2,65	432,46	435,40	2,94	49,95	514,40	9,71	
		5,0	4,00	14,84	73,05	4,70	0,32	59,62	1132,78	58,47	2,65	427,32	430,95	3,63	54,84	506,03	10,84	
		5,5	2,63	14,57	81,94	5,13	0,39	65,99	1133,86	64,72	2,66	426,90	431,36	4,46	60,26	504,90	11,94	
		6,0	1,82	14,68	87,58	5,50	0,53	71,45	1119,38	70,08	2,67	419,95	425,85	5,90	64,17	499,13	12,86	
	DISEÑO 2	4,5	5,87	15,41	61,92	4,16	0,36	53,22	1129,48	52,54	2,65	425,64	429,69	4,06	48,48	508,00	9,54	
		5,0	4,58	15,32	70,07	4,64	0,37	59,03	1121,60	58,27	2,65	422,49	426,70	4,21	54,07	503,87	10,73	
		5,5	2,83	15,07	81,21	5,25	0,26	65,22	1120,63	64,38	2,65	423,39	426,33	2,93	61,45	502,00	12,24	
		6,0	2,21	15,29	85,54	5,60	0,43	70,94	1111,46	70,03	2,66	418,09	422,84	4,75	65,29	499,16	13,08	
	DISEÑO 3	4,5	7,77	16,35	52,46	4,01	0,51	52,60	1116,33	51,70	2,52	443,19	448,87	5,68	46,02	536,60	8,58	
		5,0	6,65	16,27	59,15	4,48	0,55	59,00	1120,91	57,99	2,52	444,53	450,71	6,18	51,81	538,29	9,62	
		5,5	5,06	15,88	68,11	4,98	0,55	64,93	1115,54	63,82	2,52	442,39	448,55	6,16	57,65	533,20	10,81	
		6,0	4,96	17,06	70,91	5,61	0,41	71,22	1115,81	70,00	2,51	444,09	448,66	4,57	65,43	540,93	12,10	
		6,5	4,71	18,06	73,95	6,24	0,28	77,17	1110,06	75,85	2,50	443,27	446,35	3,07	72,78	544,76	13,36	
	DISEÑO 4	4,5	6,83	16,43	58,43	4,32	0,19	49,18	1043,66	48,69	2,58	404,77	406,72	1,96	46,73	486,70	9,60	
		5,0	5,76	16,33	64,75	4,73	0,29	54,57	1036,83	54,03	2,58	401,10	404,06	2,97	51,06	482,93	10,57	
		5,5	4,45	16,25	72,63	5,24	0,27	61,01	1048,26	60,41	2,58	405,67	408,52	2,85	57,56	487,77	11,80	
		6,0	3,87	16,33	76,29	5,51	0,52	66,09	1035,47	65,44	2,60	398,18	403,54	5,35	60,09	482,30	12,46	
		6,5	2,82	16,43	82,84	6,00	0,54	71,46	1027,94	70,75	2,60	395,09	400,60	5,51	65,25	479,37	13,61	
	UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-1 Y VARIAS*														NORMA: INV E-733, E-735		
		COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS														ANEXOS: B.15.		

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-1 Y VARIAS*																NORMA: INV E-733, E-735	
	COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS																ANEXOS: B.16.	
MDC-1	DISEÑO 5	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacíos con Aire (Va)	% Vacíos Agregados Minerales (VAM)	% Vacíos Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL (gr.)	Volumen Asfalto Total (cm3)	Gse Gravedad específica efectiva agregado	Volumen agregado (cm3)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto efectivo (cm3)	Volumen total mezcla Vmb (cm3)	%Asfalto efectivo (cm3)
		4,5	6,86	16,59	58,67	4,31	0,20	54,18	1149,82	53,64	2,63	437,19	439,53	2,34	51,30	526,97	9,73	
		5,0	5,64	16,29	65,37	4,67	0,35	60,25	1144,75	59,65	2,64	433,61	437,60	3,99	55,66	522,75	10,65	
		5,5	5,00	16,40	69,54	4,98	0,55	64,94	1115,81	64,30	2,65	420,43	426,53	6,10	58,20	510,23	11,41	
		6,0	4,21	16,59	74,63	5,39	0,64	73,19	1146,57	72,46	2,66	430,91	438,29	7,38	65,08	525,49	12,38	
	6,5	3,67	16,84	78,24	5,73	0,83	78,37	1127,38	77,60	2,67	421,65	430,95	9,31	68,29	518,24	13,18		
	DISEÑO 6	4,0	6,30	14,32	55,97	3,47	0,56	45,50	1092,00	45,05	2,66	410,68	416,75	6,07	38,98	486,39	8,01	
		4,5	5,10	14,43	64,64	4,02	0,50	52,46	1113,34	51,94	2,66	419,28	424,89	5,61	46,33	496,57	9,33	
		5,0	2,70	14,10	80,85	4,86	0,15	58,85	1118,23	58,27	2,63	425,13	426,76	1,63	56,65	496,81	11,40	
		5,5	1,77	13,95	87,32	5,16	0,36	63,08	1083,76	62,45	2,65	409,69	413,60	3,91	58,54	480,64	12,18	
		6,0	0,43	14,06	96,93	5,75	0,27	71,64	1122,43	70,94	2,64	425,36	428,36	3,00	67,93	498,44	13,63	
	6,5	0,83	15,15	94,49	6,08	0,45	77,72	1117,93	76,95	2,65	421,66	426,64	4,99	71,96	502,80	14,31		
	DISEÑO 7	4,0	8,07	16,26	50,39	3,80	0,21	45,87	1100,93	44,97	2,54	434,26	436,53	2,27	42,70	521,27	8,19	
		4,5	6,41	16,11	60,23	4,47	0,03	51,78	1098,92	50,77	2,52	435,38	435,73	0,36	50,41	519,43	9,70	
		5,0	5,57	16,38	65,97	4,96	0,04	57,64	1095,07	56,50	2,52	433,80	434,20	0,41	56,10	519,23	10,80	
		5,5	5,13	16,82	69,50	5,37	0,13	63,20	1085,93	61,96	2,53	429,12	430,58	1,46	60,50	517,63	11,69	
		6,0	4,29	16,88	74,58	5,76	0,25	69,21	1084,32	67,85	2,54	427,22	429,94	2,72	65,13	517,28	12,59	
	DISEÑO 8	4,0	7,31	16,02	54,37	4,01	-0,01	45,84	1100,06	45,38	2,51	438,73	438,62	-0,11	45,49	522,29	8,71	
		4,5	6,56	15,96	58,89	4,30	0,21	51,05	1083,45	50,55	2,52	429,77	432,00	2,23	48,32	514,05	9,40	
		5,0	5,58	16,06	65,25	4,78	0,23	57,60	1094,33	57,03	2,52	433,78	436,34	2,55	54,47	519,82	10,48	
5,5		4,84	16,35	70,38	5,24	0,28	63,83	1096,64	63,19	2,53	434,22	437,26	3,04	60,16	522,73	11,51		
6,0		3,89	16,57	76,55	5,76	0,26	69,60	1090,37	68,91	2,52	431,94	434,76	2,82	66,09	521,10	12,68		

	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacíos con Aire (Va)	% Vacíos Agrega. Mineral (VAM)	% Vacíos Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL(gr.)	Volumen Asfalto Total (cm3)	Gse Gravedad específica efectiva agregado	Volumen agregado(cm3)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto efectivo (cm3)	Volumen total mezcla Vmb (cm3)	%Asfalto efectivo (cm3)
MDC-1	DISEÑO 9	4,5	3,67	13,32	72,45	4,12	0,40	53,52	1135,83	52,49	2,66	426,60	431,09	4,49	48,00	497,35	9,65
		5,0	2,44	13,43	81,85	4,67	0,34	59,43	1129,08	58,28	2,66	424,65	428,53	3,88	54,41	495,00	10,99
		5,5	3,01	14,58	79,34	4,96	0,57	65,37	1123,18	64,11	2,67	419,90	426,29	6,39	57,73	499,05	11,57
		6,0	1,70	15,28	88,90	5,83	0,18	70,89	1110,66	69,53	2,65	419,58	421,54	1,95	67,58	497,55	13,58
MEZCLAS INETRNET	DISEÑO 10	3,5	7,02	14,70	52,26	3,27	0,24	39,85	1098,65	39,73	2,69	408,82	411,48	2,66	37,07	482,42	7,68
		4,0	5,58	14,43	61,32	3,73	0,28	45,76	1098,24	45,62	2,69	408,23	411,33	3,10	42,52	480,67	8,85
		4,5	4,35	14,51	70,03	4,27	0,24	51,73	1097,77	51,57	2,69	408,47	411,15	2,68	48,89	480,96	10,16
		5,0	3,39	14,61	76,79	4,69	0,33	57,75	1097,25	57,58	2,69	407,36	410,96	3,60	53,98	481,25	11,22
		5,5	2,07	14,70	85,92	5,26	0,26	63,83	1096,67	63,64	2,69	407,93	410,74	2,81	60,83	481,54	12,63
		6,0	1,88	15,51	87,88	5,70	0,32	69,96	1096,04	69,75	2,69	406,95	410,50	3,55	66,20	485,83	13,63
	DISEÑO 11	3,5	6,92	14,70	52,94	3,31	0,20	39,85	1098,65	39,73	2,68	409,30	411,48	2,18	37,55	482,42	7,78
		4,0	5,86	14,43	59,38	3,61	0,40	45,65	1095,60	45,51	2,70	405,90	410,34	4,43	41,08	479,52	8,57
		4,5	4,12	14,16	70,90	4,20	0,32	51,73	1097,77	51,57	2,69	407,65	411,15	3,50	48,07	478,96	10,04
		5,0	2,58	13,90	81,43	4,69	0,33	57,75	1097,25	57,58	2,69	407,38	410,96	3,57	54,00	477,27	11,32
		5,5	1,65	14,35	88,50	5,26	0,25	63,83	1096,67	63,64	2,69	408,00	410,74	2,74	60,89	479,55	12,70
		6,0	1,38	14,80	90,68	5,56	0,46	69,96	1096,04	69,75	2,70	405,42	410,50	5,08	64,67	481,82	13,42
UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-1 Y VARIAS*														NORMA: INV E-733, E-735		
	COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS														ANEXOS: B.17.		

	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacios con Aire (Va)	%Vacios Agrega. Mineral (VAM)	%Vacios Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL(gr.)	Volumen Asfalto Total (cm3)	Gse Gravedad especifica efectiva agregado	Volumen agregado(cm3)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto absorbido (cm3)	Volumen Asfalto efectivo (cm3)	Volumen total mezcla Vmb (cm3)	%Asfalto efectivo (cm3)
INTERNET	DISEÑO 12	3,5	6,31	14,34	56,01	3,40	0,10	39,85	1098,65	39,73	2,68	410,34	411,48	1,14	38,59	480,38	8,03
		4,0	4,92	14,07	65,03	3,84	0,17	45,76	1098,24	45,62	2,68	409,49	411,33	1,84	43,79	478,66	9,15
		4,5	3,52	13,80	74,49	4,28	0,23	51,73	1097,77	51,57	2,69	408,61	411,15	2,54	49,03	476,97	10,28
		5,0	1,87	13,18	85,82	4,65	0,37	57,75	1097,25	57,58	2,70	406,93	410,96	4,02	53,55	473,36	11,31
		5,5	1,32	13,99	90,57	5,23	0,28	63,83	1096,67	63,64	2,69	407,63	410,74	3,11	60,53	477,57	12,67
		6,0	0,86	14,45	94,05	5,61	0,41	69,96	1096,04	69,75	2,70	405,96	410,50	4,54	65,21	479,84	13,59
MDC-3	DISEÑO 13	4,5	7,24	17,22	57,95	4,46	0,05	53,88	1143,45	52,84	2,64	433,46	433,98	0,53	52,32	524,27	9,98
		5,0	5,04	16,28	69,05	4,94	0,07	59,75	1135,25	58,60	2,64	430,10	430,87	0,77	57,84	514,63	11,24
		5,5	3,77	16,15	76,65	5,40	0,10	65,64	1127,76	64,38	2,64	426,86	428,03	1,17	63,21	510,50	12,38
		6,0	2,95	16,40	82,03	5,86	0,15	71,84	1125,46	70,46	2,65	425,42	427,15	1,73	68,72	510,93	13,45
MSC-2	DISEÑO 14	4,0	9,63	17,62	45,34	3,56	0,45	44,39	1065,28	44,12	2,66	400,21	405,04	4,83	39,29	491,69	7,99
		4,5	9,44	18,37	48,61	4,00	0,53	50,36	1068,77	50,06	2,67	400,75	406,37	5,62	44,44	497,79	8,93
		5,0	7,51	17,78	57,78	4,54	0,48	56,54	1074,17	56,20	2,66	403,25	408,42	5,17	51,03	496,73	10,27
		5,5	6,56	17,56	62,62	4,83	0,71	62,98	1082,03	62,60	2,68	403,68	411,41	7,72	54,87	499,03	11,00
		6,0	4,30	17,37	75,26	5,69	0,33	69,42	1087,64	69,01	2,65	409,97	413,54	3,57	65,44	500,49	13,07
		6,5	5,28	19,09	72,36	6,11	0,42	75,79	1090,27	75,34	2,66	409,97	414,54	4,57	70,77	512,34	13,81

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-1 Y VARIAS*	NORMA: INV E-733, E-735
	COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS	ANEXOS: B.17.

C. PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2

DISEÑOS MDC-2



DISEÑO 1	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,64
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 1 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	6,26		1184,00	679,30	1185,90	506,60	2,337										
2	6,28		1190,00	681,20	1192,10	510,90	2,329										
3	6,24		1183,40	679,30	1185,50	506,20	2,338										
PROMEDIO		4,5	1185,80			507,90	2,335	2,458	2,463	10,21	84,59	5,21	15,41	66,21	4,41	0,09	52,94
4	6,24		1183,50	680,00	1184,50	504,50	2,346										
5	6,30		1195,30	688,00	1196,10	508,10	2,352										
6	6,27		1193,20	686,50	1194,60	508,10	2,348										
PROMEDIO		5,0	1190,67			506,90	2,349	2,439	2,459	10,87	84,65	4,48	15,35	70,83	4,67	0,35	56,06
7	6,15		1182,00	682,10	1182,30	500,20	2,363										
8	6,21		1185,60	685,40	1187,20	501,80	2,363										
9	6,18		1190,10	687,00	1191,70	504,70	2,358										
PROMEDIO		5,5	1185,90			502,23	2,361	2,421	2,445	11,92	84,65	3,42	15,35	77,69	5,10	0,42	61,19
10	6,32		1198,00	692,20	1198,30	506,10	2,367										
11	6,35		1197,20	692,10	1198,10	506,00	2,366										
12	6,27		1189,30	690,10	1190,00	499,90	2,379										
PROMEDIO		6,0	1194,83			504,00	2,371	2,403	2,432	12,94	84,54	2,52	15,46	83,70	5,51	0,52	66,14

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.1.

DISEÑO 2	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,03
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,61
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 2 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	6,28		1169,90	675,10	1174,30	499,20	2,344											
2	6,24		1167,30	673,40	1170,60	497,20	2,348											
3	6,24		1170,30	675,40	1172,70	497,30	2,353											
PROMEDIO	4,5		1169,17			497,90	2,348	2,442	2,510	7,68	85,87	6,45	14,13	54,38	3,39	1,16	40,69	
4	6,22		1173,20	681,50	1175,70	494,20	2,374											
5	6,21		1173,10	681,30	1174,80	493,50	2,377											
6	6,16		1170,70	681,00	1171,20	490,20	2,388											
PROMEDIO	5,0		1172,33			492,63	2,380	2,425	2,486	9,16	86,57	4,27	13,43	68,18	3,98	1,07	47,76	
7	6,31		1178,40	681,50	1180,20	498,70	2,363											
8	6,28		1175,40	678,00	1176,80	498,80	2,356											
9	6,33		1171,50	674,40	1174,00	499,60	2,345											
PROMEDIO	5,5		1175,10			499,03	2,355	2,407	2,453	10,79	85,21	4,00	14,79	72,93	4,73	0,82	56,71	
10	6,53		1184,80	676,30	1191,10	514,80	2,301											
11	6,40		1185,20	680,50	1186,90	506,40	2,340											
12	6,39		1183,30	679,90	1185,50	505,60	2,340											
PROMEDIO	6,0		1184,25			506,00	2,340	2,390	2,438	11,76	84,24	4,00	15,76	74,60	5,18	0,87	62,17	
13	6,24		1194,60	696,70	1195,00	498,30	2,397											
14	6,26		1189,40	691,90	1189,70	497,80	2,389											
15	6,26		1189,80	693,80	1190,70	496,90	2,394											
PROMEDIO	6,5		1191,27			497,67	2,394	2,374	2,422	13,13	85,70	1,17	14,30	91,83	5,66	0,90	67,88	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.2.

DISEÑO 3	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,61
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 3 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	6,43		1152,10	658,20	1163,40	505,20	2,280											
2	6,44		1153,90	656,10	1160,80	504,70	2,286											
3	6,45		1156,00	659,70	1163,90	504,20	2,293											
PROMEDIO		4,0	1154,00			504,70	2,287	2,458	2,513	7,04	83,94	9,01	16,06	43,87	3,10	0,93	37,26	
4	6,37		1163,70	664,00	1167,40	503,40	2,312											
5	6,41		1156,50	659,40	1162,80	503,40	2,297											
6	6,29		1143,40	652,30	1149,00	496,70	2,302											
PROMEDIO		4,5	1154,53			501,17	2,304	2,439	2,488	8,46	84,13	7,41	15,87	53,31	3,70	0,84	44,39	
7	6,41		1174,80	672,70	1180,90	508,20	2,312											
8	6,46		1174,30	672,00	1179,70	507,70	2,313											
9	6,42		1173,70	673,30	1177,90	504,60	2,326											
PROMEDIO		5,0	1174,27			506,83	2,317	2,421	2,469	9,68	84,17	6,15	15,83	61,17	4,21	0,83	50,51	
10	6,41		1189,70	685,00	1191,60	506,60	2,348											
11	6,39		1188,80	674,30	1190,20	515,90	2,304											
12	6,41		1186,60	684,50	1189,10	504,60	2,352											
PROMEDIO		5,5	1188,15			505,60	2,350	2,404	2,447	11,10	84,92	3,97	15,08	73,65	4,76	0,79	57,09	
13	6,44		1196,50	690,30	1197,00	506,70	2,361											
14	6,36		1185,60	684,30	1187,00	502,70	2,358											
15	6,38		1196,40	690,20	1197,20	507,00	2,360											
PROMEDIO		6,0	1192,83			505,47	2,360	2,386	2,439	11,92	84,83	3,24	15,17	78,61	5,09	0,97	61,07	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.3.

DISEÑO 4	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,62
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 4 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	6,35		1151,00	654,00	1154,30	500,30	2,301											
2	6,39		1150,00	652,30	1153,40	501,10	2,295											
3	6,26		1148,70	655,70	1152,00	496,30	2,315											
4	6,42		1156,80	659,80	1161,70	501,90	2,305											
PROMEDIO	4,0		1151,63			499,90	2,304	2,462	2,496	7,89	84,41	7,70	15,59	50,59	3,45	0,58	41,36	
5	6,34		1162,80	668,00	1166,70	498,70	2,332											
6	6,32		1164,30	669,20	1168,00	498,80	2,334											
7	6,34		1159,90	663,80	1162,90	499,10	2,324											
8	6,31		1164,00	668,90	1167,00	498,10	2,337											
PROMEDIO	4,5		1162,75			498,68	2,332	2,444	2,469	9,45	84,99	5,56	15,01	62,95	4,08	0,44	48,94	
9	6,27		1168,10	672,40	1169,70	497,30	2,349											
10	6,22		1185,90	684,30	1187,10	502,80	2,359											
11	6,29		1175,70	678,60	1177,10	498,50	2,358											
12	6,37		1178,60	676,80	1180,20	503,40	2,341											
PROMEDIO	5,0		1177,08			500,50	2,352	2,425	2,459	10,37	85,28	4,36	14,72	70,40	4,44	0,59	53,25	
13	6,28		1189,00	688,10	1189,30	501,20	2,372											
14	6,31		1182,10	682,40	1183,10	500,70	2,361											
15	6,36		1178,80	682,70	1181,20	498,50	2,365											
16	6,32		1186,90	687,40	1188,10	500,70	2,370											
PROMEDIO	5,5		1184,20			500,28	2,367	2,408	2,423	12,31	85,38	2,31	14,62	84,22	5,24	0,28	62,82	
17	6,31		1185,20	685,60	1186,20	500,60	2,368											
18	6,25		1185,80	687,70	1186,20	498,50	2,379											
19	6,26		1182,90	688,40	1183,80	495,40	2,388											
20	6,29		1192,60	693,50	1193,40	499,90	2,386											
PROMEDIO	6,0		1186,63			498,60	2,380	2,390	2,410	13,37	85,39	1,25	14,61	91,46	5,65	0,37	67,82	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.4.

DISEÑO 5	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,00
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,43
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE CUNDINAMARCA	

DISEÑO 5 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1			1194,00	623,00	1196,60	573,60	2,082										
2			1193,20	624,30	1196,90	572,60	2,084										
3			1186,90	622,30	1190,10	567,80	2,090										
PROMEDIO		5,0	1191,37			571,33	2,085	2,265	2,286	9,63	81,59	8,78	18,41	52,30	4,60	0,42	55,23
4			1203,10	638,00	1207,00	569,00	2,114										
5			1196,10	630,60	1202,70	572,10	2,091										
6			1198,60	631,00	1203,20	572,20	2,095										
PROMEDIO		5,5	1199,27			571,10	2,100	2,250	2,275	10,57	81,73	7,69	18,27	57,88	5,02	0,51	60,22
7			1206,30	645,90	1211,00	565,10	2,135										
8			1202,60	640,00	1208,50	568,50	2,115										
9			1204,40	643,20	1211,20	568,00	2,120										
PROMEDIO		6,0	1204,43			567,20	2,123	2,235	2,263	11,62	82,21	6,16	17,79	65,35	5,46	0,58	65,47
10			1214,90	654,90	1217,10	562,20	2,161										
11			1207,40	648,40	1210,20	561,80	2,149										
12			1219,90	658,10	1221,60	563,50	2,165										
PROMEDIO		6,5	1214,07			562,50	2,158	2,221	2,247	12,94	83,12	3,95	16,88	76,63	5,98	0,56	71,70
13			1198,30	644,60	1200,30	555,70	2,156										
14			1208,80	649,70	1210,50	560,80	2,155										
15			1221,00	660,50	1222,00	561,50	2,175										
PROMEDIO		7,0	1209,37			559,33	2,162	2,206	2,229	14,18	82,82	3,00	17,18	82,54	6,54	0,50	78,47

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.5.

DISEÑO 6	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,61
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE PESCADERO	

DISEÑO 6 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	-		1209,00	693,00	1212,00	519,00	2,329										
2	-		1195,00	686,00	1199,00	513,00	2,329										
3	-		1200,00	686,00	1203,00	517,00	2,321										
4	-		1215,00	694,00	1218,00	524,00	2,319										
PROMEDIO	4,5		1204,75			518,25	2,325	2,434	2,473	8,90	85,09	6,01	14,91	59,72	3,86	0,67	46,28
5	-		1205,00	690,00	1208,00	518,00	2,326										
6	-		1197,00	686,00	1199,00	513,00	2,333										
7	-		1304,00	747,00	1306,00	559,00	2,333										
8	-		1200,00	690,00	1205,00	515,00	2,330										
PROMEDIO	5,0		1226,50			526,25	2,331	2,416	2,462	9,80	84,86	5,33	15,14	64,76	4,24	0,80	50,83
9	-		1201,00	690,00	1203,00	513,00	2,341										
10	-		1202,00	690,00	1203,00	513,00	2,343										
11	-		1189,00	680,00	1190,00	510,00	2,331										
12	-		1191,00	684,00	1194,00	510,00	2,335										
PROMEDIO	5,5		1195,75			511,50	2,338	2,399	2,451	10,71	84,67	4,61	15,33	69,89	4,61	0,94	55,38
13	-		1194,00	687,00	1197,00	510,00	2,341										
14	-		1186,00	684,00	1188,00	504,00	2,353										
15	-		1192,00	685,00	1194,00	509,00	2,342										
16	-		1198,00	688,00	1201,00	513,00	2,335										
PROMEDIO	6,0		1192,50			509,00	2,343	2,381	2,440	11,61	84,41	3,97	15,59	74,51	4,99	1,07	59,92
17	-		1188,00	680,00	1189,00	509,00	2,334										
18	-		1221,00	703,00	1225,00	522,00	2,339										
19	-		1190,00	684,00	1192,00	508,00	2,343										
20	-		1196,00	690,00	1200,00	510,00	2,345										
PROMEDIO	6,5		1198,75			512,25	2,340	2,364	2,429	12,46	83,87	3,67	16,13	77,22	5,36	1,22	64,35

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.6.

DISEÑO 7	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,61
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 7 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	6,40		1181,60	675,70	1187,80	512,10	2,307											
2	6,41		1184,90	677,80	1188,20	510,40	2,322											
3	6,40		1183,00	679,40	1192,80	513,40	2,304											
PROMEDIO	4,0		1183,17			511,97	2,311	2,453	2,493	7,68	85,00	7,31	15,00	51,23	3,35	0,68	40,17	
4	6,41		1183,50	680,50	1187,50	507,00	2,334											
5	6,33		1180,60	679,30	1183,80	504,50	2,340											
6	6,32		1182,20	678,10	1184,90	506,80	2,333											
PROMEDIO	4,5		1182,10			506,10	2,336	2,435	2,479	8,74	85,46	5,80	14,54	60,13	3,77	0,77	45,22	
7	6,25		1178,90	680,10	1179,10	499,00	2,363											
8	6,29		1184,30	683,60	1185,80	502,20	2,358											
9	6,31		1181,00	682,30	1183,10	500,80	2,358											
PROMEDIO	5,0		1181,40			500,67	2,360	2,417	2,462	9,95	85,89	4,16	14,11	70,52	4,25	0,79	50,95	
10	6,29		1183,30	683,00	1184,00	501,00	2,362											
11	6,22		1182,30	684,60	1183,00	498,40	2,372											
12	6,22		1175,20	682,30	1176,20	493,90	2,379											
PROMEDIO	5,5		1180,27			497,77	2,371	2,400	2,453	10,80	85,85	3,34	14,15	76,36	4,59	0,97	55,05	
13	6,22		1177,00	684,00	1177,50	493,50	2,385											
14	6,23		1179,30	685,10	1179,60	494,50	2,385											
15	6,22		1179,60	685,30	1180,30	495,00	2,383											
PROMEDIO	6,0		1178,63			494,33	2,384	2,382	2,439	11,89	85,87	2,24	14,13	84,12	5,02	1,04	60,24	
16	6,23		1173,70	686,40	1174,30	487,90	2,406											
17	6,23		1172,00	683,30	1172,30	489,00	2,397											
18	6,22		1172,20	683,80	1172,50	488,70	2,399											
PROMEDIO	6,5		1172,63			488,53	2,400	2,365	2,413	13,50	85,99	0,51	14,01	96,37	5,66	0,90	67,95	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.7.

DISEÑO 8	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,00
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,61
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 8 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECÍFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	5,87		1079,20	614,20	1080,90	466,70	2,312											
2	5,89		1074,90	612,90	1078,20	465,30	2,310											
3	6,53		1179,40	670,30	1183,50	513,20	2,298											
PROMEDIO		4,0	1111,17			481,73	2,307	2,453	2,517	6,80	84,85	8,35	15,15	44,87	2,96	1,08	35,52	
4	6,40		1184,90	677,30	1186,10	508,80	2,329											
5	6,44		1182,30	672,40	1184,20	511,80	2,310											
6	7,00		1280,20	729,50	1283,60	554,10	2,310											
PROMEDIO		4,5	1215,80			524,90	2,316	2,435	2,491	8,23	84,76	7,01	15,24	54,00	3,57	0,98	42,81	
7	6,34		1178,30	677,50	1180,20	502,70	2,344											
8	6,37		1182,40	680,20	1185,10	504,90	2,342											
9	6,33		1184,10	682,30	1185,70	503,40	2,352											
PROMEDIO		5,0	1181,60			503,67	2,346	2,417	2,457	10,11	85,39	4,50	14,61	69,21	4,33	0,71	51,92	
10	6,28		1181,40	683,30	1182,70	499,40	2,366											
11	6,27		1177,70	676,70	1178,30	501,60	2,348											
12	6,27		1180,60	681,70	1181,50	499,80	2,362											
PROMEDIO		5,5	1179,90			500,27	2,359	2,399	2,441	11,23	85,40	3,37	14,60	76,93	4,78	0,76	57,38	
13	5,80		1110,60	644,20	1111,20	467,00	2,378											
14	6,24		1167,10	680,00	1167,70	487,70	2,393											
15	6,27		1173,50	679,80	1174,40	494,60	2,373											
PROMEDIO		6,0	1150,40			483,10	2,381	2,381	2,424	12,48	85,76	1,75	14,24	87,68	5,26	0,79	63,14	
16	6,24		1173,50	683,50	1178,90	495,40	2,369											
17	6,20		1181,40	687,60	1182,80	495,20	2,386											
18	6,24		1177,20	680,20	1177,90	497,70	2,365											
PROMEDIO		6,5	1177,37			496,10	2,373	2,364	2,397	13,99	85,02	0,99	14,98	93,42	5,92	0,62	71,02	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.8.

DISEÑO 9	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,00
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,61
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 9 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACIOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	6,44		1188,60	680,40	1191,70	511,30	2,325										
2	6,46		1190,00	679,60	1193,70	514,10	2,315										
3	6,46		1191,20	680,40	1194,80	514,40	2,316										
PROMEDIO		4,0	1189,93			513,27	2,318	2,453	2,506	7,24	85,27	7,49	14,73	49,16	3,13	0,90	37,61
4	6,32		1174,30	674,60	1177,10	502,50	2,337										
5	6,04		1115,60	639,60	1119,40	479,80	2,325										
6	6,35		1180,10	677,00	1182,50	505,50	2,335										
PROMEDIO		4,5	1156,67			495,93	2,332	2,434	2,486	8,48	85,33	6,19	14,67	57,81	3,65	0,89	43,78
7	6,35		1183,70	685,20	1185,40	500,20	2,366										
8	6,35		1176,30	678,80	1178,70	499,90	2,353										
9	6,24		1174,30	678,30	1175,60	497,30	2,361										
PROMEDIO		5,0	1178,10			499,13	2,360	2,416	2,462	9,96	85,91	4,13	14,09	70,68	4,23	0,81	50,80
10	6,28		1185,10	685,20	1186,30	501,10	2,365										
11	6,20		1175,00	680,20	1175,80	495,60	2,371										
12	6,22		1174,30	678,00	1174,90	496,90	2,363										
PROMEDIO		5,5	1178,13			497,87	2,366	2,399	2,443	11,18	85,68	3,14	14,32	78,10	4,74	0,80	56,91
13	6,23		1183,50	685,00	1184,40	499,40	2,370										
14	6,31		1191,90	691,00	1192,60	501,60	2,376										
15	6,09		1151,50	669,10	1152,50	483,40	2,382										
PROMEDIO		6,0	1175,63			494,80	2,376	2,381	2,423	12,49	85,57	1,94	14,43	86,57	5,27	0,77	63,28
16	6,31		1172,50	678,50	1173,00	494,50	2,371										
17	6,20		1176,10	680,20	1177,00	496,80	2,367										
18	6,22		1137,50	655,60	1138,70	483,10	2,355										
PROMEDIO		6,5	1162,03			491,47	2,364	2,364	2,384	14,48	84,70	0,82	15,30	94,61	6,14	0,38	73,70

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.9.

DISEÑO 10	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,01
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,64
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 10 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	-		1116,90	635,20	1120,60	485,40	2,301										
2	6,22		1191,30	683,30	1193,70	510,40	2,334										
3	6,38		1184,60	684,40	1185,90	501,50	2,362										
PROMEDIO		4,5	1187,95			505,95	2,348	2,457	2,509	8,52	85,07	6,41	14,93	57,05	3,65	0,89	43,85
4	6,12		1180,70	690,10	1185,20	495,10	2,385										
5	6,12		1180,90	688,90	1185,20	496,30	2,379										
6	-		1184,00	678,00	1185,90	507,90	2,331										
PROMEDIO		5,0	1180,80			495,70	2,382	2,438	2,482	10,13	85,85	4,03	14,15	71,55	4,28	0,76	51,37
7	6,17		1176,30	686,10	1176,60	490,50	2,398										
8	6,43		1179,50	686,00	1179,90	493,90	2,388										
9	-		1187,40	709,00	1187,80	478,80	2,480										
PROMEDIO		5,5	1177,90			492,20	2,393	2,420	2,470	11,09	85,79	3,11	14,21	78,10	4,67	0,88	56,03
10	6,20		1176,00	681,80	1176,80	495,00	2,376										
11	6,17		1188,60	686,60	1188,40	501,80	2,369										
12	-		1187,40	692,80	1187,60	494,80	2,400										
PROMEDIO		6,0	1182,30			498,40	2,372	2,402	2,452	12,15	84,59	3,25	15,41	78,88	5,16	0,89	61,90

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.10.

DISEÑO 11	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,00
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,60
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 11 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	6,33		1195,10	683,10	1196,00	512,90	2,330										
2	6,30		1194,10	680,80	1194,30	513,50	2,325										
3	6,30		1195,70	686,30	1196,50	510,20	2,344										
PROMEDIO		4,8	1194,97			512,20	2,333	2,419	2,476	8,93	85,29	5,77	14,71	60,74	3,84	1,01	46,12
4	6,35		1197,70	686,00	1198,20	512,20	2,338										
5	6,27		1202,30	691,20	1202,70	511,50	2,351										
6	6,10		1148,70	656,60	1149,40	492,80	2,331										
PROMEDIO		5,2	1182,90			505,50	2,340	2,404	2,436	10,87	85,19	3,94	14,81	73,38	4,66	0,57	55,93
7	6,30		1197,30	691,40	1197,50	506,10	2,366										
8	6,27		1195,80	689,70	1196,10	506,40	2,361										
9	6,30		1195,50	688,00	1195,90	507,90	2,354										
PROMEDIO		5,6	1196,20			506,80	2,360	2,390	2,413	12,25	85,57	2,18	14,43	84,87	5,21	0,42	62,48

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.11.

DISEÑO 12	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,00
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,60
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 12 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	6,47		1210,30	692,20	1211,60	519,40	2,330										
2	6,50		1208,00	692,50	1211,10	518,60	2,329										
3	5,93		1097,70	631,50	1102,20	470,70	2,332										
PROMEDIO		4,8	1172,00			502,90	2,331	2,419	2,470	9,15	85,20	5,65	14,80	61,84	3,94	0,90	47,29
4	6,10		1128,00	652,00	1130,80	478,80	2,356										
5	6,30		1201,50	697,60	1202,50	504,90	2,380										
6	6,30		1201,90	692,60	1202,60	510,00	2,357										
PROMEDIO		5,2	1177,13			497,90	2,364	2,404	2,443	10,70	86,07	3,23	13,93	76,82	4,54	0,69	54,52
7	5,80		1130,40	658,30	1130,80	472,50	2,392										
8	6,33		1204,50	697,90	1205,10	507,20	2,375										
9	6,40		1204,10	698,00	1205,70	507,70	2,372										
PROMEDIO		5,6	1179,67			495,80	2,380	2,390	2,431	11,62	86,27	2,11	13,73	84,61	4,90	0,74	58,80

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.12.

DISEÑO 13	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,00
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,60
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE SANTANDER	

DISEÑO 13 MDC-2																	
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacíos con aire	Agreg. Mineral	Llenos			
1	6,41		1186,10	675,30	1186,60	511,30	2,320										
2	6,28		1178,20	664,70	1178,90	514,20	2,291										
3	6,40		1180,00	673,50	1180,50	507,00	2,327										
PROMEDIO	4,5	1181,43			510,83	2,313	2,428	2,479	8,48	84,82	6,70	15,18	55,84	3,66	0,88	43,87	
4	6,30		1183,40	675,70	1183,90	508,20	2,329										
5	6,35		1186,90	679,20	1187,30	508,10	2,336										
6	6,26		1181,30	679,20	1181,70	502,50	2,351										
PROMEDIO	5,0	1183,87			506,27	2,338	2,410	2,448	10,21	85,31	4,47	14,69	69,54	4,36	0,68	52,29	
7	6,24		1183,80	685,30	1184,00	498,70	2,374										
8	6,24		1175,80	675,60	1176,10	500,50	2,349										
9	6,06		1171,30	676,40	1171,70	495,30	2,365										
PROMEDIO	5,5	1176,97			498,17	2,363	2,392	2,431	11,45	85,74	2,81	14,26	80,27	4,83	0,70	58,01	
10	5,98		1157,10	669,70	1157,80	488,10	2,371										
11	6,22		1179,20	679,90	1179,50	499,60	2,360										
12	6,19		1179,50	683,10	1179,90	496,80	2,374										
PROMEDIO	6,0	1171,93			494,83	2,368	2,375	2,433	11,85	85,49	2,66	14,51	81,69	4,99	1,07	59,89	
13	6,14		1163,90	669,70	1164,20	494,50	2,354										
14	6,20		1197,90	689,30	1198,30	509,00	2,353										
15	6,19		1166,50	674,20	1167,00	492,80	2,367										
PROMEDIO	6,5	1176,10			498,77	2,358	2,357	2,397	13,71	84,67	1,62	15,33	89,41	5,80	0,75	69,59	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ANEXOS: C.13.

DISEÑO 14
MDC-2 NORMALIZADO

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MDC-21 INV-2022
PLANTA TUNJUNO

Fecha: Septiembre-15-2024

Realizó: P.JVB - FM

Revisó: DUV

Materiales: Tipo 05, Arena Fina con Grava 20% - Material Tipo 05, Arena de Fracción Tamazo 20% - Material Tipo 05, Arena con Grava 20% - Material Tipo 05, Arena con Grava 10% - Grava 10, Grava 10%

Peso Espacial Agregado (kg/m³)						Peso Espacial Sólido (kg/m³)						Límite						Grav. Pasados 60 Micras			
Horno	Temperatura	Pasados 75 Micras			Total	Pasados 150 Micras			Grav. 60 Micras	Grav. 75 Micras			Grav. 100 Micras	Grav. 150 Micras	Grav. 200 Micras	Grav. 250 Micras	Pasados 60 Micras			Peso	
		Grav. 75 Micras	Grav. 100 Micras	Grav. 150 Micras		Grav. 150 Micras	Grav. 200 Micras	Grav. 250 Micras		Grav. 300 Micras	Grav. 425 Micras	Grav. 600 Micras									
1	5,0	1142,4	1144,3	617,0	526,4	2,173													1202	0	2,70
2	5,0	1131,0	1110,5	612,2	521,3	2,166													1210	1202	2,70
3	5,0	1142,6	1144,3	617,0	527,5	2,166													1443	1386	3,05
Iterativo	4,0					2,163	2,136	2,140	0,413	82,4	7,7	0,3	17,4	66,0	4,6				134,1	89,1	2,99
4	5,5	1165,0	1166,1	625,4	530,7	2,195													1438	1375	3,05
5	5,5	1136,3	1110,2	612,1	526,1	2,180													1442	1442	3,30
6	5,5	1145,3	1145,2	625,3	519,9	2,203													1506	1506	3,05
Iterativo	5,5					2,196	2,310	2,333	0,446	83,1	5,0	11,0	16,0	66,1	5,1				137,0	1462	3,13
7	6,0	1140,0	1140,0	620,2	521,7	2,202													1470	1470	3,30
8	6,0	1145,0	1145,5	627,0	519,3	2,207													1546	1546	3,30
9	6,0	1166,0	1160,3	633,4	527,4	2,100													1606	1641	3,66
Iterativo	6,0					2,203	2,295	2,315	0,465	83,6	4,8	12,2	17,0	71,6	5,6				137,5	1521	3,30
10	6,5	1135,1	1118,2	626,0	511,0	2,221													1602	1602	3,66
11	6,5	1162,3	1162,4	640,6	521,8	2,227													1630	1630	3,81
12	6,5	1152,1	1152,3	631,7	526,6	2,213													1630	1630	3,81
Iterativo	6,5					2,221	2,272	2,292	0,392	83,2	3,4	13,4	16,0	72,2	6,1				136,6	1487	3,73
13	7,0	1140,5	1140,5	631,0	509,5	2,238													1386	1386	3,81
14	7,0	1139,2	1139,3	630,2	509,1	2,238													1416	1416	3,81
15	7,0	1150,1	1150,5	636,1	521,4	2,215													1333	1286	4,06
Iterativo	7,0					2,238	2,264	2,282	0,367	83,1	2,3	14,6	16,0	86,6	6,7				130,2	1361	3,80

Observaciones

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD NACIONAL	ANEXOS: C. 14.

DISEÑO 15
MDC-2 MODIFICADO

METODO MARSHALL

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 / INV-2002

PLANTA TUNJUELO

Material Tipo I 10% - Material Tipo II 25% - Material Tipo III 10% - Grava 12" 45% - Material Tipo IIIA 25%.

Fecha: ENERO 27 de 2004

Realizó: P.M.B - RQ

Revisó: D.L.Y

Peso Agregado, Gps				Peso Espesor, Gps				Peso Total, Gps				Peso Ponderación, Gps				ES - D		
Añilo	Peso en gramos			Volumen cc.	Peso Característico			Añilo Revolución	Volumen - (%) Total			Vacíos - % Por		Presión Libras/pulg	Temperatura		Fluj 0.07	
	Engrase	35%	Engrase		Actual	Relacion	Medida		Vacíos	Asf. Densivo	Vacíos Agregados	Densivo	Libras/pulg		Engrase	Carapeta		
lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	lb	
								100-000 en 100.00	100-000 en 100.00	11-000 en 100.00	100-0	11-000 en 100.00	100-0	11-000 en 100.00	100-0	100-0	10	
50	11652	1198.0	604.2	501.8	2.191											3025	3100	9
50	11600	1191.2	600.0	529.2	2.197											3090	3258	9
50	11664	1197.5	605.8	501.7	2.194											3062	3247	9
50					2.194	2.232	2.248	0.178	80.3	6.3	10.4	16.7	4.8	136.9			3232	9
55	11595	1190.0	605.2	525.1	2.208											3508	3368	9
55	11554	1198.2	600.5	522.7	2.210											3497	3357	10
55	11445	1145.2	628.5	518.7	2.206											3451	3451	10
55					2.208	2.216	2.228	0.235	85.4	5.1	11.5	16.4	5.3	137.8			3392	10
60	11499	1190.0	601.8	518.7	2.217											3577	3577	11
60	11518	1152.0	601.2	520.8	2.211											3657	3657	11
60	11435	1144.2	629.8	514.8	2.222											3577	3577	11
60					2.217	2.200	2.212	0.231	85.3	4.1	12.6	16.7	5.8	138.3			3608	11
65	11680	1199.0	640.2	525.8	2.222											3848	3500	12
65	11609	1191.8	609.1	522.4	2.222											3890	3680	12
65	11691	1199.8	640.8	525.8	2.218											3892	3544	11
65					2.221	2.205	2.294	0.222	80.8	3.0	10.7	17.4	6.0	109.6			3575	12
70	11785	1179.0	648.9	530.1	2.223											3811	3467	13
70	11730	1170.4	645.9	527.5	2.224											3885	3420	13
70	11552	1155.8	639.1	516.5	2.237											3820	3620	13
70					2.228	2.270	2.283	0.270	82.8	2.4	14.8	17.2	6.7	139.0			3508	13

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD NACIONAL	ANEXOS: C.15.

DISEÑO 16	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,03
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,65
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL DE NORTE DE SANTANDER	

DISEÑO 16 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (plg)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	2 1/2"		1200,40	679,20	1202,70	523,50	2,293											
2	2 1/2"		1195,30	675,10	1197,70	522,60	2,287											
3	2 1/2"		1196,00	676,40	1198,30	521,90	2,292											
PROMEDIO	4,0		1197,23			522,67	2,291	2,492	2,535	7,35	83,01	9,64	16,99	43,25	3,32	0,70		39,89
4	2 1/2"		1196,20	680,00	1198,50	518,50	2,307											
5	2 1/2"		1196,20	679,50	1198,40	518,90	2,305											
6	2 1/2"		1198,00	681,00	1200,20	519,20	2,307											
PROMEDIO	4,5		1196,80			518,87	2,307	2,474	2,509	8,78	83,15	8,07	16,85	52,10	3,94	0,59		47,23
7	2 1/2"		1199,00	684,00	1201,40	517,40	2,317											
8	2 1/2"		1199,80	685,00	1202,40	517,40	2,319											
9	2 1/2"		1195,00	681,00	1197,30	516,30	2,315											
PROMEDIO	5,0		1197,93			517,03	2,317	2,456	2,491	9,92	83,09	6,99	16,91	58,67	4,43	0,60		53,13
10	2 1/2"		1206,10	689,00	1208,50	519,50	2,322											
11	2 1/2"		1200,40	686,10	1202,70	516,60	2,324											
12	2 1/2"		1197,50	685,00	1199,90	514,90	2,326											
PROMEDIO	5,5		1201,33			517,00	2,324	2,438	2,466	11,33	82,89	5,77	17,11	66,26	5,04	0,49		60,45
13	2 1/2"		1201,30	685,00	1204,00	519,00	2,315											
14	2 1/2"		1195,30	680,00	1197,60	517,60	2,309											
15	2 1/2"		1197,00	682,00	1199,40	517,40	2,313											
PROMEDIO	6,0		1197,87			518,00	2,312	2,421	2,448	12,41	82,06	5,54	17,94	69,14	5,54	0,49		66,47

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: SUMINISTRADO POR EMPRESA	ANEXOS: C.16.

DISEÑO 17	
TIPO DE ASFALTO DE PENETRACIÓN	80 - 100
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO gr/cm ³	1,02
PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS gr/cm ³	2,63
TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	MDC - 2
MATERIAL PESCADERO	

DISEÑO 17 MDC-2																		
Probeta No.	Espesor (cm)	% de Asf	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO			VOLUMEN: % TOTAL			%VACÍOS		% ASFALTO EFECTIVO	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO EFECTIVO (gr.)	
			En Aire	En Agua	S.S.S		Bulk	Teórico	Gmm	Asfalto	Agregado	Vacios con aire	Agreg. Mineral	Llenos				
1	6,122	4,5	1190,40	694,45	1191,45	497,00	2,395	2,459	2,506	8,75	86,81	4,44	13,19	66,34	3,74	0,80	44,86	
2	6,201	5,0	1183,70	683,15	1186,35	503,20	2,352	2,441	2,489	9,70	84,82	5,48	15,18	63,92	4,22	0,82	50,66	
3	6,052	5,5	1181,55	692,00	1181,95	489,95	2,412	2,424	2,471	11,09	86,49	2,42	13,51	82,11	4,70	0,84	56,45	
4	6,205	6,0	1185,55	689,05	1186,10	497,05	2,385	2,406	2,454	12,09	85,09	2,81	14,91	81,13	5,19	0,87	62,22	

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS GRÁFICA 2	NORMA: INV E-733, E-735
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: C.17.

	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacíos con Aire (Va)	% Vacíos Agregados Minerales (VAM)	% Vacíos Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL (gr.)	Volumen Asfalto Total (cm ³)	Gse Gravedad específica efectiva agregado	Volumen agregado (cm ³)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto efectivo (cm ³)	Volumen total mezcla Vmb (cm ³)	%Asfalto efectivo (cm ³)
		MDC-2															
	DISEÑO 1	4,50	5,21	15,41	66,21	4,41	0,09	53,36	1132,44	52,89	2,64	428,56	429,61	1,04	51,84	507,90	10,21
		5,00	4,48	15,35	70,83	4,67	0,35	59,53	1131,13	59,00	2,66	425,21	429,11	3,90	55,10	506,90	10,87
		5,50	3,45	15,38	77,53	5,10	0,42	65,22	1120,68	64,64	2,67	420,39	425,14	4,75	59,89	502,38	11,92
		6,00	2,52	15,46	83,70	5,51	0,52	71,69	1123,14	71,05	2,67	420,25	426,08	5,83	65,22	503,99	12,94
	DISEÑO 2	4,50	6,45	14,13	54,38	3,39	1,16	52,61	1116,55	51,23	2,69	414,57	427,54	12,97	38,26	497,90	7,68
		5,00	4,27	13,43	68,18	3,98	1,07	58,62	1113,72	57,08	2,69	414,50	426,46	11,96	45,12	492,63	9,16
		5,50	4,04	14,82	72,75	4,73	0,82	64,63	1110,47	62,93	2,67	416,11	425,21	9,10	53,83	499,21	10,78
		6,00	4,54	16,23	72,05	5,18	0,87	71,06	1113,20	69,19	2,67	416,56	426,26	9,70	59,49	508,82	11,69
	DISEÑO 3	6,50	1,17	14,30	91,83	5,66	0,90	77,43	1113,83	75,40	2,67	416,46	426,50	10,05	65,35	497,67	13,13
		4,00	9,01	16,06	43,87	3,10	0,93	46,16	1107,84	45,88	2,68	413,33	423,66	10,33	35,55	504,70	7,04
		4,50	7,41	15,87	53,31	3,70	0,84	51,95	1102,58	51,64	2,67	412,40	421,65	9,25	42,40	501,17	8,46
		5,00	6,15	15,83	61,17	4,21	0,83	58,71	1115,55	58,36	2,67	417,32	426,61	9,29	49,07	506,83	9,68
		5,50	4,59	15,63	70,60	4,76	0,79	65,35	1122,80	64,96	2,67	420,56	429,38	8,82	56,13	508,90	11,03
	DISEÑO 4	6,00	3,24	15,17	78,61	5,09	0,97	71,57	1121,26	71,14	2,68	417,92	428,79	10,87	60,28	505,47	11,92
		4,00	7,70	15,59	50,59	3,45	0,58	46,07	1105,56	45,79	2,66	415,60	421,97	6,37	39,42	499,89	7,89
		4,50	5,56	15,01	62,95	4,08	0,44	52,32	1110,43	52,01	2,65	418,93	423,83	4,90	47,11	498,67	9,45
		5,00	4,36	14,72	70,40	4,44	0,59	58,85	1118,22	58,50	2,66	420,18	426,80	6,62	51,88	500,50	10,37
		5,50	2,31	14,62	84,22	5,24	0,28	65,13	1119,07	64,74	2,64	423,99	427,12	3,13	61,61	500,28	12,31
		6,00	3,46	16,53	79,06	5,65	0,37	71,20	1115,43	70,77	2,65	421,60	425,74	4,13	66,64	510,02	13,07

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-2	NORMA: INV E-733, E-735
	COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS	ANEXOS: C.18.

	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacíos con Aire (Va)	% Vacíos Agrega. Mineral (VAM)	% Vacíos Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL(gr.)	Volumen Asfalto Total (cm ³)	Gse Gravedad específica efectiva agregado	Volumen agregado (cm ³)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto efectivo (cm ³)	Volumen total mezcla Vmb (cm ³)	%Asfalto efectivo (cm ³)
	DISEÑO 5	5,00	8,78	18,41	52,30	4,60	0,42	59,57	1131,80	59,75	2,45	461,41	466,14	4,73	55,01	571,33	9,63
		5,50	7,69	18,27	57,88	5,02	0,51	65,96	1133,31	66,16	2,46	460,99	466,77	5,77	60,38	571,09	10,57
		6,00	6,16	17,79	65,35	5,46	0,58	72,27	1132,17	72,48	2,46	459,75	466,30	6,55	65,93	567,19	11,62
		6,50	3,95	16,88	76,63	5,98	0,56	78,91	1135,15	79,15	2,46	461,15	467,53	6,37	72,78	562,50	12,94
		7,00	3,00	17,18	82,54	6,54	0,50	84,66	1124,71	84,91	2,46	457,65	463,23	5,58	79,33	559,34	14,18
	DISEÑO 6	4,50	6,01	14,91	59,72	3,86	0,67	54,21	1150,54	53,89	2,66	433,23	440,99	7,75	46,14	518,24	8,90
		5,00	5,33	15,14	64,76	4,24	0,80	61,33	1165,18	60,96	2,66	437,23	446,60	9,37	51,59	526,26	9,80
		5,50	4,61	15,33	69,89	4,61	0,94	65,77	1129,98	65,37	2,67	422,52	433,11	10,59	54,79	511,50	10,71
		6,00	3,97	15,59	74,51	4,99	1,07	71,55	1120,95	71,12	2,68	417,64	429,65	12,01	59,12	508,99	11,61
		6,50	3,67	16,13	77,22	5,36	1,22	77,92	1120,83	77,45	2,69	415,97	429,60	13,63	63,82	512,25	12,46
	DISEÑO 7	4,00	7,31	15,00	51,23	3,35	0,68	47,33	1135,84	47,05	2,66	427,47	435,19	7,72	39,33	511,96	7,68
		4,50	5,80	14,54	60,13	3,77	0,77	53,19	1128,91	52,89	2,66	423,88	432,53	8,65	44,24	506,10	8,74
		5,00	4,16	14,11	70,52	4,25	0,79	59,07	1122,33	58,73	2,67	421,10	430,01	8,91	49,82	500,67	9,95
		5,50	3,34	14,15	76,36	4,59	0,97	64,91	1115,35	64,54	2,68	416,57	427,34	10,77	53,78	497,76	10,80
		6,00	2,24	14,13	84,12	5,02	1,04	70,72	1107,92	70,31	2,68	412,93	424,49	11,55	58,76	494,33	11,89
	DISEÑO 8	6,50	0,51	14,01	96,37	5,66	0,90	76,22	1096,41	75,78	2,67	410,26	420,08	9,82	65,96	488,53	13,50
		4,00	8,35	15,15	44,87	2,96	1,08	44,45	1066,72	44,30	2,69	397,15	408,70	11,56	32,74	481,67	6,80
		4,50	7,01	15,24	54,00	3,57	0,98	54,71	1161,09	54,53	2,68	433,53	444,86	11,34	43,20	524,86	8,23
		5,00	4,50	14,61	69,21	4,33	0,71	59,08	1122,52	58,89	2,66	422,12	430,08	7,96	50,93	503,67	10,11
		5,50	3,37	14,60	76,93	4,78	0,76	64,89	1115,01	64,68	2,66	418,73	427,21	8,48	56,20	500,26	11,23
		6,00	1,75	14,24	87,68	5,26	0,79	69,02	1081,38	68,80	2,66	405,83	414,32	8,49	60,31	483,10	12,48
		6,50	0,99	14,98	93,42	5,92	0,62	76,53	1100,84	76,28	2,65	414,93	421,78	6,85	69,43	496,10	13,99

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-2	NORMA: INV E-733, E-735
	COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS	ANEXOS: C.19.

DISEÑO	% de Asfalto	% Vacíos con Aire (Va)	% Vacíos Agregados Minerales (VAM)	% Vacíos Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL (gr.)	Volumen Asfalto Total (cm ³)	Gse Gravedad específica efectiva agregado	Volumen agregado (cm ³)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto efectivo (cm ³)	Volumen total mezcla Vmb (cm ³)	%Asfalto efectivo (cm ³)
	DISEÑO 9	4,00	7,49	14,73	49,16	3,13	0,90	47,60	1142,34	47,46	2,67	427,37	437,68	10,30	37,16	513,26
4,50		6,19	14,67	57,81	3,65	0,89	52,05	1104,62	51,90	2,67	413,37	423,22	9,85	42,05	495,96	8,48
5,00		4,13	14,09	70,68	4,23	0,81	58,91	1119,20	58,73	2,67	419,78	428,81	9,03	49,70	499,13	9,96
5,50		3,14	14,32	78,10	4,74	0,80	64,80	1113,34	64,61	2,67	417,64	426,57	8,93	55,68	497,87	11,18
6,00		1,94	14,43	86,57	5,27	0,77	70,54	1105,10	70,33	2,66	414,86	423,41	8,54	61,79	494,79	12,49
6,50		0,82	15,30	94,61	6,14	0,38	75,53	1086,50	75,31	2,64	412,12	416,28	4,17	71,15	491,48	14,48
DISEÑO 10	4,00	6,41	14,49	55,72	3,46	0,56	47,52	1140,43	47,23	2,68	426,24	432,64	6,40	40,84	505,92	8,07
	4,50	4,03	13,70	70,62	4,09	0,43	53,14	1127,66	52,82	2,67	422,93	427,79	4,87	47,95	495,70	9,67
	5,00	3,11	13,75	77,38	4,48	0,55	58,90	1119,01	58,54	2,67	418,34	424,51	6,17	52,37	492,20	10,64
	5,50	3,25	14,96	78,24	4,97	0,57	65,03	1117,27	64,64	2,68	417,54	423,85	6,31	58,33	498,39	11,70
DISEÑO 11	4,80	5,77	14,71	60,74	3,84	1,01	57,36	1137,61	57,19	2,67	425,43	436,87	11,44	45,75	512,20	8,93
	5,20	3,53	14,45	75,56	4,66	0,57	61,51	1121,39	61,33	2,64	424,26	430,64	6,38	54,95	503,36	10,92
	5,60	2,18	14,43	84,87	5,21	0,42	66,99	1129,21	66,79	2,63	428,94	433,65	4,70	62,09	506,80	12,25
DISEÑO 12	4,80	5,65	14,80	61,84	3,94	0,90	56,26	1115,74	56,09	2,67	418,41	428,47	10,07	46,02	502,89	9,15
	5,20	3,23	13,93	76,82	4,54	0,69	61,21	1115,92	61,03	2,65	420,81	428,54	7,73	53,30	497,92	10,70
	5,60	2,11	13,73	84,61	4,90	0,74	66,06	1113,61	65,86	2,66	419,40	427,65	8,26	57,61	495,74	11,62
DISEÑO 13	4,50	6,70	15,18	55,84	3,66	0,88	53,16	1128,27	53,27	2,67	423,31	433,28	9,98	43,29	510,82	8,48
	5,00	4,47	14,69	69,54	4,36	0,68	59,19	1124,67	59,31	2,65	424,29	431,90	7,61	51,70	506,26	10,21
	5,50	2,81	14,26	80,27	4,83	0,70	64,73	1112,23	64,86	2,65	419,29	427,13	7,84	57,02	498,16	11,45
	6,00	2,66	14,51	81,69	4,99	1,07	70,32	1101,62	70,46	2,68	411,23	423,05	11,82	58,63	494,83	11,85
	6,50	1,62	15,33	89,41	5,80	0,75	76,45	1099,65	76,60	2,66	414,06	422,29	8,24	68,36	498,76	13,71

UIS Ingeniería Civil	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-2	NORMA: INV E-733, E-735
	COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS	ANEXOS: C.20.

	DISEÑO	% de Asfalto	% Vacios con Aire (Va)	%Vacios Agrega. Mineral (VAM)	%Vacios Llenos (VFA)	% ASFALTO EFECTIVO (gr.)	% ASFALTO ABSORBIDO	ASFALTO TOTAL (gr.)	AGREGADO TOTAL (gr.)	Volumen Asfalto Total (cm ³)	Gse Gravedad especifica efectiva agregado	Volumen agregado (cm ³)	Volumen agregado+Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto absorbido (cm ³)	Volumen Asfalto efectivo (cm ³)	Volumen total mezcla Vmb (cm ³)	%Asfalto efectivo (cm ³)
MDC-2	DISEÑO 14	5,00	7,23	17,16	57,84	4,60	0,42	56,98	1082,55	56,41	2,53	428,49	433,02	4,53	51,88	522,72	9,93
		5,50	5,58	16,84	66,87	5,17	0,35	63,22	1086,31	62,60	2,52	430,76	434,52	3,76	58,84	522,51	11,26
		6,00	4,74	16,90	71,95	5,56	0,47	69,10	1082,53	68,41	2,53	427,98	433,01	5,03	63,38	521,10	12,16
		6,50	3,46	16,60	79,13	5,95	0,58	74,80	1076,03	74,06	2,54	424,13	430,41	6,28	67,78	516,07	13,13
		7,00	2,61	16,67	84,35	6,35	0,70	80,25	1066,18	79,46	2,54	418,99	426,47	7,48	71,98	511,80	14,06
	DISEÑO 15	5,00	5,92	16,69	64,55	4,96	0,04	58,19	1105,67	57,62	2,50	441,47	441,91	0,45	57,17	530,47	10,78
		5,50	4,66	16,60	71,92	5,46	0,04	63,43	1089,90	62,81	2,50	435,18	435,61	0,43	62,37	522,34	11,94
		6,00	3,61	16,71	78,40	5,97	0,03	68,84	1078,49	68,16	2,50	430,68	431,05	0,37	67,79	517,51	13,10
		6,50	2,80	17,00	83,53	6,46	0,04	75,55	1086,78	74,80	2,50	433,87	434,36	0,49	74,31	523,34	14,20
	DISEÑO 16	7,00	1,81	17,15	89,47	6,95	0,05	81,57	1083,66	80,76	2,51	432,56	433,12	0,56	80,20	522,76	15,34
		4,00	9,64	16,99	43,25	3,32	0,70	47,89	1149,34	46,49	2,70	425,79	433,88	8,09	38,40	522,67	7,35
		4,50	8,07	16,85	52,10	3,94	0,59	53,86	1142,94	52,29	2,69	424,72	431,46	6,75	45,54	518,87	8,78
		5,00	6,99	16,91	58,67	4,43	0,60	59,90	1138,04	58,15	2,69	422,75	429,61	6,86	51,29	517,03	9,92
		5,50	5,77	17,11	66,26	5,04	0,49	66,07	1135,26	64,15	2,68	423,01	428,56	5,55	58,60	517,00	11,33
	DISEÑO 17	6,00	5,54	17,94	69,14	5,54	0,49	71,87	1125,99	69,78	2,68	419,55	425,06	5,52	64,26	518,00	12,41
		4,00	4,44	12,73	65,14	3,54	0,48	47,62	1142,78	46,70	2,67	428,24	433,73	5,49	41,21	497,00	8,29
		4,50	5,48	14,74	62,82	4,02	0,50	53,27	1130,43	52,24	2,67	423,39	429,04	5,65	46,59	503,20	9,26
		5,00	2,42	13,05	81,48	4,50	0,52	59,08	1122,47	57,94	2,67	420,17	426,02	5,85	52,09	489,95	10,63
		5,50	2,81	14,45	80,54	4,99	0,54	65,21	1120,34	63,95	2,67	419,12	425,21	6,09	57,86	497,05	11,64

UIS
Ingeniería
Civil

PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MDC-2

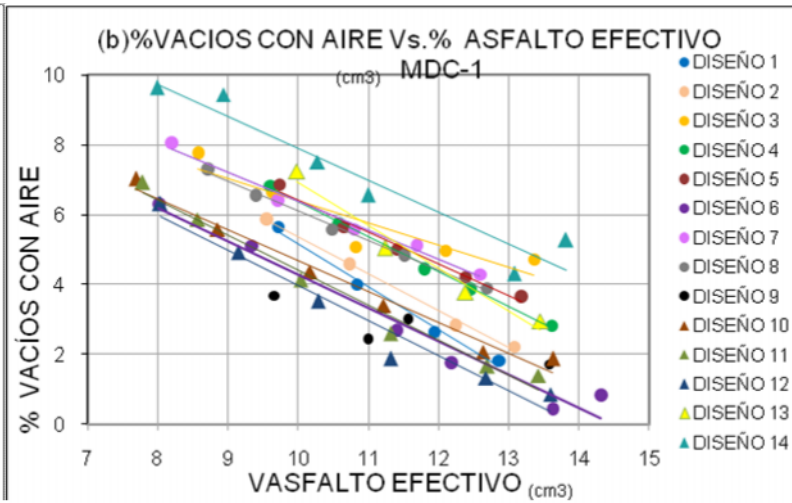
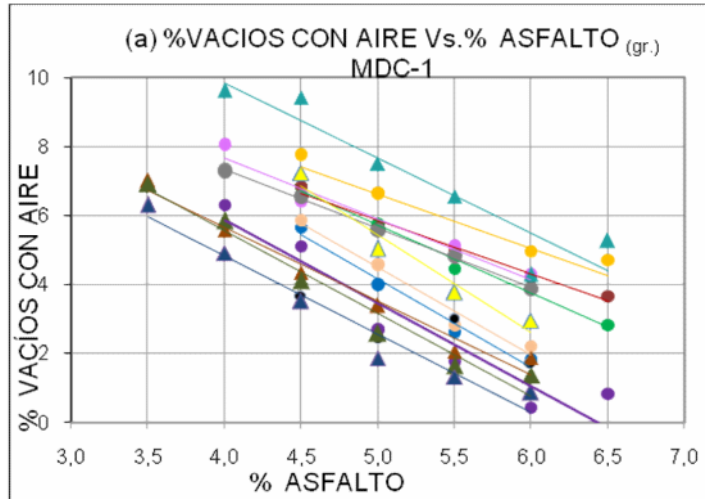
NORMA: INV E-733, E-735

COMPILACIÓN DE LOS PARAMETROS VOLUMÉTRICOS DE LOS DISEÑOS ANALIZADOS

ANEXOS: C.21.

D. VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS
VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL
CONTENIDO DE ASFALTO





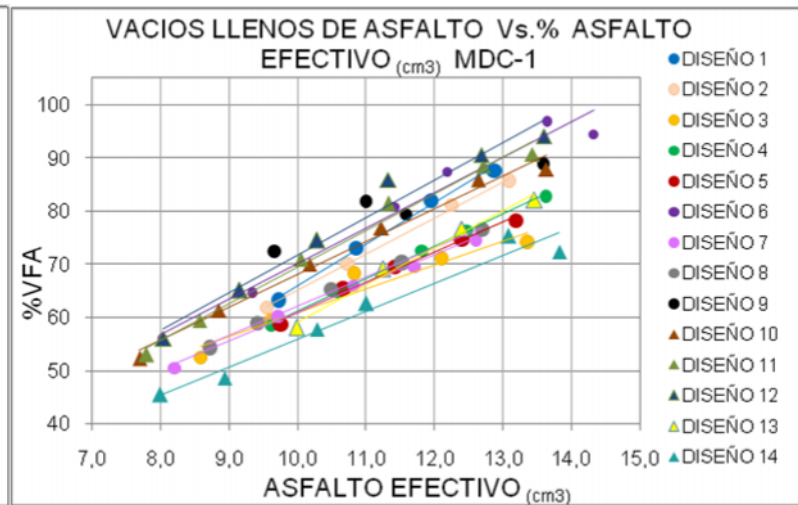
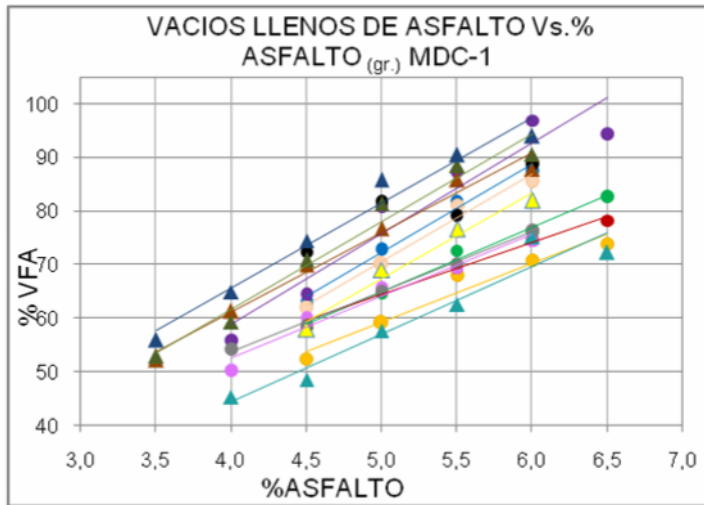
$$\%Va = (m_{Va} * \%Asf.) + b$$

Diseño	m_{Va}	b
DISEÑO 1	-2,57	17,00
DISEÑO 2	-2,55	17,23
DISEÑO 3	-1,56	14,43
DISEÑO 4	-1,98	15,63
DISEÑO 5	-1,56	13,67
DISEÑO 6	-2,42	15,54
DISEÑO 7	-1,77	14,72
DISEÑO 8	-1,71	14,20
DISEÑO 9	-2,26	14,38
DISEÑO 10	-2,13	14,14
DISEÑO 11	-2,39	15,11
DISEÑO 12	-2,27	13,90
DISEÑO 13	-2,83	19,60
DISEÑO 14	-2,18	18,56

$$\%Va = (m_{Va} * \%Asf. Efec.) + b$$

Diseño	m_{Va}	b
DISEÑO 1	-1,22	17,39
DISEÑO 2	-1,06	15,92
DISEÑO 3	-0,64	12,80
DISEÑO 4	-1,00	16,37
DISEÑO 5	-0,91	15,48
DISEÑO 6	-0,96	13,83
DISEÑO 7	-0,83	14,68
DISEÑO 8	-0,85	14,58
DISEÑO 9	-0,96	13,99
DISEÑO 10	-0,89	13,51
DISEÑO 11	-1,00	14,43
DISEÑO 12	-1,01	14,03
DISEÑO 13	-1,23	19,24
DISEÑO 14	-0,91	17,01

UIS Ingeniería Civil	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL ASFALTO CONTENIDO	NORMAS INVIAS
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: D.1.



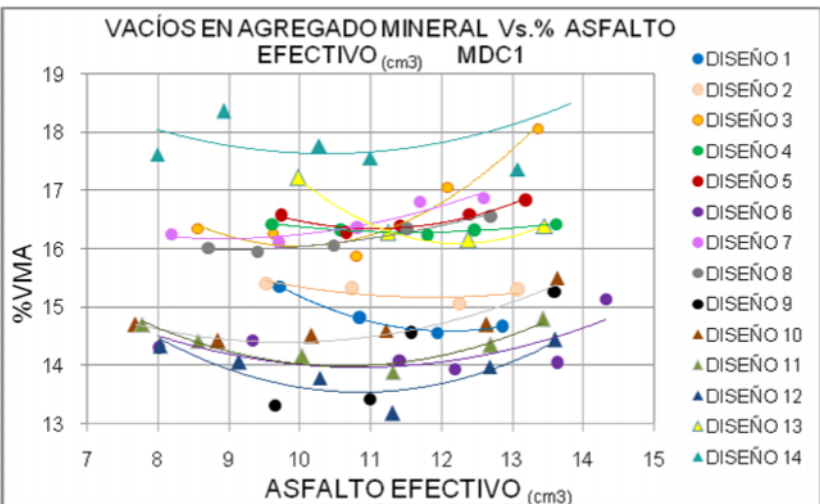
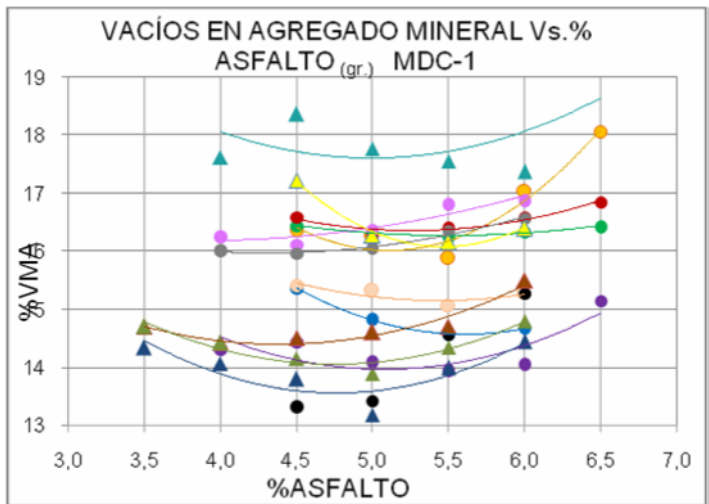
$$\%VFA = (m_{VFA} * \%Asf.) + b$$

Diseño	m_{VFA}	b
DISEÑO 1	16,38	-9,57
DISEÑO 2	16,39	-11,41
DISEÑO 3	10,95	4,69
DISEÑO 4	12,06	4,61
DISEÑO 5	9,68	16,05
DISEÑO 6	16,91	-8,75
DISEÑO 7	11,53	6,48
DISEÑO 8	11,16	9,25
DISEÑO 9	15,68	0,17
DISEÑO 10	14,77	2,16
DISEÑO 11	16,37	-3,82
DISEÑO 12	15,89	2,16
DISEÑO 13	15,97	-12,42
DISEÑO 14	12,56	-5,64

$$\%VFA = (m_{VFA} * \%Asf. Efec.) + b$$

Diseño	m_{VFA}	b
DISEÑO 1	7,80	-11,98
DISEÑO 2	6,81	-2,89
DISEÑO 3	4,51	15,80
DISEÑO 4	6,10	0,17
DISEÑO 5	5,62	4,87
DISEÑO 6	6,68	3,38
DISEÑO 7	5,39	6,97
DISEÑO 8	5,53	6,67
DISEÑO 9	6,69	2,87
DISEÑO 10	6,16	6,53
DISEÑO 11	6,88	0,84
DISEÑO 12	7,05	1,25
DISEÑO 13	6,94	-10,21
DISEÑO 14	5,24	3,47

UIS Ingeniería Civil	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL ASFALTO CONTENIDO	NORMAS INVIAS
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: D.2.



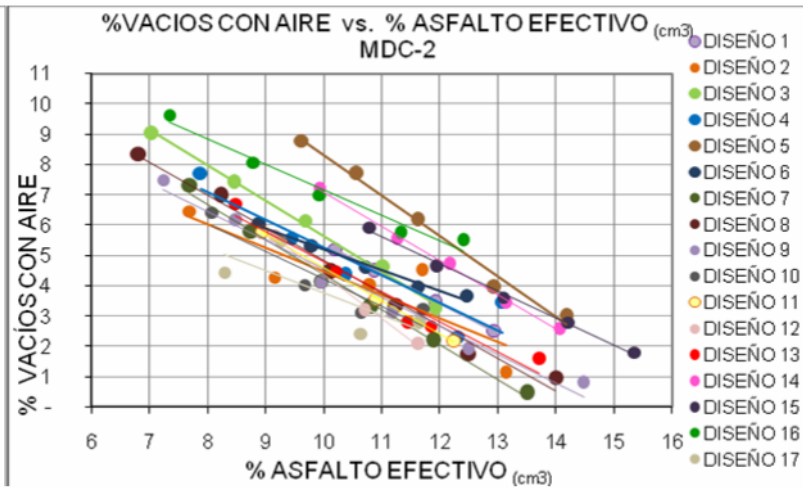
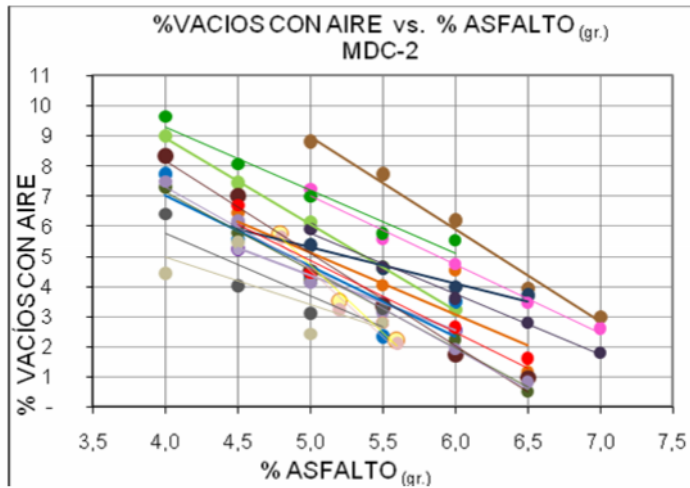
$$\%VMA = a*(\%Asf.)^2 + b*(\%Asf.) + c$$

Diseño	a	B	c
DISEÑO 1	0,64	-7,15	34,62
DISEÑO 2	0,32	-3,43	24,50
DISEÑO 3	1,07	-10,93	43,95
DISEÑO 4	0,16	-1,80	21,21
DISEÑO 5	0,34	-3,54	25,66
DISEÑO 6	0,47	-4,81	26,17
DISEÑO 7	0,17	-1,32	18,72
DISEÑO 8	0,21	-1,82	19,90
DISEÑO 9	0,47	-4,42	24,31
DISEÑO 10	0,39	-3,41	21,87
DISEÑO 11	0,47	-4,44	24,59
DISEÑO 12	0,57	-5,42	26,47
DISEÑO 13	1,19	-12,98	51,57
DISEÑO 14	0,46	-4,62	29,13

$$\%VMA = a*(\%Asf. Efec.)^2 + b*(\%Asf. Efec.) + c$$

Diseño	a	b	c
DISEÑO 1	0,14	-3,28	34,41
DISEÑO 2	0,05	-1,21	22,35
DISEÑO 3	0,18	-3,63	34,14
DISEÑO 4	0,04	-0,92	21,62
DISEÑO 5	0,12	-2,56	30,53
DISEÑO 6	0,07	-1,44	21,76
DISEÑO 7	0,06	-1,04	20,79
DISEÑO 8	0,04	-0,73	19,19
DISEÑO 9	0,09	-1,96	24,33
DISEÑO 10	0,07	-1,31	20,86
DISEÑO 11	0,10	-2,04	24,80
DISEÑO 12	0,12	-2,54	27,32
DISEÑO 13	0,22	-5,27	48,34
DISEÑO 14	0,07	-1,52	25,51

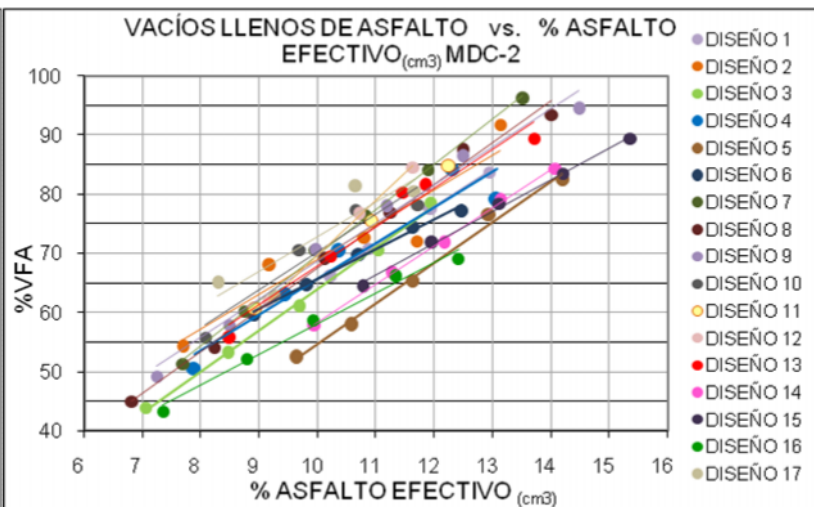
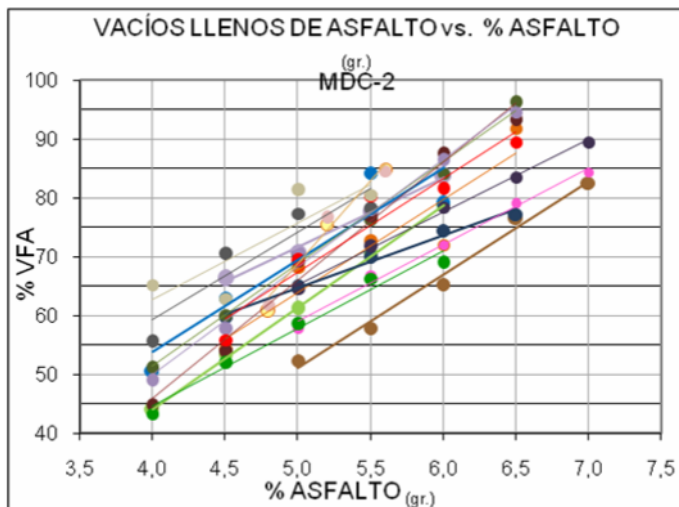
UIS Ingeniería Civil	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL ASFALTO CONTENIDO	NORMAS INVIAS
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: D.3.



%Va = (m _{Va} * %Asf) + b		
Diseño	m _{Va}	b
DISEÑO 1	-1,817	13,450
DISEÑO 2	-2,058	15,410
DISEÑO 3	-2,869	20,430
DISEÑO 4	-2,348	16,410
DISEÑO 5	-3,062	24,290
DISEÑO 6	-1,204	11,340
DISEÑO 7	-2,599	17,540
DISEÑO 8	-3,070	20,440
DISEÑO 9	-2,688	18,060
DISEÑO 10	-2,078	14,070
DISEÑO 11	-4,488	27,300
DISEÑO 12	-4,416	26,620
DISEÑO 13	-2,395	16,820
DISEÑO 14	-2,273	18,360
DISEÑO 15	-2,017	15,860
DISEÑO 16	-2,101	17,700
DISEÑO 17	-1,587	11,320

%Va = (m _{Va} * %Asf Efec) + b		
Diseño	m _{Va}	b
DISEÑO 1	-0,979	15,160
DISEÑO 2	-0,774	12,210
DISEÑO 3	-1,159	17,240
DISEÑO 4	-0,912	14,360
DISEÑO 5	-1,333	21,640
DISEÑO 6	-0,675	11,940
DISEÑO 7	-1,152	15,910
DISEÑO 8	-1,079	15,630
DISEÑO 9	-0,943	13,980
DISEÑO 10	-0,914	13,360
DISEÑO 11	-1,085	15,440
DISEÑO 12	-1,144	18,810
DISEÑO 13	-0,994	14,730
DISEÑO 14	-1,12	18,32
DISEÑO 15	-0,89	15,34
DISEÑO 16	-0,834	15,500
DISEÑO 17	-0,74	11,13

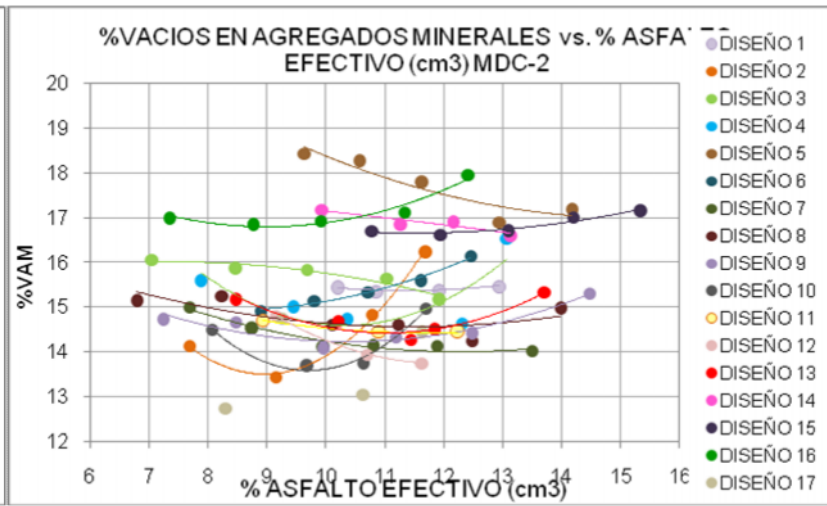
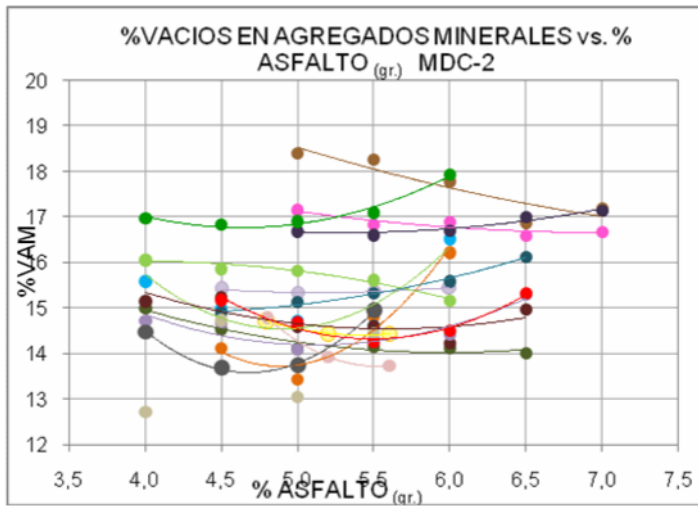
UIS Ingeniería Civil	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL ASFALTO CONTENIDO	NORMAS INVIAS
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS:D.4.



%VFA = (m _{VFA} * %Asf) + b		
Diseño	m _{VFA}	b
DISEÑO 1	11,830	12,430
DISEÑO 2	15,750	-14,800
DISEÑO 3	17,350	-25,240
DISEÑO 4	15,640	-8,791
DISEÑO 5	15,840	-28,130
DISEÑO 6	8,951	19,980
DISEÑO 7	17,340	-17,930
DISEÑO 8	20,080	-34,430
DISEÑO 9	18,340	-23,460
DISEÑO 10	14,860	-0,115
DISEÑO 11	28,460	-73,570
DISEÑO 12	28,460	-73,570
DISEÑO 13	15,850	-11,860
DISEÑO 14	13,050	-6,312
DISEÑO 15	12,280	3,848
DISEÑO 16	13,180	-8,053
DISEÑO 17	12,970	10,880

%VFA = (m _{VFA} * %Asf Efec) + b		
Diseño	m _{VFA}	b
DISEÑO 1	6,381	1,284
DISEÑO 2	5,904	9,901
DISEÑO 3	7,009	-5,981
DISEÑO 4	6,049	5,217
DISEÑO 5	6,910	-14,530
DISEÑO 6	5,020	15,500
DISEÑO 7	7,701	-7,191
DISEÑO 8	7,054	-2,810
DISEÑO 9	6,440	4,314
DISEÑO 10	6,456	5,784
DISEÑO 11	9,265	-22,780
DISEÑO 12	9,265	-22,700
DISEÑO 13	6,567	2,194
DISEÑO 14	6,44	-5,95
DISEÑO 15	5,40	7,01
DISEÑO 16	5,224	5,871
DISEÑO 17	5,90	13,79

UIS Ingeniería Civil	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL ASFALTO CONTENIDO	NORMAS INVIA
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: D.5.



%VMA = a*(%asf)^2 + b*(%asf) + c			
Diseño	a	B	c
DISEÑO 1	0,152	-1,570	19,38
DISEÑO 2	-0,698	8,310	-9,65
DISEÑO 3	-0,198	1,582	12,86
DISEÑO 4	1,470	-14,410	49,84
DISEÑO 5	0,130	-2,335	26,95
DISEÑO 6	0,201	-1,637	18,22
DISEÑO 7	0,238	-2,851	22,54
DISEÑO 8	0,308	-3,459	24,23
DISEÑO 9	0,528	-5,417	28,06
DISEÑO 10	1,991	-18,620	57,13
DISEÑO 11	0,771	-8,360	57,13
DISEÑO 12	2,072	-22,870	76,87
DISEÑO 13	0,944	-10,360	42,70
DISEÑO 14	0,119	-1,676	22,53
DISEÑO 15	0,189	-2,016	22,00
DISEÑO 16	0,597	-5,536	29,61
DISEÑO 17	0,25	-2,65	21,66

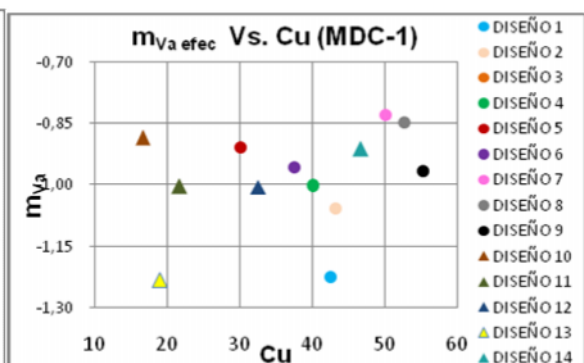
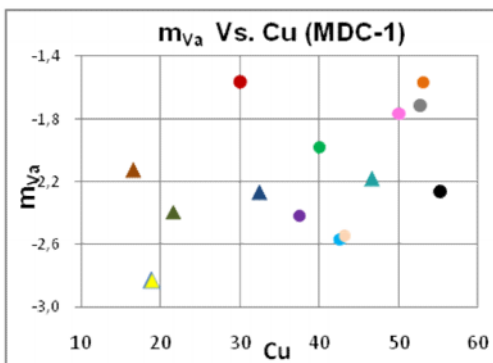
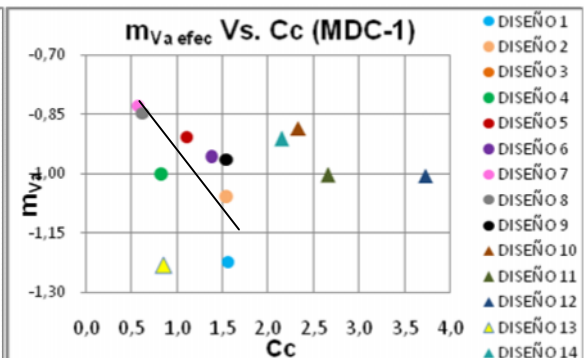
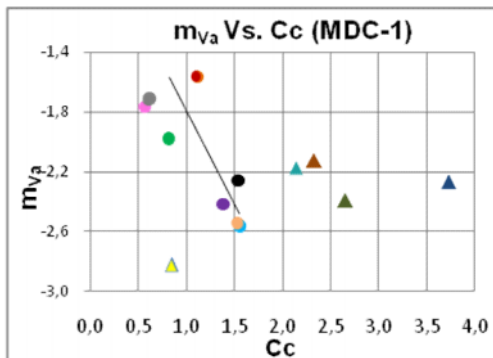
%VMA = a*(%asf efec)^2 + b*(%asf efec) + c			
Diseño	a	b	c
DISEÑO 1	0,04	-1,02	21,12
DISEÑO 2	0,37	-6,72	43,62
DISEÑO 3	-0,04	0,54	14,05
DISEÑO 4	0,19	-4,00	35,25
DISEÑO 5	0,05	-1,05	28,65
DISEÑO 6	0,07	-1,10	19,44
DISEÑO 7	0,04	-1,09	20,72
DISEÑO 8	0,04	-0,83	19,30
DISEÑO 9	0,06	-1,30	20,94
DISEÑO 10	0,34	-6,54	45,38
DISEÑO 11	0,04	-0,86	19,43
DISEÑO 12	0,14	-3,27	33,27
DISEÑO 13	0,12	-2,73	29,50
DISEÑO 14	0,00	-0,09	18,30
DISEÑO 15	0,04	-0,85	21,56
DISEÑO 16	0,09	-1,69	24,38
DISEÑO 17	0,07	-1,08	23,75

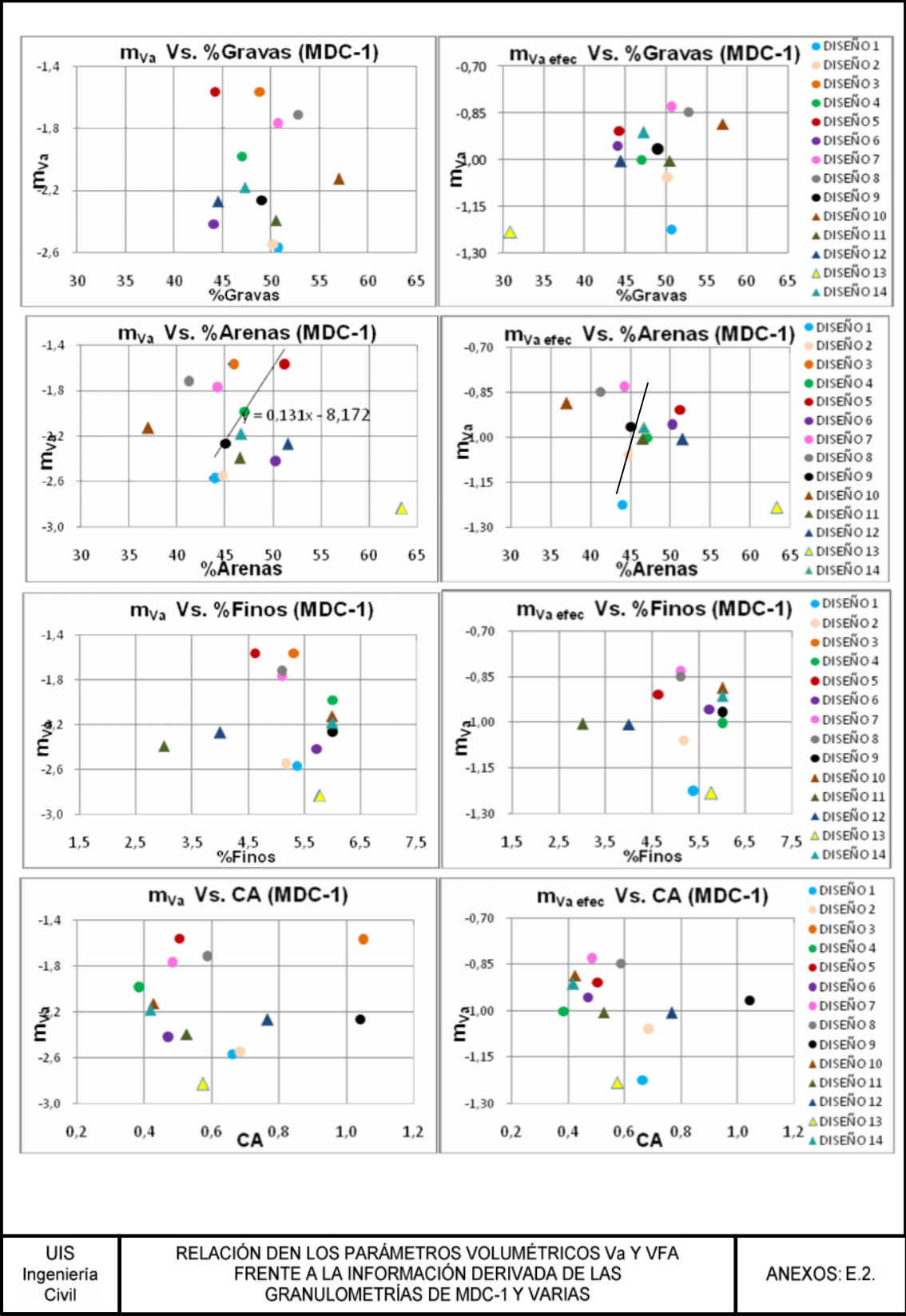
UIS Ingeniería Civil	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS RESPECTO AL ASFALTO CONTENIDO	NORMAS INVIAS
	FUENTE: ELABORADO POR EL ESTUDIANTE	ANEXOS: D.6.

E.RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS FRENTE A LA INFORMACIÓN GRANULOMÉTRICA



MDC-1											
	D60	D30	D10	Cc	Cu	Retenido No.4 (4,75mm)	Retenido No.200 (0,075mm)	Pasa No. 200 (0,075mm)	CA	F _{ac}	F _{af}
DISEÑO 1	6,80	1,30	0,16	1,55	42,50	50,71	43,92	5,37	0,66	0,32	0,34
DISEÑO 2	6,90	1,30	0,16	1,53	43,13	50,13	44,71	5,17	0,68	0,32	0,32
DISEÑO 3	6,90	1,00	0,13	1,11	53,08	48,80	45,90	5,30	1,05	0,42	0,25
DISEÑO 4	7,00	1,00	0,18	0,82	40,00	47,00	47,00	6,00	0,38	0,34	0,33
DISEÑO 5	6,00	1,15	0,20	1,10	30,00	44,22	51,16	4,62	0,50	0,27	0,31
DISEÑO 6	6,00	1,15	0,16	1,38	37,50	44,06	50,23	5,71	0,47	0,31	0,33
DISEÑO 7	8,00	0,85	0,16	0,56	50,00	50,70	44,20	5,10	0,48	0,43	0,24
DISEÑO 8	7,90	0,85	0,15	0,61	52,67	52,80	41,20	5,10	0,59	0,46	0,28
DISEÑO 9	6,90	1,15	0,13	1,53	55,20	49,00	45,00	6,00	1,04	0,38	0,31
DISEÑO 10	9,60	3,60	0,58	2,33	16,55	57,00	37,00	6,00	0,43	0,27	0,42
DISEÑO 11	8,00	2,80	0,37	2,65	21,62	50,50	46,50	3,00	0,53	0,31	0,42
DISEÑO 12	6,50	2,20	0,20	3,72	32,50	44,50	51,50	4,00	0,77	0,34	0,47
DISEÑO 13	3,30	0,70	0,18	0,85	18,86	30,92	63,31	5,77	0,57	0,40	0,28
DISEÑO 14	7,00	1,50	0,15	2,14	46,67	47,31	46,69	6,00	0,42	0,40	0,37

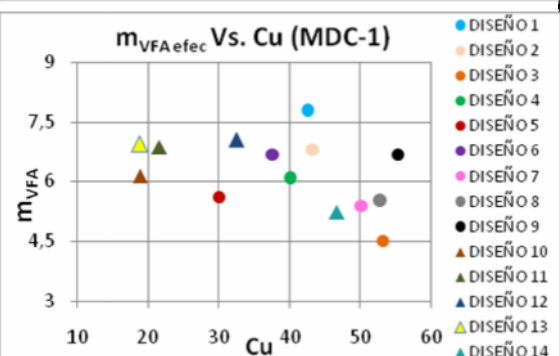
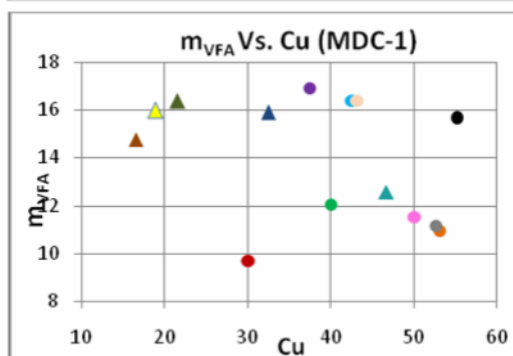
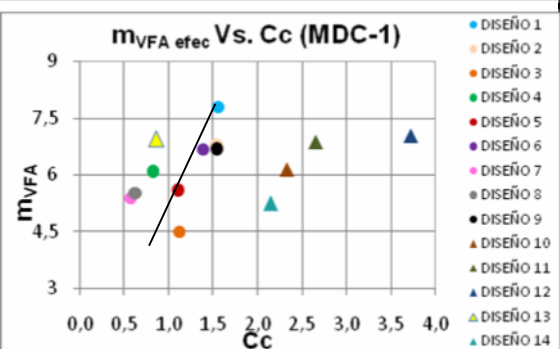
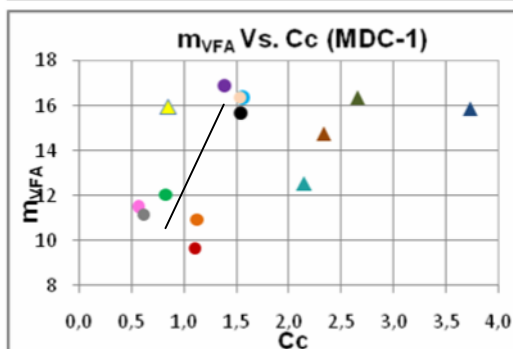
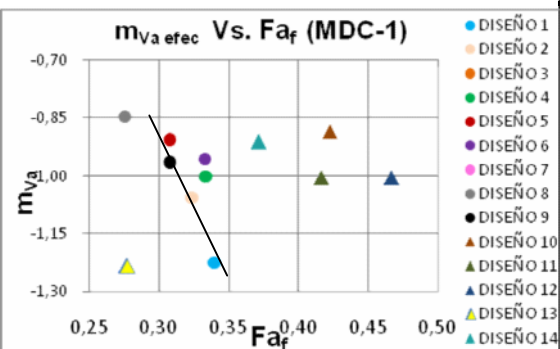
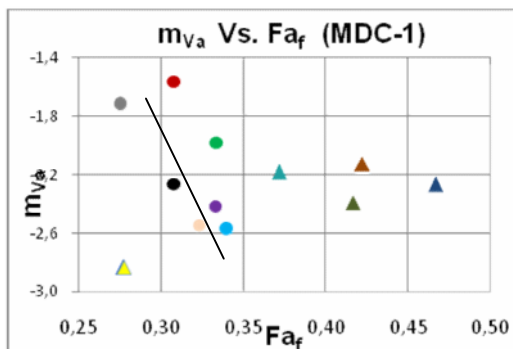
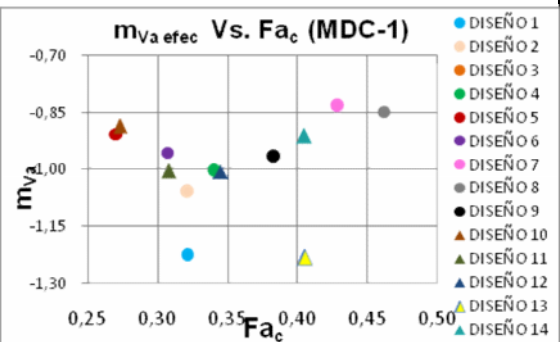
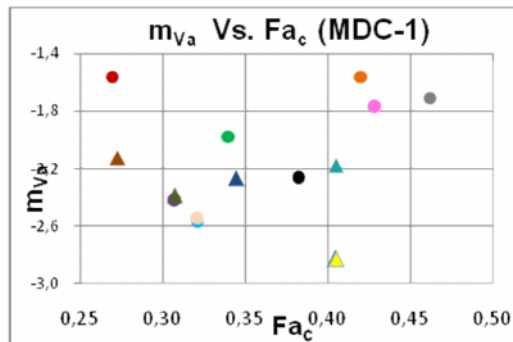




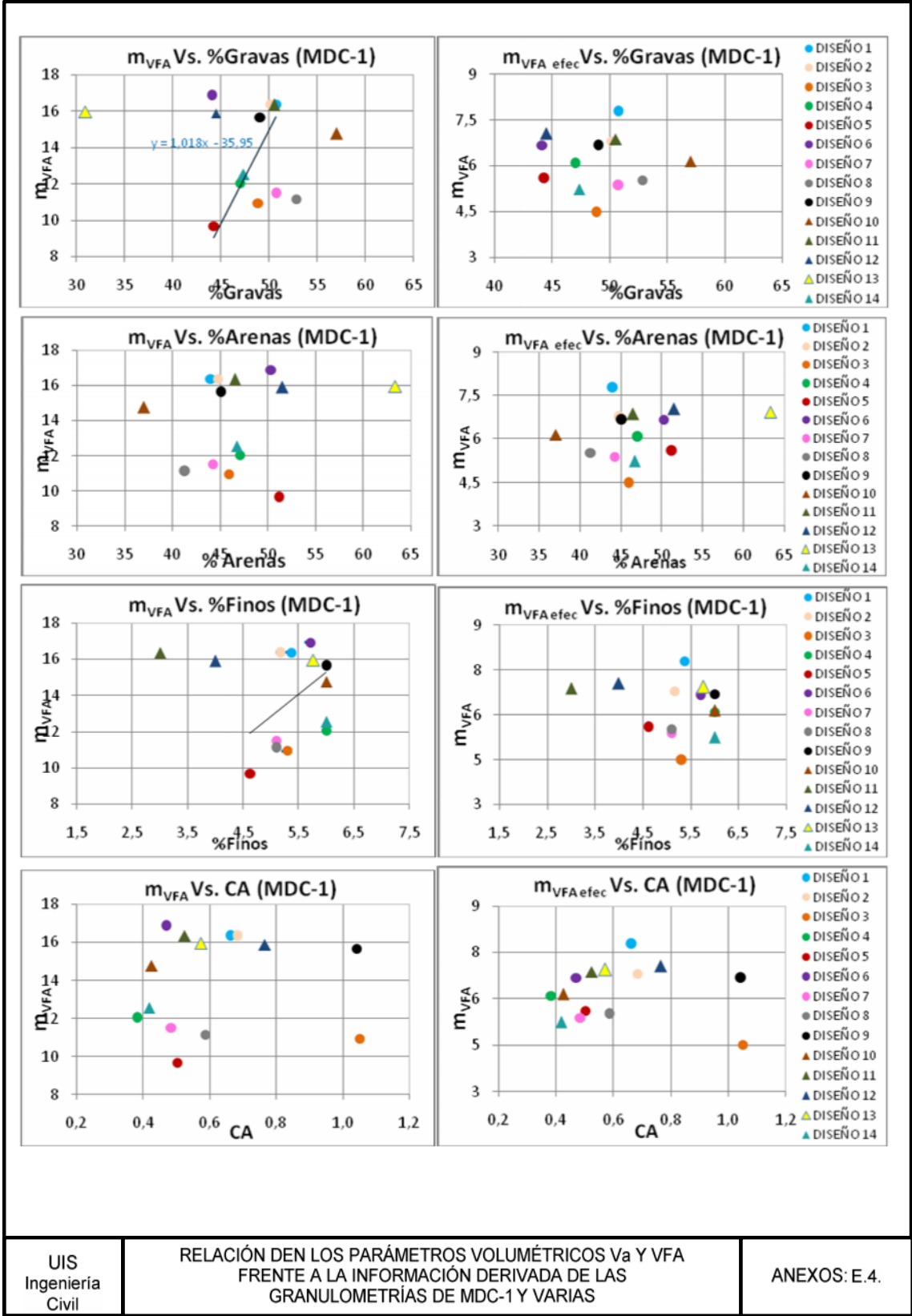
UIS
Ingeniería
Civil

RELACIÓN DEN LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS V_a Y V_{fa}
FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS
GRANULOMETRÍAS DE MDC-1 Y VARIAS

ANEXOS: E.2.



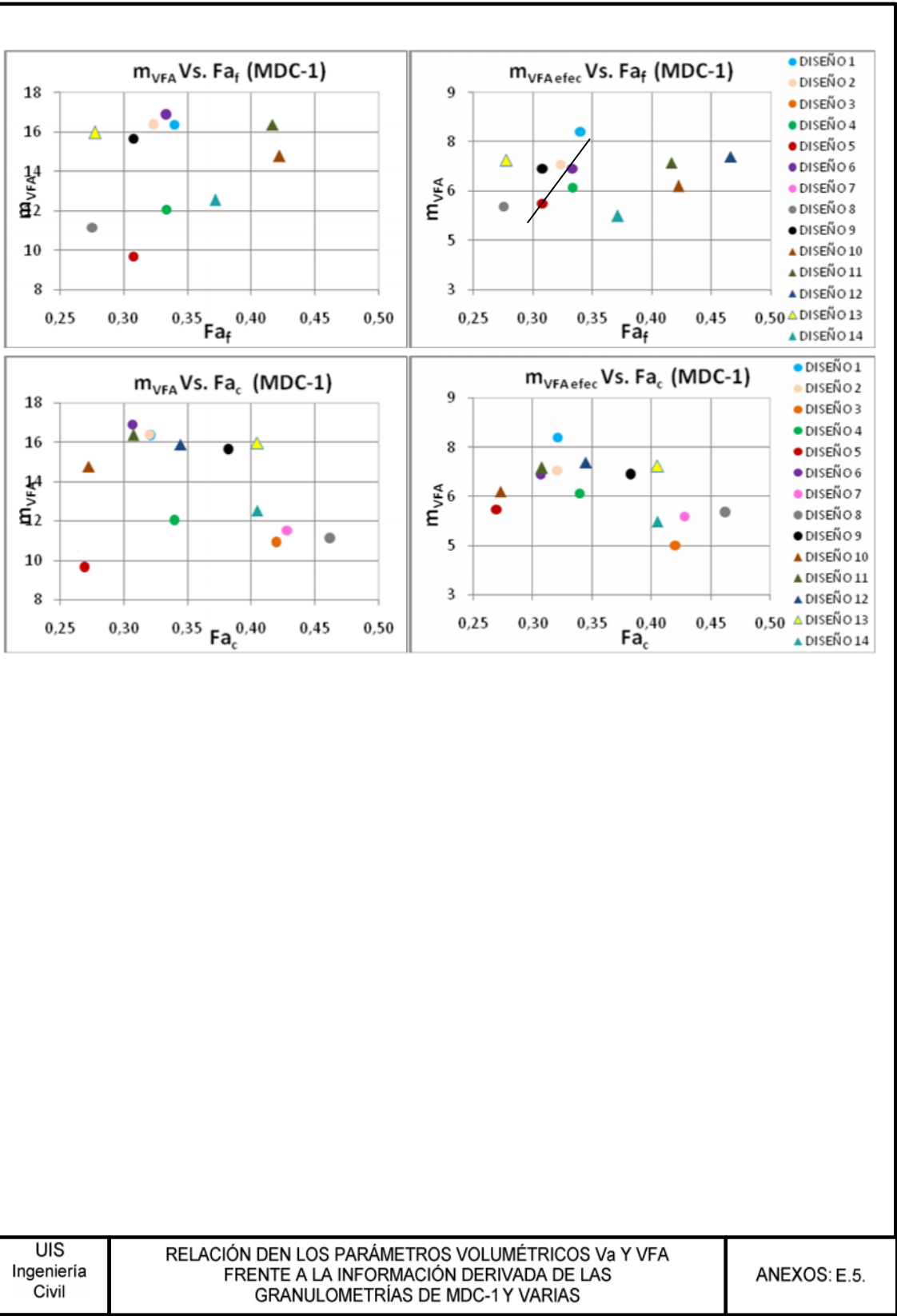
UIS Ingeniería Civil	RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS V_a Y V_{FA} FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS GRANULOMETRÍAS DE MDC-1 Y VARIAS	ANEXOS: E.3.
----------------------------	---	--------------



UIS
Ingeniería
Civil

RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS V_a Y VFA
FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS
GRANULOMETRÍAS DE MDC-1 Y VARIAS

ANEXOS: E.4.

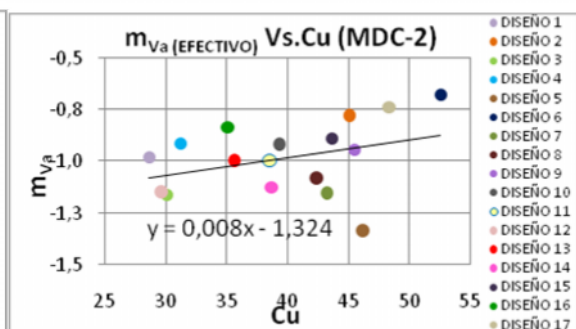
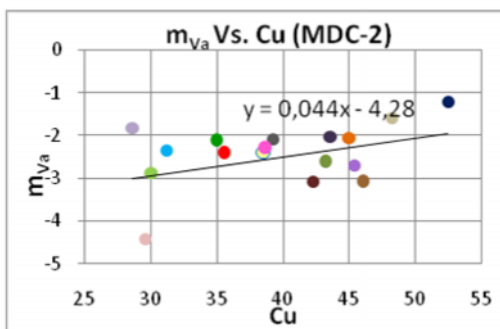
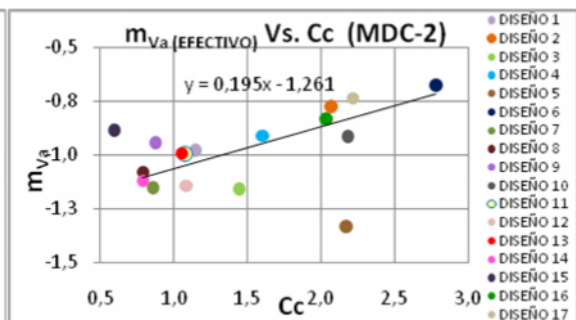
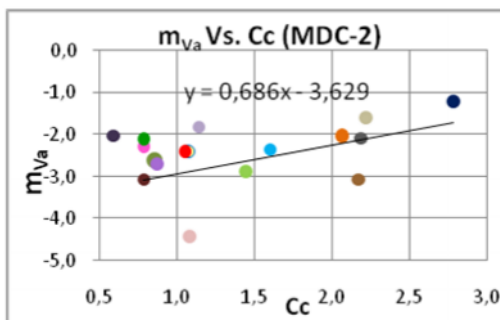


UIS
Ingeniería
Civil

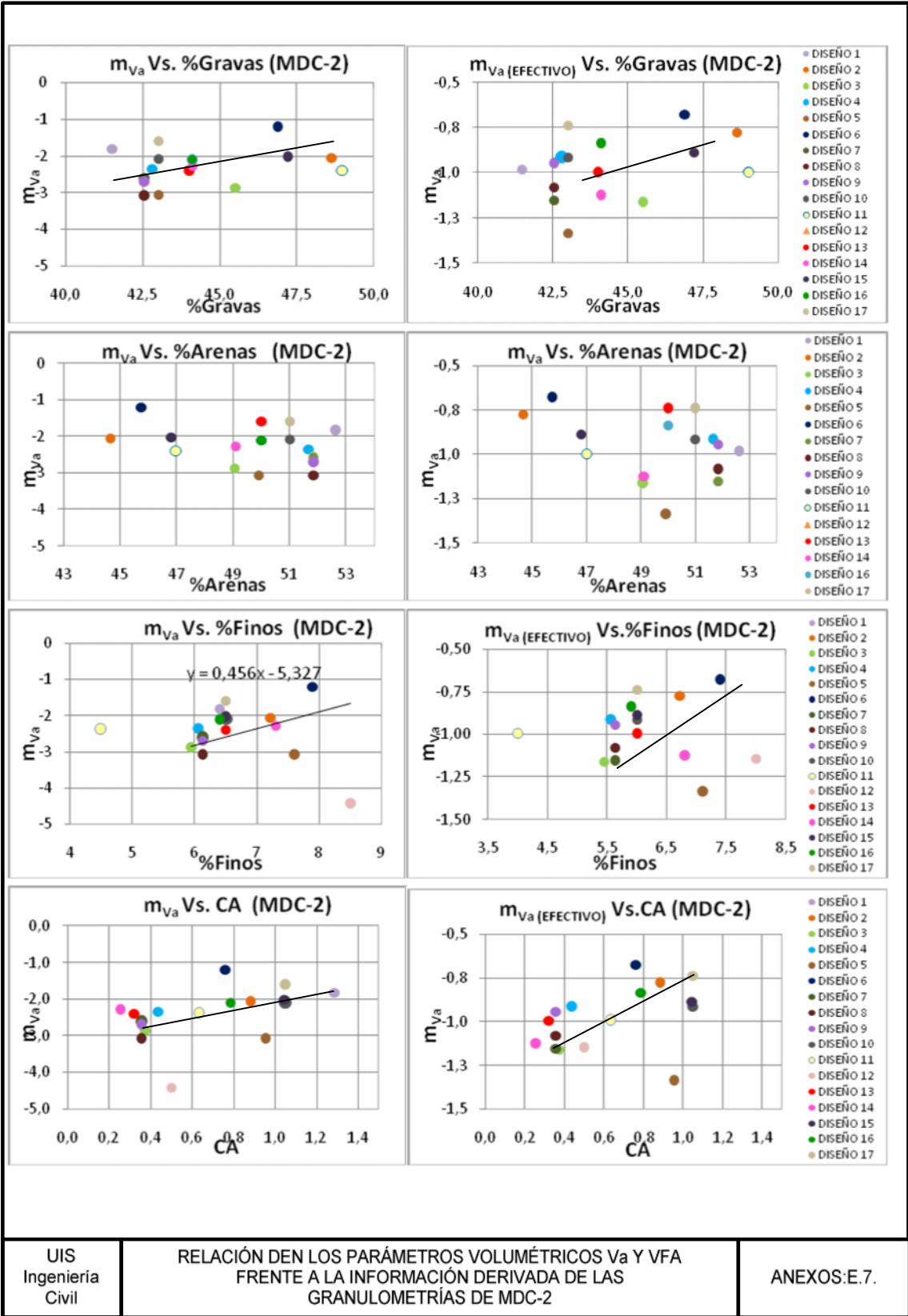
RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS Va Y VFA
FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS
GRANULOMETRÍAS DE MDC-1 Y VARIAS

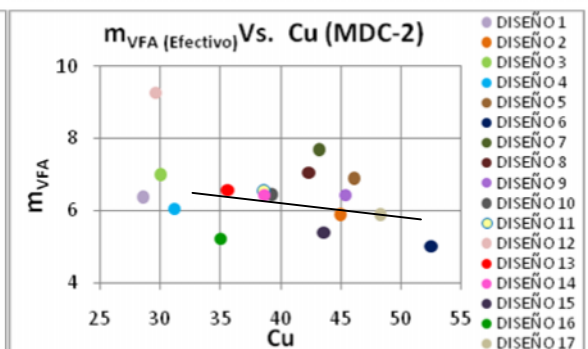
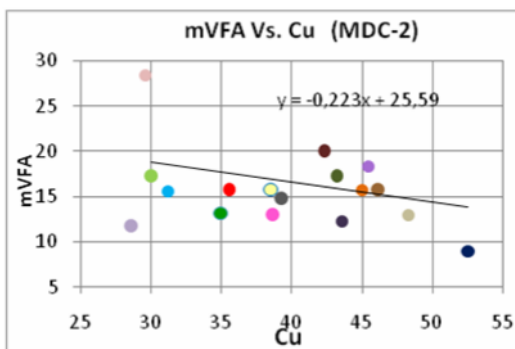
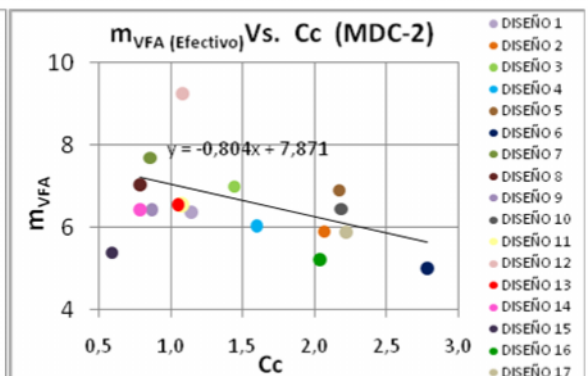
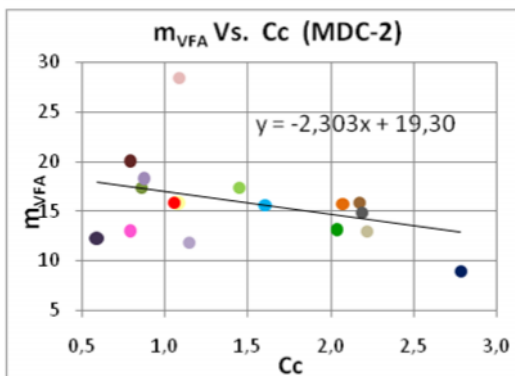
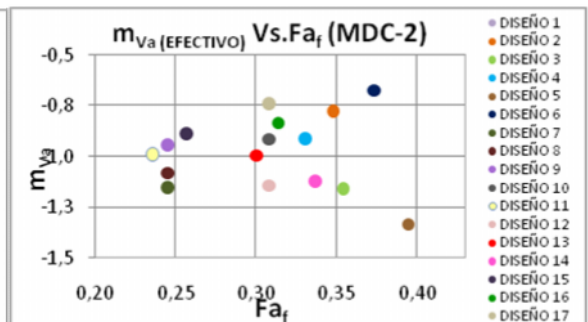
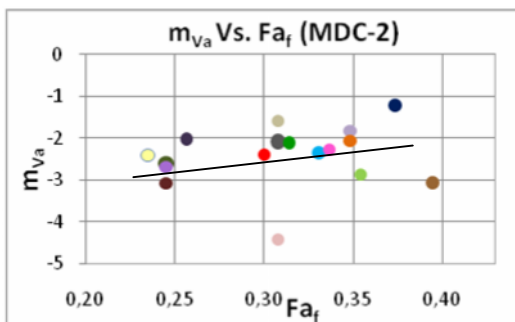
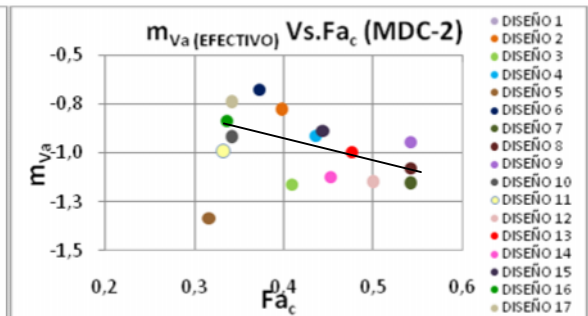
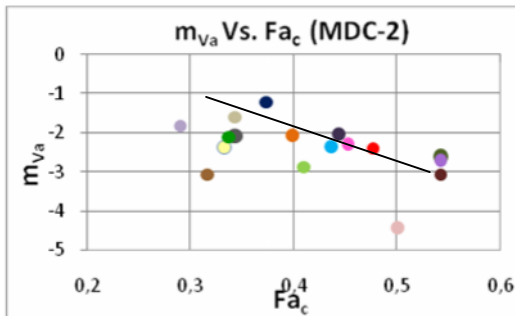
ANEXOS: E.5.

MDC-2											
	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	Cc	Cu	Retenido No.4 (4,75mm)	Retenido No.200 (0,075mm)	Pasa No. 200 (0,075mm)	CA	Fa _c	Fa _f
DISEÑO 1	5,00	1,00	0,18	1,14	28,57	41,48	52,62	5,90	1,28	0,29	0,35
DISEÑO 2	6,30	1,35	0,14	2,07	45,00	48,62	44,66	6,71	0,88	0,40	0,35
DISEÑO 3	5,70	1,25	0,19	1,44	30,00	45,49	49,06	5,44	0,37	0,41	0,35
DISEÑO 4	5,30	1,20	0,17	1,60	31,18	42,79	51,66	5,55	0,44	0,44	0,33
DISEÑO 5	5,30	1,15	0,12	2,17	46,09	43,00	49,90	7,10	0,95	0,32	0,39
DISEÑO 6	6,30	1,45	0,12	2,78	52,50	46,88	45,73	7,39	0,76	0,37	0,37
DISEÑO 7	5,40	0,76	0,13	0,86	43,20	42,53	51,84	5,63	0,35	0,54	0,24
DISEÑO 8	5,50	0,75	0,13	0,79	42,31	42,53	51,84	5,63	0,35	0,54	0,24
DISEÑO 9	5,45	0,76	0,12	0,87	45,42	42,53	51,84	5,63	0,35	0,54	0,24
DISEÑO 10	5,30	1,25	0,14	2,18	39,26	43,00	51,00	6,00	1,05	0,34	0,31
DISEÑO 11	5,40	0,90	0,14	1,07	38,57	49,00	47,00	4,00	0,63	0,33	0,24
DISEÑO 12	6,80	1,30	0,23	1,08	29,57	32,00	60,00	8,00	0,50	0,50	0,31
DISEÑO 13	3,20	0,55	0,09	1,05	35,56	44,00	50,00	6,00	0,32	0,48	0,30
DISEÑO 14	5,60	0,80	0,15	0,79	38,62	44,10	49,10	6,80	0,25	0,45	0,34
DISEÑO 15	6,10	0,71	0,14	0,59	43,57	47,20	46,80	6,00	1,04	0,44	0,26
DISEÑO 16	5,60	1,35	0,16	2,03	35,00	44,10	50,00	5,90	0,79	0,34	0,31
DISEÑO 17	7,00	1,50	0,15	2,22	48,28	43,00	51,00	6,00	1,05	0,34	0,31



UIS Ingeniería Civil	RELACIÓN DEN LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS Va Y VFA FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS GRANULOMETRÍAS DE MDC-2	ANEXOS: E.6.
----------------------------	---	--------------

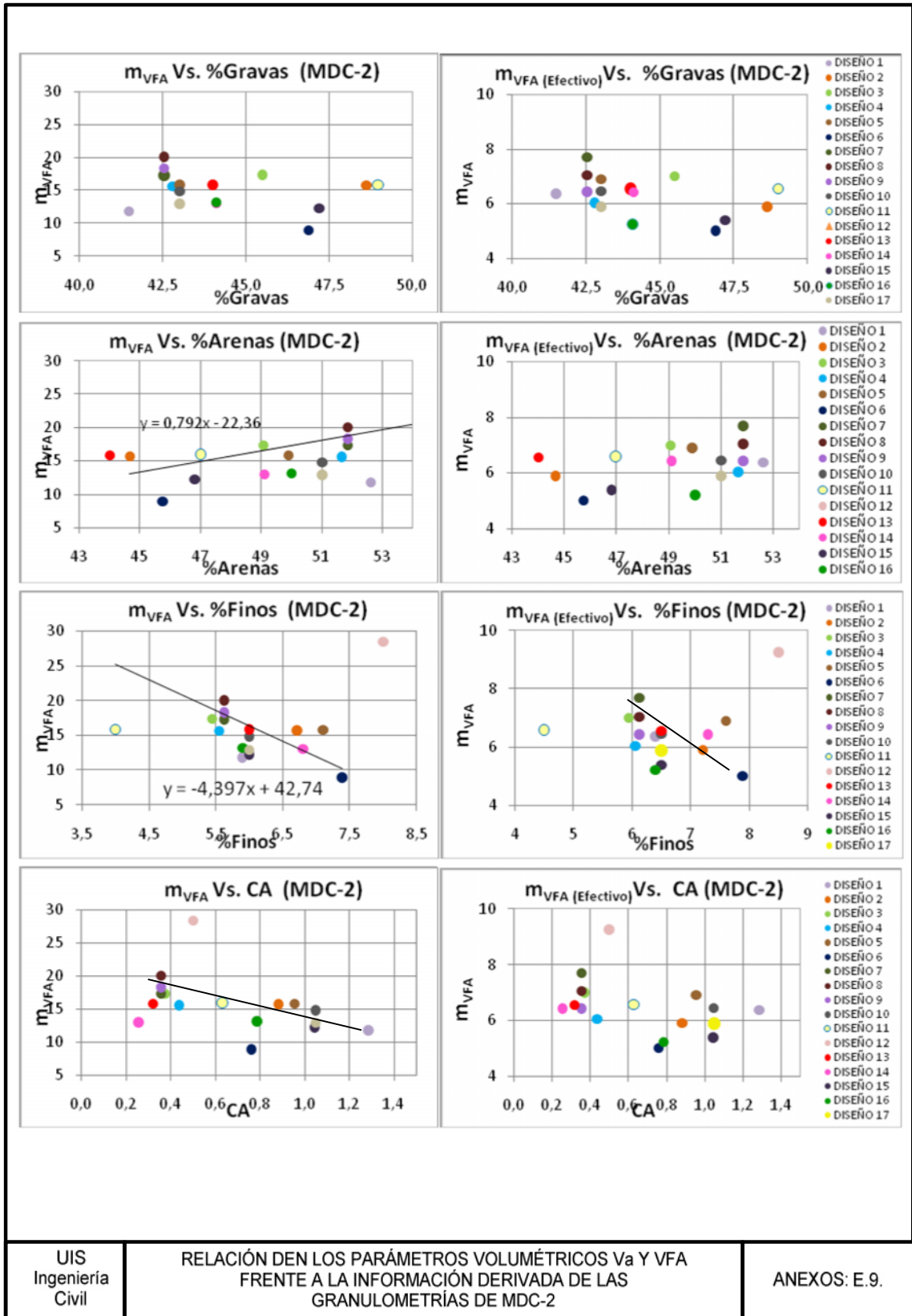




UIS
Ingeniería
Civil

RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS V_a Y V_{FA}
FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS
GRANULOMETRÍAS DE MDC-2

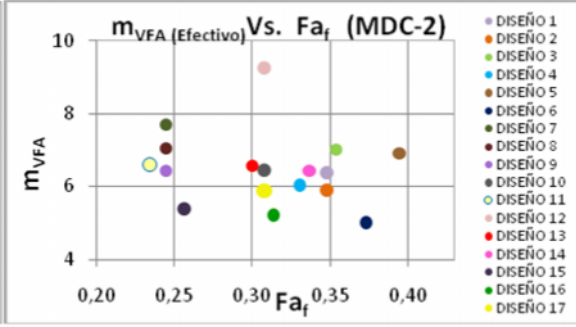
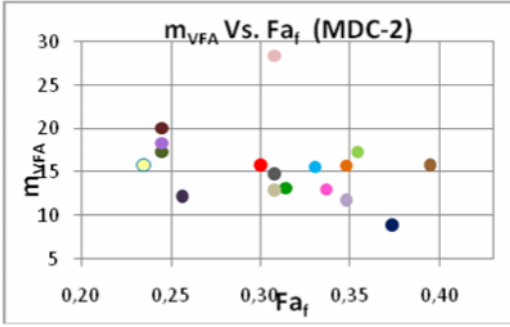
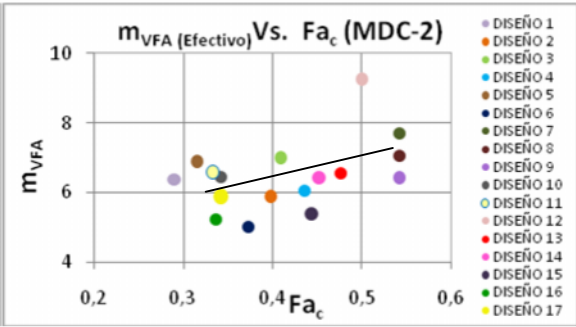
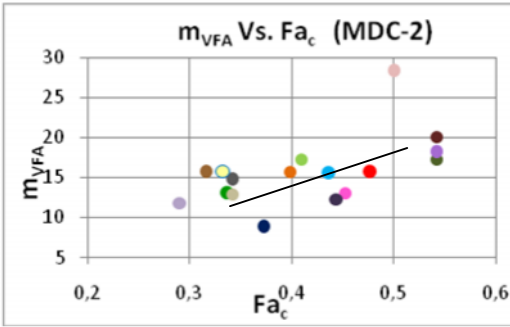
ANEXOS:E.8.



UIS
Ingeniería
Civil

RELACIÓN DEN LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS Va Y VFA
FRENTA A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS
GRANULOMETRÍAS DE MDC-2

ANEXOS: E.9.



UIS Ingeniería Civil	RELACIÓN DEN LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS Va Y VFA FRENTE A LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LAS GRANULOMETRÍAS DE MDC-2	ANEXOS: E.10.
----------------------------	---	---------------