



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO:

COMPARACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
EMPLEANDO EL MÉTODO MARSHALL Y EL COMPACTADOR
GIRATORIO SUPERPAVE

AUTORES:

PINEDA JACHO EDWIN SANTIAGO
HERNÁNDEZ ANDRADE CARLOS ANDRÉS

Trabajo de Seminario de Graduación
Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Ing. Gustavo García Caputi

**Guayaquil, Ecuador
2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Sres. Edwin Santiago Pineda Jacho y Carlos Andrés Hernández Andrade, como requerimiento parcial para la obtención del Título de INGENIERO CIVIL.

TUTOR:

Ing. Gustavo García Caputi,

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario Dueñas Rossi

Guayaquil, a los 7 días del mes de octubre del año 2014



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**Yo, Edwin Santiago Pineda Jacho
Yo, Carlos Andrés Hernández Andrade**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: “COMPARACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EL MÉTODO MARSHALL Y EL COMPACTADOR GIRATORIO SUPERPAVE”, previa a la obtención del Título de INGENIERO CIVIL, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 7 días del mes de octubre del año 2014

LOS AUTORES

Pineda Jacho Edwin Santiago

Hernández Andrade Carlos Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Edwin Santiago Pineda Jacho
Yo, Carlos Andrés Hernández Andrade

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “COMPARACIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EL MÉTODO MARSHALL Y EL COMPACTADOR GIRATORIO SUPERPAVE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 7 días del mes de octubre del año 2014

LOS AUTORES

Pineda Jacho Edwin Santiago

Hernández Andrade Carlos Andrés

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la oportunidad y motivaciones necesarias para cumplir con esta meta, a mi familia y amigos en general, a mis hermanos por presionarme y animarme a terminar la carrera ya que varias veces pensé en tirar la toalla, a mi padre que gracias a sus muy silenciosos pero a la vez notorios ejemplos me incentivó y sobretodo me enseñó lo importante del trabajo y los estudios, de manera muy especial quiero agradecer a mi querida madre que no hubo un solo día en el que dejara de apoyarme y motivarme en el cumplimiento de mi propósito, a mi esposa que está por darme la mayor bendición que existe en la vida y está esperando a nuestro primer hijo, ellos han sido mi más reciente y mayor motivación para cumplir mi objetivo, no puedo dejar de agradecer a mi compañero de fórmula durante toda la vida universitaria y uno de mis mejores amigos, Carlitos Hernández. Agradezco finalmente y no menos importante, a los profesores que de verdad supieron impartir sus conocimientos de la mejor manera, así como a todos los que conforman la UCSG.

Edwin Santiago Pineda Jacho

Agradezco a mi papá por su aliento constante y sus miles de segundas oportunidades, a mi mamá por su gigante corazón y su apoyo incondicional, a mis hermanas y cuñados por siempre estar conmigo, a mi familia en general, tíos, tías, primos y sobrinos que siempre muy unida ha sido un gran pilar en mi vida. Agradezco a mi Chati, que estando lejos ha sabido mantenerse cerca; a mi esposa, por quien he sido y dejado de ser, por su ejemplo de trabajo, valor y fe inagotables. Agradezco a los profesores que supieron enseñar con paciencia y constancia, y a todo el staff de la carrera de ingeniería civil que de alguna manera hicieron esto posible; agradezco a mis compañeros y amigos, y a la compañía Espivía por impulsarme a seguir; también a mi compañero y amigo, Santiago. Y finalmente a Dios.

Carlos Andrés Hernández Andrade

DEDICATORIA

Dedico este título a todos aquellos hombres, mujeres y niños del mundo que pelean diariamente para comer por lo menos una vez al día, que se acurrucan bajo un puente sin más cobijas que el polvo, sin saber si hay un mañana para vivir. Porque este título no tiene ningún sentido si no se convierte en una herramienta para hacer de este mundo un mundo mejor.

Carlos Andrés Hernández Andrade



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFICACIÓN

Ing. Gustavo García Caputi
TUTOR

ÍNDICE GENERAL

Contenido	
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN (ABSTRACT).....	XI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Antecedentes:	12
1.2. Justificación del tema:.....	13
1.2.1. Punto de vista científico:.....	13
1.2.2. Punto de vista social:	13
1.3. Objeto de estudio, características, entorno:.....	13
1.4. Contextualización en tiempo y espacio, establecimiento de los marcos en los que el trabajo se desarrollará:	13
1.5. Objetivos:	14
1.5.1. Objetivo general:	14
1.5.2. Objetivos específicos:	14
1.6. Metodología:	14
CAPÍTULO 2: MEZCLAS ASFÁLTICAS	16
2.1. Mezclas asfálticas en caliente:.....	16
2.2. Cemento asfáltico:	16
2.3. Agregados minerales:	18
CAPÍTULO 3: PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	19
3.1. Definiciones:	19
3.2. Diagrama de componentes:.....	20

3.3. Fórmulas para calcular los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica compactada:	23
CAPÍTULO 4: MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	26
4.1. Método Marshall:	26
4.1.1. Requisitos del Agregado mineral:.....	27
4.1.2. Requisitos de la granulometría:.....	28
4.1.3. Requisitos volumétricos:.....	28
4.1.4. Procedimiento del ensayo Marshall.....	29
4.2. Método Superpave:.....	33
4.2.1. Requisitos del agregado pétreo:.....	33
4.2.2. Requisitos de la granulometría:.....	35
4.2.3. Requisitos de compactación:.....	37
4.2.4. Requisitos volumétricos:.....	39
4.2.5. Procedimiento del método Superpave	39
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS:	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Ensayo de gravedad específica.....	30
Figura 4-2: Calentamiento de agregados en cocina de laboratorio	30
Figura 4-3: Mezcla de agregados con ligante asfáltico.....	31
Figura 4-4: Compactación de briquetas Marshall.....	31
Figura 4-5: Briquetas compactadas.....	32
Figura 4-6: Briquetas sumergidas en agua a 60 grados.....	32
Figura 4-7: Ensayo de briquetas	33
Figura 4-8: Mezcla de agregados según su dosificación.....	40
Figura 4-9: Mezcla de agregados con ligante asfáltico AC-20.....	40
Figura 4-10: Pantalla principal del CGS.....	41
Figura 4-11: Cálculos de pesos de briquetas.....	42
Figura 4-12: Cálculos de ensayos.....	42
Figura 4-13: Briquetas terminadas con el CGS.....	43

RESUMEN (ABSTRACT)

Este trabajo de investigación trata dos métodos de diseño, Marshall y Superpave. Partiendo de la idea de que el método Marshall fue creado hace más de medio siglo para tránsito y cargas muy inferiores a los actuales; nace la necesidad de actualizarse considerando el método Superpave como nueva alternativa en el país. En base a lo anteriormente mencionado se decidió realizar una comparación de ambos métodos de diseño, Marshall y Superpave (Nivel 1).

Para cumplir con el objetivo de comparar los métodos de diseño Marshall y Superpave, se desarrolló el diseño Marshall con tres tipos de agregados, en cantidades suficientes para este método y posteriormente el Superpave, (Grueso: 3/8", Finos: Cisko y Arena río) que fueron obtenidos de la planta asfáltica de Durán, y ligante asfáltico (AC-20) proveniente de la Refinería Estatal de Esmeraldas.

Se realizaron los ensayos de granulometría y gravedades específicas para cada uno de los agregados. Luego se determinó la dosificación para obtener una mezcla única que cumpla las especificaciones del Superpave y del MTOP. Con estos datos se procedió a realizar la mezcla asfáltica para cada método que arrojaron datos que finalmente fueron comparados.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes:

La mezcla asfáltica en caliente para pavimentos de carreteras está compuesta por una combinación de agregados minerales y un cemento asfáltico, ambos con cualidades muy particulares, cuyas proporciones en la mezcla más la efectividad del proceso de compactación implicarán propiedades que pudiesen ser muy variables.

Si bien en la actualidad existen diversos métodos para el diseño de mezclas asfálticas, desde hace varias décadas es usual en el país el método Marshall, concebido hace más de medio siglo para tránsito y cargas muy inferiores a las actuales, y con un enfoque empírico que no considera el comportamiento o desempeño de la mezcla asfáltica a lo largo del tiempo.

En respuesta a lo anterior y como parte del programa para investigación en carreteras SHRP (Strategic Highway Research Program), surgió un procedimiento de dosificación de mezclas asfálticas, denominado SUPERPAVE (Superior Performance Pavement). En éste se desarrollaron nuevas especificaciones para el ligante, un nuevo equipo de compactación, se mejoraron las especificaciones relacionadas con el agregado y se desarrollaron nuevos ensayos para evaluar el comportamiento de la mezcla.

Una de las principales diferencias que distinguen al método SUPERPAVE del Marshall, es la forma de compactación en laboratorio de los especímenes; la tecnología tradicional emplea el martillo Marshall, mientras que el SUPERPAVE emplea el compactador giratorio, el cual compacta los especímenes mediante un proceso de amasado, que es más representativo de las condiciones de campo.

Otros requisitos concernientes a la compactación de los especímenes, son las temperaturas de mezclado y compactación. Para definir dichas temperaturas se requiere medir la viscosidad rotacional del asfalto para al menos dos temperaturas. El SUPERPAVE especifica realizar ensayos de viscosidad rotacional a 135 y 165°C, aunque pueden hacerse mediciones adicionales a otras temperaturas.

1.2. Justificación del tema:

1.2.1. Punto de vista científico:

Ecuador es un país que aún no emplea el método Superpave de manera habitual, como en muchos otros países. Teniendo en cuenta que este nuevo método es más avanzado y considera más datos antes y después del proceso de compactación, debería considerarse su uso con mayor frecuencia.

1.2.2. Punto de vista social:

Los avances tecnológicos en cualquier ámbito traen consigo innumerables beneficios a la sociedad, y este podría no ser la excepción. El incremento de seguridad en el tránsito vehicular, mayor rendimiento financiero y vida útil más prolongada, son algunos de los beneficios que se podrían obtener con Superpave. Todo esto se resume en un mejor servicio para el usuario.

1.3. Objeto de estudio, características, entorno:

El objeto de estudio es la comparación de resultados de diseño de mezclas asfálticas, usando los mismos agregados, de la misma planta, y ligante asfáltico AC-20 proveniente de la Refinería Estatal de Esmeraldas. Los estudios y ensayos se realizaron en el laboratorio de asfalto de la UCSG y en laboratorio de la planta ubicada en Durán.

1.4. Contextualización en tiempo y espacio, establecimiento de los marcos en los que el trabajo se desarrollará:

Con los agregados y asfaltos obtenidos se desarrollará los diseños de las mezclas asfálticas por ambos métodos. El método Marshall será realizado en su totalidad en el laboratorio de asfaltos de la planta de Durán, mientras que el método Superpave se lo llevará a cabo en el laboratorio de asfaltos de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo general:

Comparar de manera teórica y experimental los diseños de mezclas asfálticas realizados por 2 métodos diferentes, empleando el procedimiento Marshall (convencional) y la nueva tecnología SUPERPAVE mediante el Compactador Giratorio, utilizando los mismos agregados minerales y tipo de asfalto.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Determinar la *curva de densificación* para la mezcla asfáltica correspondiente a la planta seleccionada.
- Calcular los vacíos en la mezcla (V_a), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos rellenos con asfalto (VFA) y Rice (Gmm).
- Comparar ambas metodologías de diseño en base a los resultados obtenidos al analizar sus parámetros.

1.6. Metodología:

Este trabajo tiene enfoque teórico-práctico, sintético, comparativo y analítico.

Se desarrollará en 3 etapas:

- 1) Marco teórico conceptual.
- 2) Desarrollo experimental.
- 3) Análisis de resultados.

En cada una de las etapas antes enunciadas se desarrollarán tareas específicas.

- 1) Marco teórico conceptual.
 - Revisión bibliográfica.
 - Breve descripción de cada prueba, procedimiento de trabajo y parámetros involucrados.
- 2) Desarrollo experimental.
 - Caracterización de los agregados minerales.

- Revisión de las propiedades del asfalto AC-20 a utilizar.
 - Análisis de dosificaciones.
 - Preparación de briquetas de mezcla tipo Marshall y tipo SUPERPAVE.
 - Realización de distintos ensayos.
- 3) Análisis de resultados.
- Comparación de resultados por los procedimientos por compactación tipo Marshall y CGS.
 - Conclusiones.
 - Recomendaciones.

CAPÍTULO 2:MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. Mezclas asfálticas en caliente:

Son las mezclas conocidas por sus siglas en inglés HMA (Hot Mix Asphalt), cuyos agregados y asfalto deben ser calentados antes del proceso de mezclado para conseguir la homogeneidad requerida entre ellos.

Un aspecto importante a resaltar es que en el sistema Superpave la mezcla suelta es sometida a envejecimiento a corto plazo, en horno a 135°C durante 4 horas antes de compactarla con el SGS.

2.2. Cemento asfáltico:

El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color negro, constituido por ingredientes asfaltenos, resinas y aceites. Tiene como principales características su capacidad para aglutinar elementos, consistencia y ductilidad. Su estado varía con la temperatura, desde totalmente líquido en las altas hasta totalmente sólido en las bajas.

El MTOP dispone como Asfalto para usar en Ecuador el tipo AC-20 de acuerdo a la normativa ASTM D-3381 (Tabla 2):

Tabla 2-1: Características del Cemento Asfáltico AC-20.

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	AC 20	
			Mínimo	Máximo
Penetración, 25 °C, 100g.,5s.	ASTM D-5	0.1 mm	60	-
Flash Point, Copa Cleveland	ASTM D-92	°C	232	-
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D-4402	cP	160.000	240.000
Viscosidad Cinemática, 135 °C	ASTM D 2170	cSt	300	
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%w	99	-
ENVEJECIMIENTO TFOT, 163 °C, 5h				
Ductilidad,25°C, 5cm/min	ASTM D 113	cm	50	-
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D 4402	cP	-	1.000.000

Fuente: ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, 2001.

El cemento asfáltico tiene varias características que condicionan su comportamiento, entre ellas se destacan el envejecimiento, la susceptibilidad a la temperatura y la viscoelasticidad.

Es importante tener en cuenta la susceptibilidad a la temperatura y la velocidad de carga aplicada, ya que inciden directamente en las propiedades cuantificables de la mezcla.

2.3. Agregados minerales:

El material pétreo que se utilizó para la realización de las mezclas asfálticas proviene de la cantera de Duran, la piedra 3/8" se empleó como agregado grueso, el cisco y arena natural de río se emplearon como agregado fino.

La dosificación definió la estructura del agregado de diseño, se calculó la granulometría de la mezcla mediante combinaciones matemáticas de las granulometrías de cada uno de los materiales, siempre dentro de las especificaciones del MTOP y Superpave.

Tabla 2-2: Dosificación de agregados

MATERIAL	PORCENTAJE DE LA MEZCLA TOTAL
3/8"	48
Cisco	40
Arena Natural	12

CAPÍTULO 3: PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1. Definiciones:

Gravedad específica bruta, G_{sb} .- Proporción de la masa seca de una unidad de volumen del agregado permeable (incluye vacíos permeables e impermeables de dicho material) a cierta temperatura indicada, con respecto al mismo volumen de agua a la temperatura señalada. Ver figura 3.1.

Gravedad específica aparente, G_{sa} .- Cantidad de masa seca de una unidad de volumen de agregado impermeable a cierta temperatura indicada, con relación al mismo volumen de agua, a dicha temperatura. Ver figura 3.1.

Gravedad específica efectiva, G_{se} .- Cantidad de masa seca de una unidad de volumen de agregado permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura señalada, con relación al mismo volumen de agua a la temperatura señalada. Esta se calcula a partir del contenido de asfalto (P_b) y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla (G_{mm}). Ver figura 3.1.

Gravedad específica del ligante asfáltico, G_b .- Proporción del peso de una unidad de volumen de ligante y el peso de igual volumen de agua, a temperatura indicada. El procedimiento de ensayo para calcular este parámetro consta en la norma ASTM D 70. Los valores se especifican entre 1,015 y 1,05.

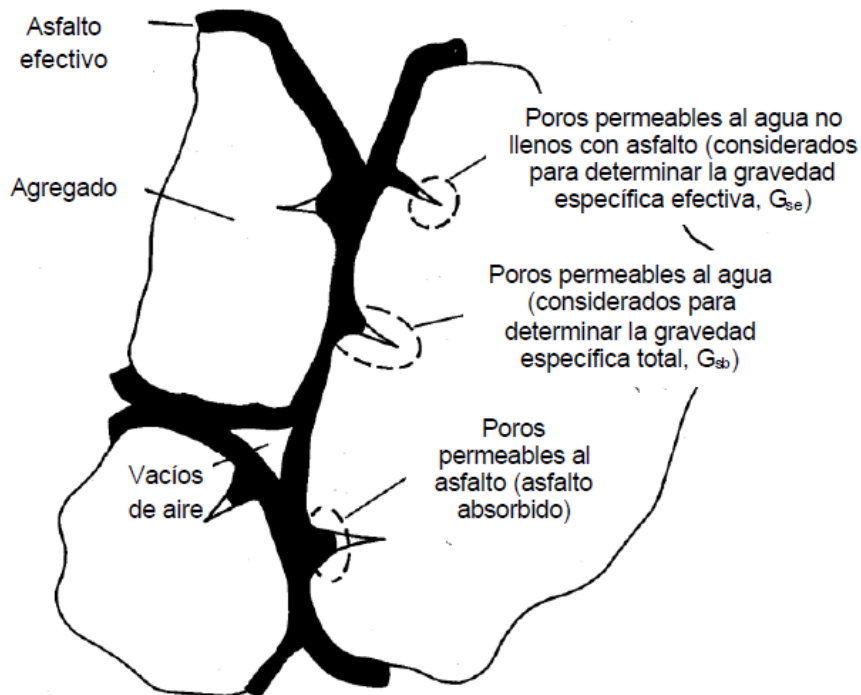


Gráfico 3-1: Ilustración de volúmenes en el agregado mineral.

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

Gravedad específica bruta de la mezcla, G_{mb} .- Proporción del peso seco de una unidad de volumen de H.M.A. compactada (incluyendo vacíos de aire), y el peso de igual volumen de agua, a temperatura indicada. El procedimiento de ensayo para calcular este parámetro consta en la norma AASHTO T166.

Gravedad específica teórica máxima de la mezcla, G_{mm} .- Proporción del peso seco de una unidad de volumen de H.M.A. suelta (sin incluir vacíos de aire), y el peso de igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura. El procedimiento de ensayo para calcular este parámetro consta en la norma AASHTO T209. También se llama gravedad específica RICE.

3.2. Diagrama de componentes:

Los componentes que comprenden las mezclas asfálticas se encuentran en tres estados: líquido (asfalto), sólido (agregado mineral) y gaseoso (aire).

Hay una particularidad que se presenta en todo agregado mineral que es su capacidad para absorber asfalto a través de sus porosidades, compartiendo dicho espacio; a esto se lo conoce como *asfalto absorbido*. La parte del asfalto que sobra, que se encuentra en la superficie del agregado se conoce como *asfalto efectivo*.

Este diagrama permite una clara definición de los parámetros volumétricos:

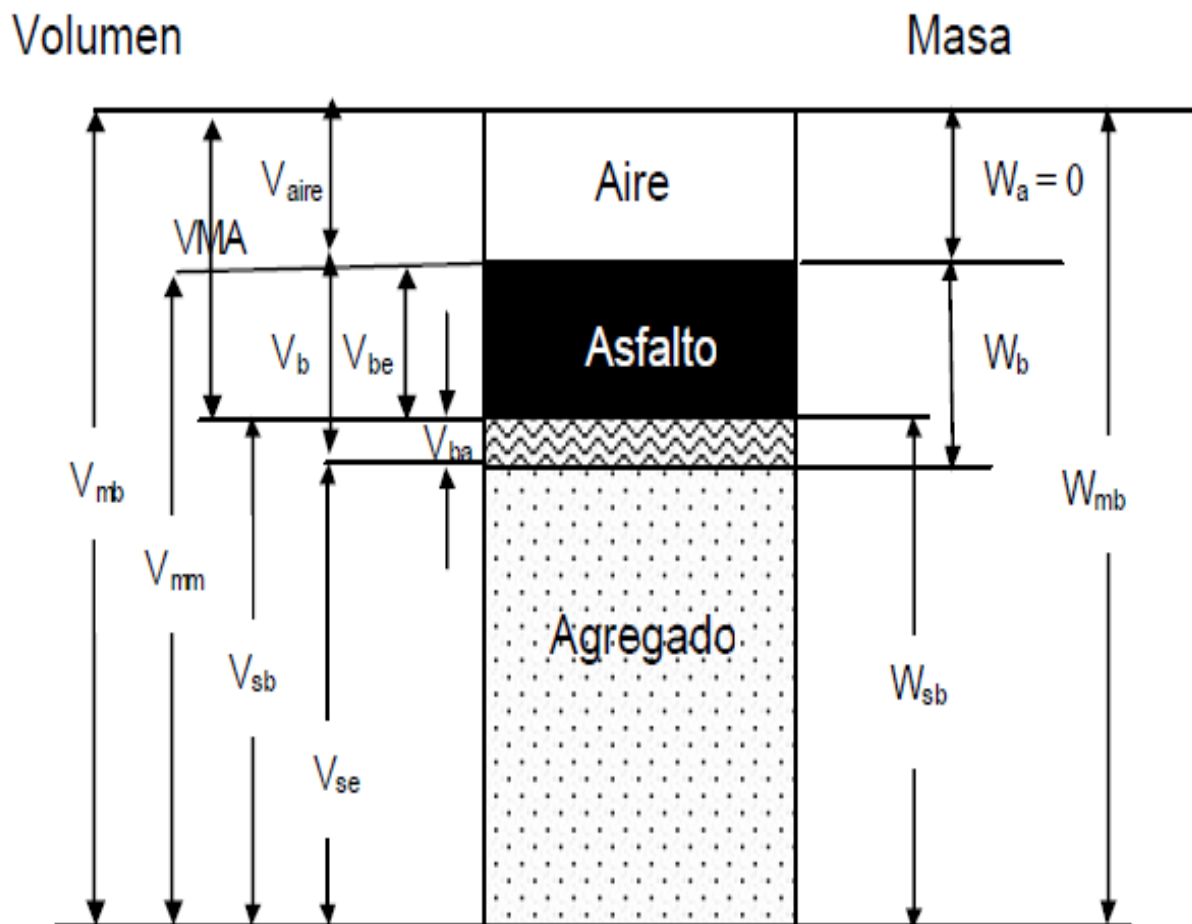


Gráfico 3-2: Diagrama esquemático de fases de una mezcla asfáltica compactada

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

Donde:

- V_{mb} = volumen total de la mezcla compactada
- V_{mm} = volumen de la mezcla sin vacíos
- VMA = volumen de vacíos en el agregado mineral
- V_{sb} = volumen total del agregado
- V_{se} = volumen efectivo de agregado

V_{be} = volumen efectivo de asfalto
 V_{ba} = volumen de asfalto absorbido
 V_{aire} = volumen de aire
 W_{mb} = masa total de la mezcla compactada
 W_a = masa del aire
 W_b = masa del asfalto
 W_{sb} = masa total del agregado

- **VMA (Vacíos en el agregado mineral):** Espacio entre sólidos ocupado por la suma del volumen del asfalto efectivo (V_{be}) y el volumen del aire (V_{aire}), se lo expresa como porcentaje del volumen total de la mezcla compactada.

$$VMA = \frac{V_{be} + V_{aire}}{V_{mb}} \times 100$$

- **V_{aire} (Vacíos de aire):** Volumen de aire (V_{aire}) en la muestra compactada, se expresa como porcentaje del volumen total de la mezcla.

$$V_a = \frac{V_{aire}}{V_{mb}} \times 100$$

- **VFA (Vacíos llenos con asfalto):** Porcentaje de VMA que contiene asfalto (efectivo). Se representa como porcentaje de los vacíos en el agregado mineral (VAM).

$$VFA = \frac{V_{be}}{V_{be} + V_{aire}} = \frac{V_{be}}{VMA} = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

- **Contenido de asfalto (P_b o CA):** Porcentaje del peso total de la mezcla o, en ciertos casos, del agregado. Depende de las características del agregado como: la graduación y la absorción.

$$CA = \frac{W_b}{W_{mb}} \times 100$$

- **Contenido de asfalto efectivo:** Contenido total de asfalto (P_b) de la mezcla menos la porción absorbida por el agregado, representado como porcentaje del peso total de la mezcla.

$$CA_e = \frac{W_{be}}{W_{mb}} \times 100$$

- **Contenido de asfalto absorbido:** Porcentaje de asfalto absorbido por el agregado. Expresado en función del peso total del agregado.

$$CA_a = \frac{W_{ba}}{W_{sb}} \times 100$$

3.3. Fórmulas para calcular los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica compactada:

A continuación se exponen las fórmulas que han sido estudiadas por el Instituto de Asfalto de USA, a partir de algunos parámetros conocidos de una mezcla HMA compactada:

- ✓ Gravedad Específica Bruta de la Mezcla (G_{mb}).
- ✓ Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla (G_{mm}).
- ✓ Porcentaje de agregado (P_s) en %, respecto al peso total de la mezcla.
- ✓ Contenido de Asfalto (P_b) en %, con respecto de la masa total de la mezcla.
- ✓ Gravedad Específica del Ligante Asfáltico (G_b).

- Gravedad Específica Bruta del Agregado Combinado:

$$G_{sb} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3)}{\left(\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}}\right)}$$

Dónde:

P_i : Porcentaje de peso de cada uno de los componentes del agregado de la mezcla ($i=1, 2, 3\dots n$).

G_{sbi} : Gravedad Específica Brutade cada componente de la mezcla ($i=1, 2, 3\dots n$).

- Gravedad Específica Efectiva del Agregado:

$$G_{se} = \frac{(100 - P_b)}{\left(\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}\right)}$$

Dónde:

G_{mm} : Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla.

P_b : Porcentaje de contenido de asfalto respecto al peso total de la mezcla ($100-P_s$).

G_b : Gravedad Específica del Ligante Asfáltico.

- Contenido de asfalto absorbido:

$$P_{ba} = G_b \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \right) \times 100\%$$

- Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba} \times P_s}{100} \right)$$

Dónde:

P_s : Porcentaje de contenido de agregado respecto al peso total de la mezcla.

- Porcentaje de vacíos de aire:

$$V_{aire} = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100\%$$

Dónde:

G_{mb} : Gravedad Específica Bruta de la Mezcla

- Vacíos en el agregado mineral:

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right)$$

Dónde:

G_{sb} : Gravedad Específica Bruta del Agregado Combinado.

- Vacíos llenos de asfalto:

$$VFA = \left(\frac{VMA - V_{aire}}{VMA} \right) \times 100\%$$

En caso de no conocer la G_{mm} y teniendo información de los otros parámetros necesarios para su cálculo, entonces:

- Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla:

$$G_{mm} = \frac{100}{\left(\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b} \right)}$$

Fuente : trabajo de grado Ing. Víctor Guzmán, 2014

CAPÍTULO 4: MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los métodos de diseño que se describen a continuación dependen de la exactitud en la cantidad en que son combinados el agregado mineral y el ligante asfáltico, ya que las propiedades físicas de la mezcla están determinadas por las partes relativas. Y al final todo esto repercutirá directamente en el desempeño del pavimento terminado.

4.1. Método Marshall:

Fue desarrollado por el ex-Ingeniero de Asfaltos del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi, Bruce Marshall. Originalmente era aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con tamaño máximo de 25 mm (1"). Luego, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, mejoró el procedimiento de prueba Marshall, logrando modificarlo para tamaños de agregado mayores a 38 mm (1,5"); puede ser utilizado para diseño en laboratorio y control en obra.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba de 63,5 mm (2 ½") de altura y 101,6 mm (4") de diámetro. Los dos datos más relevantes son: la relación de vacíos-densidad, y la prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Fuente: trabajo de grado Ing. Víctor Guzmán, 2014

Valor de Estabilidad Marshall.- Es una medida de carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente.

Valor de Fluencia Marshall.- Está medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta.

Es importante mantener equilibrio entre estos dos valores ya que las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen

valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Densidad y vacíos.- Determina el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

4.1.1. Requisitos del Agregado mineral:

Tabla 4-1: Requisitos de calidad del material mineral para carpetas asfálticas de granulometría densa.

PRUEBAS	AGREGADOS MINERALES	
	GRUESOS	FINOS
FORMA	Caras fracturadas (>80% - 2) Planas y alargadas (<10%)	<u>Angularidad (>45%)</u>
DUREZA	Abrasión Los Ángeles (<40%) Sulfatos (<12%)	Sulfatos (<12%)
LIMPIEZA	Deletéreos (<1%)	Deletéreos (<1%) Equivalente de arena (>50%) Índice de plasticidad (<4)
ADHERENCIA	Peladura de la mezcla en agua hirviendo (<95%)	

Fuente: MTOP, 2002.

4.1.2.Requisitos de la granulometría:

Tabla 4-2: Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: MTOP, 2002.

4.1.3.Requisitos volumétricos:

Los requisitos volumétricos a continuación tienen como referencia el volumen de tránsito que soportará la carpeta asfáltica durante su funcionamiento, que estará representado por la cantidad de golpes de compactación que especifica este método; teniendo en cuenta que el punto de partida de esta referencia es un porcentaje de vacíos de aire de 4%.

Tabla 4-3: Requisitos volumétricos de mezclas Marshall.

Criterio de Mezcla Tipo Marshall	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano		Tráfico Pesado	
	Superficie y Base		Superficie y Base		Superficie y Base	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación, número de golpes/cara del espécimen	35		50		75	
Estabilidad, N (lb)	3336 (750)		5338 (1200)		8006 (1800)	
Fluencia, 0,25 mm (0,01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos de Aire	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	Ver en Tabla de Porcentaje Mínimo de VMA					
Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Tabla 4-4: Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA).

Tamaño Máximo Nominal		Porcentaje Mínimo (VMA)		
		Porcentaje de Vacíos de Aire de Diseño		
mm	in	3%	4%	5%
1,18	N° 16	21,5	22,5	23,5
2,36	N° 8	19,0	20,0	21,0
4,75	N° 4	16,0	17,0	18,0
9,5	3/8"	14,0	15,0	16,0
12,5	1/2"	13,0	14,0	15,0
19	3/4"	12,0	13,0	14,0
25	1	11,0	12,0	13,0
37,5	1,5	10,0	11,0	12,0
50	2	9,5	10,5	11,5
63	2,5	9,0	10,0	11,0

Fuente: Instituto de Asfalto, 1997.

4.1.4 Procedimiento del ensayo Marshall

Se tomaron 3 agregados en cantidades suficientes para realizar nuestros ensayos y diseño de asfalto respectivamente, de la planta ubicada en Duran.

Se tomó como agregado grueso, piedra de 3/8", y como agregados finos, cisco y arena natural.

Luego se realizó el estudio de los agregados: granulometrías, ensayos de gravedad específica y de absorción. Posteriormente se determinó la dosificación más adecuada para realizar una mezcla única que cumpla con las especificaciones del MTOP y las del SUPERPAVE.



Figura 4-1.- Ensayo de gravedad específica

Con los porcentajes de materiales determinados en la dosificación, se realizó el envejecimiento a corto plazo de todos los materiales.



Figura 4-2.- Calentamiento de agregados en cocina de laboratorio de Durán

Posteriormente se procedió a realizar la mezcla de los agregados (a 150□) con el ligante asfáltico AC-20 (a 130□) en un recipiente grande. Luego se compactó la mezcla en los moldes de 4" de diámetro y de 2.5" de altura con el martillo manual de 10 lb en caída libre, a 75 golpes por cada cara del espécimen; obteniéndose un total de 3 briquetas por cada contenido de asfalto (6%, 6.5%, 7%, 7.5%, 8%).



Figura 4-3.- Mezcla de los agregados con el ligante asfáltico.



Figura 4-4.- Compactación de briquetas Marshall.

Una vez que se enfriaron los especímenes compactados, se obtuvo para cada uno, el peso seco en aire, peso sumergido en agua y peso saturado en agua superficialmente seco. Con estos datos se calcularon los volúmenes y densidades requeridos, para luego determinar los vacíos en el agregado mineral (VMA), los vacíos llenos con asfalto (VFA).



Figura 4-5.- Briquetas compactadas

Finalmente las briquetas fueron puestas en agua a 60° de temperatura, durante 20 minutos, se las secó superficialmente para luego ensayarlas y calcular los valores de estabilidad Marshall y de flujo.



Figura 4-6.- Briquetas sumergidas en agua a 60°C



Figura 4-7.- Ensayo de briquetas

4.2. Método Superpave:

4.2.1.Requisitos del agregado pétreo:

Es de suma importancia lograr propiedades volumétricas adecuadas para el buen funcionamiento de la carpeta asfáltica durante su vida útil, dependiendo básicamente de la adecuada selección de materiales.

Hay dos categorías de propiedades de los agregados como son:

Propiedades de Consenso: Angularidad del agregado grueso, angularidad del agregado fino, partículas alargadas y chatas, contenido de arcilla (Equivalente de arena). Tabla 4-5.

Origen: Tenacidad (Desgaste de los Ángeles), Durabilidad (Ataque por sulfatos de sodio o magnesio), Materiales Deletéreos. SHRP recomienda lo descrito en la tabla 4-6.

Tabla 4-5: Requisitos de propiedades de consenso del agregado.

Millones de ESALs ⁽¹⁾	Angularidad del agregado grueso Porcentaje mínimo		Angularidad del agregado fino Porcentaje mínimo		Equivalente de arena Porcentaje mínimo	Partículas planas y alargadas Porcentaje máximo ⁽³⁾
	Distancia desde la superficie <100 mm	Distancia desde la superficie > 100 mm	Distancia desde la superficie <100 mm	Distancia desde la superficie > 100 mm		
<0,3	55/-	-/-	-	-	40	-
0,3 < 3	75/-	50/-	40	40	45	10
3 < 10	85/80 ⁽²⁾	60/-	45	40	45	
10 < 30	95/90	80/75	45	40	45	
≥ 30	100/100	100/100	45	45	50	

Notas:

- (1) Los ESALs de diseño son los niveles de tránsito de proyecto esperado en el carril de diseño para un periodo de de 20 años. Independientemente de la vida de diseño actual de la carretera, determine los ESAL's de diseño para 20 años y selecciona el nivel N_{dis} apropiado.
- (2) 85/80 indica que el 85% del agregado grueso tiene una o más caras fracturadas, y 80% tiene dos o más caras fracturadas.
- (3) Criterio basado en una relación máxima a mínima de 5:1

Fuente: SHRP, 1999.

Tabla 4-6: Requisitos de propiedades de origen del agregado.

Desgaste de los Angeles Porcentaje máximo	Sanidad del agregado por el uso de sulfato de sodio o de magnesio Porcentaje máximo	Lentes de arcilla y partículas friables en agregado Porcentaje máximo
35 - 45	10 -20 ⁽¹⁾	0,2 – 10 ⁽²⁾

(1) Para cinco ciclos

(2) Dependiendo de la composición exacta del contaminante

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

4.2.2.Requisitos de la granulometría:

En el diseño SUPERPAVE se emplea una curva granulométrica sencilla, como se muestra en la gráfica 4-2:

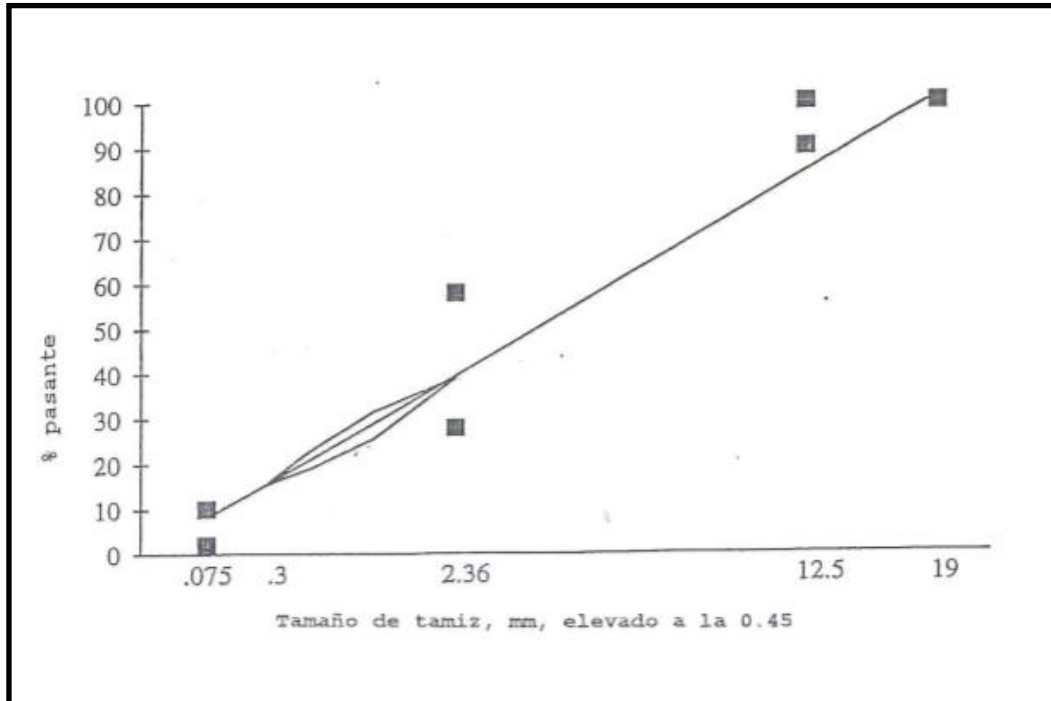


Gráfico 4-2: Curva de máxima densidad y límites para la granulometría con un tamaño máximo de agregado de 12.5mm.

Fuente: Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave.

Esta tabla muestra en el eje Y el “Porcentaje que pasa” y en el X “Abertura de malla” la cual está en mm y elevada a la 0,45. La curva granulométrica es de exponencial 0,45 para definir una granulometría requerida.

Los tres aspectos a considerar son:

Granulometría de máxima densidad: representa la forma más compacta posible en que podrían ordenarse las partículas del agregado. Esto debe ser evitado ya que limitaría considerablemente la cantidad de espacio donde alojarse el ligante asfáltico.

Puntos de control: compuesto por 4 tamices; el máximo, el máximo nominal, el de 2.36mm y el de 0.075mm. El tamiz máximo nominal es un tamaño mayor que el que retiene más del 10% del agregado combinado.

Zona restringida: es un área cuyos bordes están a ambos lados de la línea de máxima densidad. Si la curva pasa por esta zona habría mucha arena fina en relación al total de la misma, y se la conoce como graduaciones con joroba.

Los puntos de control y la zona restringida varían de acuerdo al tamaño nominal del material a usarse.

Tabla 4-7: Puntos de control de Superpave para diferentes tamaños nominales de agregados

Tamaño nominal del material pétreo mm (pulg)						
Designación	Abertura mm	37,5 (1-1/2")	25 (1")	19 (3/4")	12,5 (1/2")	9,5 (3/8")
		Porcentaje que pasa				
2"	50	100 - 100	-	-	-	-
1 1/2"	37,5	90 - 100	100 - 100	-	-	-
1"	25	-90	90 - 100	100 - 100	-	-
3/4"	19	-	-90	90 - 100	100 - 100	-
1/2"	12,5	-	-	-90	90 - 100	100 - 100
3/8"	9,5	-	-	-	-90	90 - 100
4	4,75	-	-	-	-	-90
8	2,36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67
16	1,18	-	-	-	-	-
30	0,60	-	-	-	-	-
50	0,30	-	-	-	-	-
100	0,15	-	-	-	-	-
200	0,075	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10

Fuente: Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013.

Tabla 4-8: Designaciones de las mezclas Superpave.

Designación SUPERPAVE	Tamaño máximo nominal	Tamaño máximo
37,5 mm	37,5	50,0
25,0 mm	25,0	37,5
19,0 mm	19,0	25,0
12,5 mm	12,5	19,0
9,5 mm	9,5	12,5

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

4.2.3.Requisitos de compactación:

Una de las diferencias importantes de este nuevo método es el proceso de compactación de la mezcla asfáltica, ya que usa un *Compactador Giratorio* que produce un efecto de amasado de las briquetas, ocasionando que la mezcla en laboratorio experimente condiciones similares a las existentes en campo; a diferencia del Método Marshall que compacta la mezcla a un cierto número de impactos proporcionados por un martillo estandarizado.

Tabla 4-9: Especificaciones del Compactador Giratorio Superpave.

Parámetro	Valor
Esfuerzo vertical	600 kPa
Ángulo de giro	1,25 °
Velocidad de giro	30 rpm

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

Los especímenes de prueba son compactados bajo número de giros, principalmente al número de giros máxima (Nmax) seleccionado. La selección del número de giros se define en función del número de ejes equivalentes (ESAL) del proyecto (millones) y el promedio de los 7 días más calurosos, de los años anteriores, de la temperatura del aire:

Tabla 4-10: Número de giros de compactación según Superpave.

ESAls de diseño (en millones)	Promedio de la máx. temp. del aire para el proyecto											
	< 39°C			39-40°C			41-42°C			43-44°C		
	N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}	N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}	N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}	N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}
<0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1-3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10-30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	142	233	10	158	262	10	165	275	10	172	288

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

- **El Número de giros iniciales (Nini):** Se define como un indicador del comportamiento del agregado y de las propiedades del ligante. Se utiliza para analizar las propiedades de densificación temprana durante su compactación. Es definida también, como el número de giros que se necesitan para compactar una mezcla asfáltica hasta lograr un porcentaje de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) y comparar dicho resultado con los requerimientos de diseño volumétrico de Superpave.
- **El Número de giros de diseño (Ndiseño):** Es el número de giros necesarios para compactar una mezcla asfáltica a la densidad de diseño determinada por el número de ejes equivalentes, donde la mezcla asfáltica alcanza el 96% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) al contenido óptimo de asfalto (considerando los 4% de vacíos de aire). Simulala compactación que producirían los rodillos más el tránsito a futuro.
- **El Número de giros máximo (Nmax):** Es el número de giros que se necesitan para compactar una mezcla asfáltica al 98% (como mínimo) de la

gravidad específica teórica máxima (G_{mm}). Es decir, la máxima compactación que se lograría en obra.

4.2.4. Requisitos volumétricos:

Tabla 4-11: Requisitos volumétricos del diseño de mezclas Superpave

ESAL de diseño (millones)	Densidad requerida (porcentaje de G_{mm})			VMA Porcentaje mínimo					VFA Porcentaje mínimo
	$N_{inicial}$	$N_{diseño}$	$N_{máxima}$	Tamaño nominal máximo (mm)					
				37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	
<0,3	≤ 91,5	96,0	< 98,0	11,0 ⁽⁴⁾	12,0	13,0	14,0	15,0	70-80 ⁽²⁾
0.3<3	≤ 90.5								65-75 ⁽²⁾
3<10									65-75 ⁽³⁾
10<30	≤ 89,0								
≥30									

- (1) Los ESAL de diseño son los niveles de tránsito de proyecto esperado, para un periodo de diseño de 20 años.
 (2) Para mezclas de agregado de tamaño nominal máximo de 9,5 mm, el rango de VFA especificado debe ser de 73% a 76% para los niveles de tránsito de diseño ≥ 3 millones de ESALs
 (3) Para mezclas de agregado de tamaño nominal máximo de 25 mm, los límites inferiores especificados de VFA deben ser de 66% para niveles de tránsito de diseño < 3 millones de ESALs
 (4) Para mezclas de agregado de tamaño nominal máximo de 37,5 mm los límites inferiores especificados de VFA deben ser de 63% para todos los niveles de tránsito de diseño.
 Fuente: (C-SHRP, 1999)

Fuente: Instituto de Asfalto, 1996.

Fuente: trabajo de grado Ing. Víctor Guzmán, 2014

4.2.5. Procedimiento del método Superpave

Se definió el peso de la muestra para alcanzar una altura significativa. Se tomaron los mismos porcentajes de asfalto que en el método Marshall para cada muestra: 6, 6.5, 7, 7.5 y 8%; luego se realiza el cálculo respectivo para obtener el C.A. de cada uno, la cantidad de cada material, obviamente manteniendo la misma dosificación que el método Marshall (48% para el agregado grueso, 40% para el agregado fino 1 y 12% para el agregado fino 2).

De cada peso inicial se restó el C.A. (valor en porcentaje), luego a partir de ese nuevo valor se sacaron los porcentajes de cada agregado.

Con cada porción de material el procedimiento fue el siguiente:

- Se calentaron los materiales en horno, en una tara mediana, con termómetro industrial.
- Se colocó una tara grande en la pesa, a temperatura respectiva, y se taraba la pesa.
- Se puso la cantidad de material respectiva al peso correspondiente por cada uno.

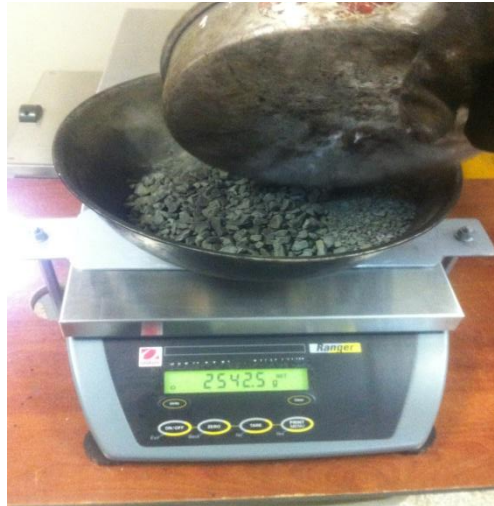


Figura 4-8.- Mezcla de agregados de acuerdo a su dosificación.

- Se colocó la cantidad de asfalto correspondiente para alcanzar el peso requerido.



Figura 4-9.- Mezcla de agregados con el ligante asfáltico AC-20

- Se mezcla el material con rapidez en una hornilla encendida para no perder temperatura.

- Se armó el cilindro del CGS: se colocó un disco en el extremo inferior con el anillo hacia fuera, se puso el papel y el cilindro de manera vertical esperando el material. Todo a su debida temperatura, previamente aceitado y engrasado donde corresponde.
- Se vertió el material mezclado a la temperatura correspondiente, en el cilindro del CGS. El material quedó como fue cayendo sin necesidad de manipularlo.
- Se colocó el papel y el disco superior con el anillo hacia fuera.
- El cilindro fue movilizado hacia el compactador con las pinzas para trasladarlo, y se lo giró hasta que embonó adecuadamente.
- Se cerró el CGS.
- Se indicó el número de giros (174) requeridos para este diseño, en el tablero digital.



Figura 4-10.- Pantalla principal del CGS

- Se terminó de compactar, se retiró la muestra y se imprimieron los datos.

Esto se hizo con cada briqueta hecha con el CGS. Cada una demoraba aproximadamente 5 horas, desde que se ponía la mezcla en el horno (envejecimiento a corto plazo) hasta que se imprimía la prueba.

Lo siguiente que se hizo fue medir cuidadosamente las briquetas compactadas, pesarlas en aire, luego pesarlas sumergidas en agua y luego pesarlas saturadas superficialmente secas.



Figura 4-11.- Cálculos de pesos de briquetas

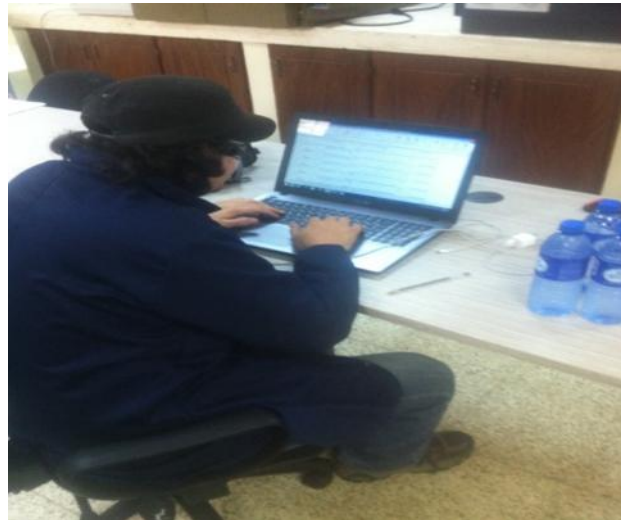


Figura 4-12.- Cálculos del ensayo

Este fue todo el procedimiento que se realizó con cada una de las briquetas hechas en el laboratorio de la UCSG.



Figura 4-13.- Briquetas terminadas con el CGS

Con los datos que se obtuvieron, se sacaron los parámetros volumétricos de cada briqueta para conseguir analizar y comparar los resultados con los obtenidos con el método Marshall, entendiendo que este es el propósito del presente trabajo.

COMPARACIÓN
DE AGREGADO
MINERAL

MARSHALL:

PRUEBAS	AGREGADOS MINERALES	
	GRUESOS	FINOS
FORMA	Caras fracturadas (>80%-2) Planas y alargadas (<10%)	Angularidad (>45%)
DUREZA	Abrasión LA (<40%)	Sulfatos (<12%)
LIMPIEZA	Deletéreos (<1%)	Deletéreos (<1%) Equivalente arena (>50%) Índice de plasticidad (<4)
ADHERENCIA	Peladura de la mezcla en agua hirviendo (>95%)	

SUPERPAVE:

Millones de ESALs ⁽¹⁾	Angularidad del agregado grueso Porcentaje mínimo		Angularidad del agregado grueso Porcentaje mínimo		Equivalente de arena Porcentaje mínimo	Partículas planas y alargadas Porcentaje máximo ⁽³⁾
	Distancia desde la superficie < 100mm	Distancia desde la superficie e > 100mm	Distancia desde la superficie >100mm	Distancia desde la superficie > 100mm		
< 0.3	55/-	-/-	-	-	40	-
0.3 < 3	75/-	50/-	40	40	45	10
3 < 10	85/80 ⁽²⁾	60/-	45	40	45	
10 < 30	95/90	80/75	45	40	45	
≥ 30	100/100	100/100	45	45	45	

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados que se obtuvieron del proceso Marshall concluyeron que el porcentaje de asfalto óptimo es de 7.2% para cumplir con un porcentaje de Vacíos de aire requerido de 4%, mientras que los de Superpave concluyeron que era de 7.25% para el mismo porcentaje de Vacíos de aire. Por lo tanto, los valores son muy parecidos, opuesto a lo que se esperaba, que el Superpave esté por debajo de Marshall. Esto se esperaba por la manera de compactar del CGS (en forma de amasado) se asemeja más a la realidad. Por otro lado, Marshall no simula de manera efectiva la compactación, resultando en valores de densidad más bajos, lo que afecta directamente a la elección de asfalto óptimo ya que está relacionado con el contenido de Vacíos (a mayor densidad el contenido de vacíos baja).

La curva de contenido de Vacíos de ambos procedimientos es parecida, habiendo un pequeño desfase en el nivel de 6,5% de CA, quizá deba hacerse más pruebas. Sin embargo el contenido de vacíos óptimo para ambos casos redondea los 7,2%, debido a que se usó los mismos agregados, el mismo ligante y en la parte de la granulometría se la desarrolló de tal manera que cumpla con las especificaciones de ambos métodos.

El VMA del Marshall está muy por encima del de Superpave, significa que tiene mayor cantidad de vacíos en el agregado mineral, esto se debe a la diferente manera de compactar las muestras. Hay que tener en cuenta que el tamaño de los especímenes hace más difícil la comparación entre ambas a este nivel.

El VFA del Superpave es superior al Marshall y aumenta su porcentaje con el contenido de asfalto, mientras que el de Marshall es más o menos constante durante los diferentes contenidos de asfalto. En este caso el porcentaje de vacíos llenos de asfalto es mayor en el Superpave porque la manera de compactar del CGS, amasando a cierto ángulo, facilita el mejor reacomodo entre el asfalto y el agregado mineral.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método Marshall tiene gran versatilidad para realizar controles de obra en campo ya que sus equipos son fáciles de trasladar, es menos costoso y hay menos riesgo de cometer errores, sin tener en cuenta que es un procedimiento muy conocido en el mundo entero que sigue siendo altamente funcional, arrojando datos válidos.

Incluso según lo estudiado, las comparaciones entre Superpave y Marshall generalmente resultan para V_a de 4% un contenido de asfalto menor en 0,4-0,5% en Superpave, sin embargo, las normas de Marshall permiten que su CA se maneje en un rango de (+ -) 0,5%, lo que indicaría que Marshall permite funcionar perfectamente dentro del rango de valores de Superpave.

El punto a tener en cuenta, a favor de Superpave, es el CGS. Ya que este genera en el material efectos mucho más parecidos a los que sufriría en el campo al ser sometido a la compactación por un rodillo vibratorio.

En el método Marshall se realizan pruebas de estabilidad y flujo a 60° C, por lo que resulta determinante el ligante asfáltico escogido, debido a ser pruebas que se realizan independientemente.

En el método Superpave hay grandes avances en la selección del ligante asfáltico, las mezclas de agregados y la compactabilidad de la mezcla asfáltica; sin embargo cabe recalcar que son fundamentales las propiedades del agregado, ya que son clave en la deformación permanente. Por esto la tecnología Superpave desarrolló una nueva forma de especificación de la granulometría. Este a pesar de ser otro punto a favor podría resultar en contra, ya que para Marshall la granulometría es mucho más simple, haciendo mucho más práctica su obtención. Se recomienda, al momento de hacer una comparación entre ambos métodos, realizar la granulometría separada ya que en este estudio, se la realizó solo por el método Marshall (siempre cumpliendo con las especificaciones de Superpave), lo que posiblemente ocasionó que los resultados de Superpave no reflejen lo esperado.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (2013) *Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013: Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño*. (Ed.3), México: Gráfica, Creatividad y Diseño, S.A. de C.V.
- ✓ Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (2012) *Certificación en diseño de mezclas asfálticas de alto desempeño*. (Ed.1), México: Autor.
- ✓ Andaluz, A. (2013) *Estudio de mezclas asfálticas colocadas en vías de la región costa del ecuador mediante pruebas de desempeño*. (Ed.1), Ecuador: Autor.
- ✓ Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Alonso S., Alarcón H. (2004) *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Recuperado de <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>
- ✓ Garnica, P., Delgado, H., Sandoval, C. (2005) *Análisis comparativo de los métodos de Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas*. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt271.pdf>
- ✓ Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J. (2003) *Algunos aspectos de la densificación de mezclas asfálticas con el compactador giratorio*. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt228.pdf>
- ✓ Instituto de Asfalto. (1996) *Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas SUPERPAVE*. (Ed.1), USA: Autor.
- ✓ Instituto de Asfalto. (1997) *Método de diseño de mezclas para concreto asfáltico y otros tipos de mezclas calientes*. (Ed.6), USA: Autor.
- ✓ MTOP. (2002) *Capítulo 400: Estructura del Pavimento*. (Ed.1), Ecuador: Autor.
- ✓ Monsalve, L., Giraldo, L., Maya, J. (2012) *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Recuperado de

<http://jessycamaya.files.wordpress.com/2012/11/proyecto-final-pavimentos-llj-reparado.pdf>

- ✓ Pine Instrument Company. (2011) *Manual de Operación del Compactador Giratorio Superpave*. (Ed. 11), USA: LMAFGB1.
- ✓ Vila, Rolando. (Entrevista). *Uso del Martillo Marshall Automático*. Guayaquil, 15 de noviembre de 2013.
- ✓ Villatoro, G. (2007) *Influencia del agregado en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente*. (Ed.1), México: Autor.
- ✓ Vintimilla, A. (2014) *Análisis de factores climáticos en las diferentes regiones del ecuador para el diseño de pavimentos*. (Ed.1), Ecuador: Autor.
- ✓ Guzmán, Víctor (2014) Empleo del compactador giratorio Superpave para el estudio de mezclas asfálticas fabricadas en plantas de la región costa.

ANEXOS

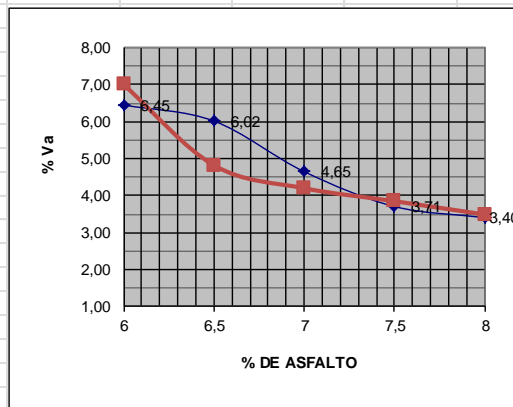
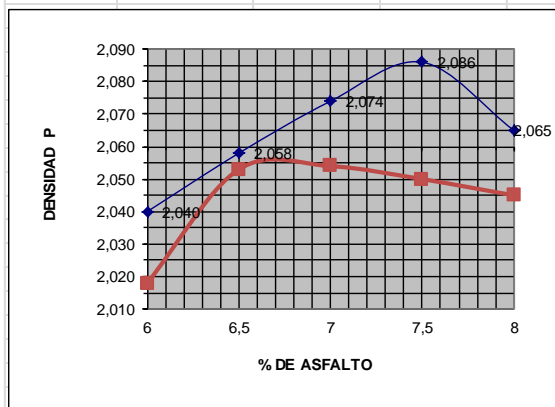
Contenido de Asfalto óptimo para el 4% de Va=

SP
7,25

M
7,20

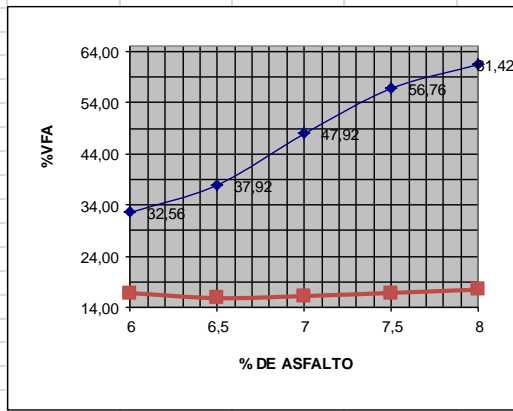
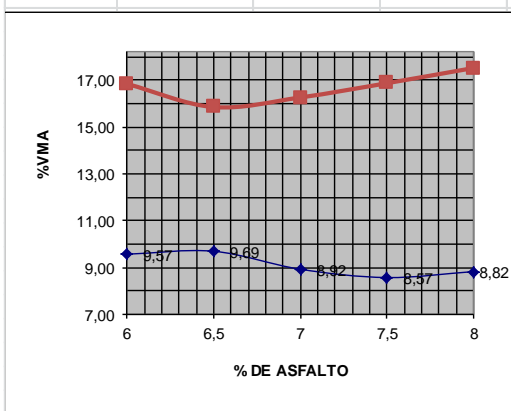
	SP	Marshall
% Asfalto	Densidad	Densidad
6	2,040	2,018
6,5	2,058	2,053
7	2,074	2,054
7,5	2,086	2,050
8	2,065	2,045

	SP	Marshall
% Asfalto	Vacios	Vacios
6	6,45	7,00
6,5	6,02	4,82
7	4,65	4,20
7,5	3,71	3,85
8	3,40	3,49



	SP	Marshall
% Asfalto	VMA	VMA
6	9,57	16,84
6,5	9,69	15,85
7	8,92	16,26
7,5	8,57	16,87
8	8,82	17,52

	SP	Marshall
% Asfalto	VFA	VFA
6	32,56	16,84
6,5	37,92	15,85
7	47,92	16,26
7,5	56,76	16,87
8	61,42	17,52

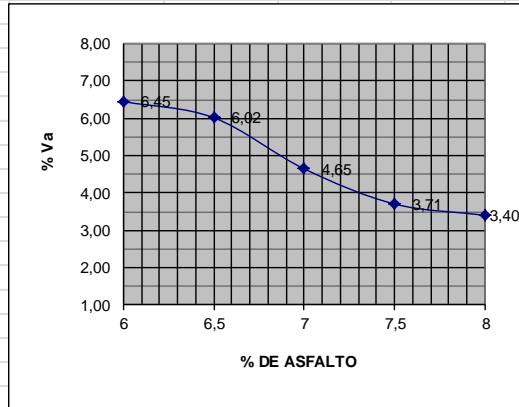
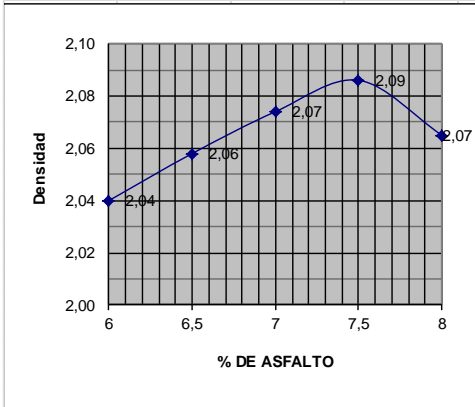


SUPERPAVE

Contenido de Asfalto óptimo para el 4% de Va= 7,25%

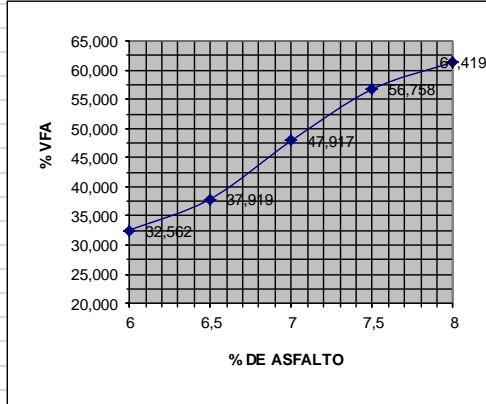
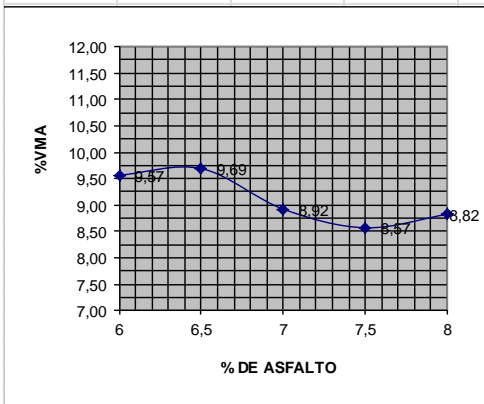
% Asfalto	Densidad
6	2,04
6,5	2,06
7	2,07
7,5	2,09
8	2,07

% Asfalto	% Va
6	6,45
6,5	6,02
7	4,65
7,5	3,71
8	3,40



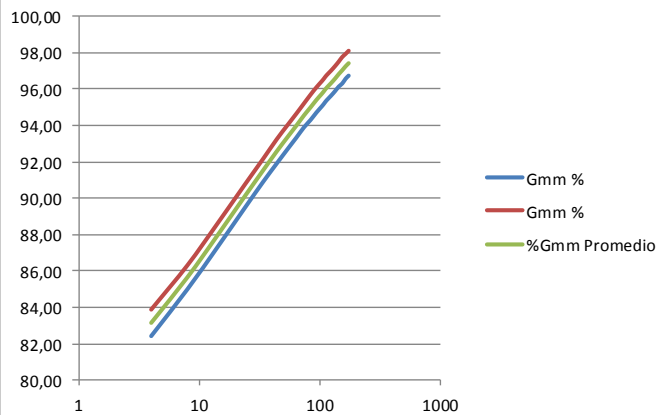
% Asfalto	%VMA
6	9,57
6,5	9,69
7	8,92
7,5	8,57
8	8,82

% Asfalto	%VFA
6	32,562
6,5	37,919
7	47,917
7,5	56,758
8	61,419



CA =	8 %	Fact. Corrección =	1,00140	CA =	8 %	Fact. Correccion =	1,02550
Peso =	3951,40 gr			Peso =	4007,30 gr	Gmm =	2,11908
Gmm =	2,11908157			Gmm =	2,119081574	Ps =	1,01600
Vol =	172,034 cm3			Vol =	172,034 cm3	Gsb =	2,28098
Gmb =	2,05 (medida)			Gmb =	2,079 (medida)		

Giros	Muestra 1					Muestra 2					%Gmm Promedio
	h cm	V cm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	h mm	V mm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	
4	13,17	2265,68	1,744	1,746	82,42	13,44	2312,13	1,733	1,777	83,87	83,15
8	12,77	2196,87	1,799	1,801	85,00	13,06	2246,76	1,784	1,829	86,31	85,66
14	12,44	2140,10	1,846	1,849	87,25	12,73	2189,99	1,830	1,876	88,55	87,90
24	12,13	2086,77	1,894	1,896	89,48	12,42	2136,66	1,875	1,923	90,76	90,12
34	11,94	2054,08	1,924	1,926	90,91	12,23	2103,97	1,905	1,953	92,17	91,54
44	11,81	2031,72	1,945	1,948	91,91	12,09	2079,89	1,927	1,976	93,24	92,57
54	11,71	2014,51	1,961	1,964	92,69	11,99	2062,68	1,943	1,992	94,02	93,35
64	11,63	2000,75	1,975	1,978	93,33	11,91	2048,92	1,956	2,006	94,65	93,99
74	11,56	1988,71	1,987	1,990	93,89	11,84	2036,88	1,967	2,018	95,21	94,55
84	11,51	1980,11	1,996	1,998	94,30	11,78	2026,56	1,977	2,028	95,69	95,00
94	11,46	1971,51	2,004	2,007	94,71	11,73	2017,95	1,986	2,036	96,10	95,41
104	11,42	1964,62	2,011	2,014	95,05	11,69	2011,07	1,993	2,043	96,43	95,74
109	11,4	1961,18	2,015	2,018	95,21	11,67	2007,63	1,996	2,047	96,60	95,90
114	11,38	1957,74	2,018	2,021	95,38	11,65	2004,19	1,999	2,050	96,76	96,07
124	11,35	1952,58	2,024	2,027	95,63	11,62	1999,03	2,005	2,056	97,01	96,32
134	11,32	1947,42	2,029	2,032	95,89	11,59	1993,87	2,010	2,061	97,26	96,57
144	11,29	1942,26	2,034	2,037	96,14	11,56	1988,71	2,015	2,066	97,51	96,83
154	11,27	1938,82	2,038	2,041	96,31	11,53	1983,55	2,020	2,072	97,77	97,04
164	11,24	1933,66	2,043	2,046	96,57	11,51	1980,11	2,024	2,075	97,94	97,25
174	11,22	1930,22	2,047	2,050	96,74	11,49	1976,67	2,027	2,079	98,11	97,42



Muestra	%Gmm@Nini	%Gmm@Ndis	%Gmm@Nmax	%Va	%VMA	%VFA
1	85,00	-	96,74			
2	86,31	96,60	98,11			
Prom(*)	85,66	96,60	97,42	3,40	8,825	61,419
*	se asumió para el promedio el valor de la muestra 2 ya que la 1 estaba muy dispersa					

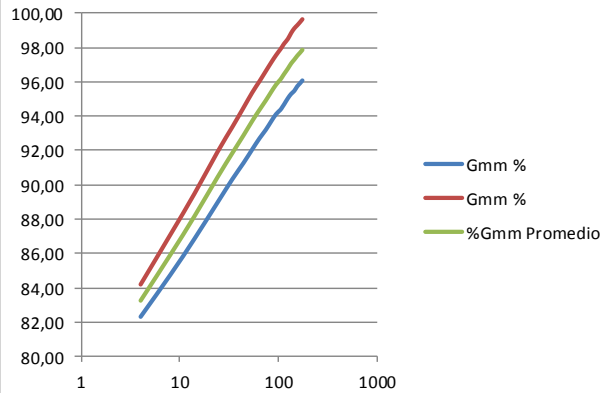
$$\%Va = 100 - \%Gmm@Ndis$$

$$\%VMA = 100 - (\%Gmm@Ndis * Gmm * Ps) / Gsb$$

$$\%VFA = (\%VMA - \%Va) / \%VMA * 100$$

CA =	7,5 %	Fact. Corrección =	0,981	CA =	7,5 %	Fact. Correccion =	1,017
Peso =	3949,00 gr			Peso =	4012,40 gr	Gmm =	2,132 (promedio)
Gmm =	2,131659643			Gmm =	2,131659643	Ps =	1,016
Vol =	172,034 cm3			Vol =	172,034 cm3	Gsb =	2,28
Gmb =	2,048 (medida)			Gmb =	2,124 (medida)		

Giros	Muestra 1					Muestra 2					%Gmm Promedio
	h cm	V cm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	h mm	V mm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	
4	12,84	2208,91	1,788	1,755	82,31	13,22	2274,28	1,764	1,795	84,19	83,25
8	12,47	2145,26	1,841	1,807	84,75	12,78	2198,59	1,825	1,856	87,09	85,92
14	12,17	2093,65	1,886	1,851	86,84	12,44	2140,10	1,875	1,907	89,47	88,15
24	11,88	2043,76	1,932	1,896	88,96	12,11	2083,33	1,926	1,959	91,91	90,43
34	11,7	2012,79	1,962	1,925	90,33	11,92	2050,64	1,957	1,990	93,37	91,85
44	11,58	1992,15	1,982	1,945	91,26	11,78	2026,56	1,980	2,014	94,48	92,87
54	11,48	1974,95	2,000	1,962	92,06	11,67	2007,63	1,999	2,033	95,37	93,71
64	11,4	1961,18	2,014	1,976	92,70	11,59	1993,87	2,012	2,047	96,03	94,37
74	11,34	1950,86	2,024	1,987	93,19	11,52	1981,83	2,025	2,059	96,61	94,90
84	11,28	1940,54	2,035	1,997	93,69	11,46	1971,51	2,035	2,070	97,12	95,40
94	11,23	1931,94	2,044	2,006	94,11	11,41	1962,90	2,044	2,079	97,54	95,83
104	11,2	1926,78	2,050	2,011	94,36	11,37	1956,02	2,051	2,087	97,89	96,12
109	11,18	1923,34	2,053	2,015	94,53	11,35	1952,58	2,055	2,090	98,06	96,29
114	11,16	1919,90	2,057	2,019	94,70	11,33	1949,14	2,059	2,094	98,23	96,47
124	11,12	1913,01	2,064	2,026	95,04	11,3	1943,98	2,064	2,100	98,49	96,77
134	11,09	1907,85	2,070	2,031	95,30	11,26	1937,10	2,071	2,107	98,84	97,07
144	11,07	1904,41	2,074	2,035	95,47	11,23	1931,94	2,077	2,113	99,11	97,29
154	11,04	1899,25	2,079	2,041	95,73	11,21	1928,50	2,081	2,116	99,29	97,51
164	11,02	1895,81	2,083	2,044	95,90	11,19	1925,06	2,084	2,120	99,46	97,68
174	11	1892,37	2,087	2,048	96,08	11,17	1921,62	2,088	2,124	99,64	97,86



Muestra	%Gmm@Nini	%Gmm@Ndis	%Gmm@Nmax	%Va	%VMA	%VFA
1	84,75	94,53	96,08			
2	87,09	98,06	99,64			
Promedio	85,92	96,29	97,86	3,71	8,569	56,758

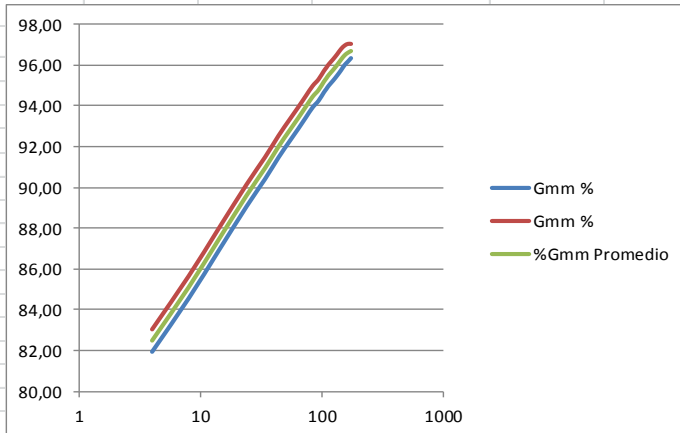
%Va= 100-%Gmm@Ndis

%VMA= 100-(%Gmm@Ndis*Gmm*Ps)/Gsb

%VFA= (%VMA-%Va)/%VMA*100

CA =	7 %	Fact. Corrección =	1,002	CA =	7 %	Fact. Correccion =	1,023
Peso =	3995,00 gr			Peso =	4024,70 gr	Gmm =	2,144 (promedio)
Gmm =	2,14438792			Gmm =	2,144387921	Ps =	1,016
Vol =	172,034 cm3			Vol =	172,034 cm3	Gsb =	2,28
Gmb =	2,066 (medida)			Gmb =	2,081 (medida)		

Giros	Muestra 1					Muestra 2					%Gmm Promedio
	h cm	V cm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	h mm	V mm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	
4	13,24	2277,73	1,754	1,757	81,94	13,44	2312,13	1,741	1,781	83,04	82,49
8	12,83	2207,19	1,810	1,813	84,55	13,03	2241,60	1,795	1,837	85,65	85,10
14	12,49	2148,70	1,859	1,863	86,86	12,69	2183,11	1,844	1,886	87,94	87,40
24	12,18	2095,37	1,907	1,910	89,07	12,38	2129,78	1,890	1,933	90,15	89,61
34	12	2064,40	1,935	1,939	90,40	12,2	2098,81	1,918	1,962	91,48	90,94
44	11,86	2040,32	1,958	1,961	91,47	12,06	2074,73	1,940	1,984	92,54	92,00
54	11,76	2023,12	1,975	1,978	92,25	11,96	2057,52	1,956	2,001	93,31	92,78
64	11,68	2009,35	1,988	1,992	92,88	11,88	2043,76	1,969	2,014	93,94	93,41
74	11,61	1997,31	2,000	2,004	93,44	11,81	2031,72	1,981	2,026	94,50	93,97
84	11,55	1986,99	2,011	2,014	93,93	11,75	2021,39	1,991	2,037	94,98	94,45
94	11,51	1980,11	2,018	2,021	94,25	11,71	2014,51	1,998	2,044	95,30	94,78
104	11,46	1971,51	2,026	2,030	94,66	11,66	2005,91	2,006	2,052	95,71	95,19
109	11,44	1968,06	2,030	2,033	94,83	11,64	2002,47	2,010	2,056	95,88	95,35
114	11,42	1964,62	2,033	2,037	94,99	11,62	1999,03	2,013	2,060	96,04	95,52
124	11,39	1959,46	2,039	2,042	95,24	11,59	1993,87	2,019	2,065	96,29	95,77
134	11,36	1954,30	2,044	2,048	95,50	11,56	1988,71	2,024	2,070	96,54	96,02
144	11,33	1949,14	2,050	2,053	95,75	11,53	1983,55	2,029	2,076	96,79	96,27
154	11,3	1943,98	2,055	2,059	96,00	11,51	1980,11	2,033	2,079	96,96	96,48
164	11,28	1940,54	2,059	2,062	96,17	11,5	1978,39	2,034	2,081	97,04	96,61
174	11,26	1937,10	2,062	2,066	96,34	11,5	1978,39	2,034	2,081	97,04	96,69



Muestra	%Gmm@Nini	%Gmm@Ndis	%Gmm@Nmax	%Va	%VMA	%VFA
1	84,55	94,83	96,34			
2	85,65	95,88	97,04			
Promedio	85,10	95,35	96,69	4,65	8,923	47,917

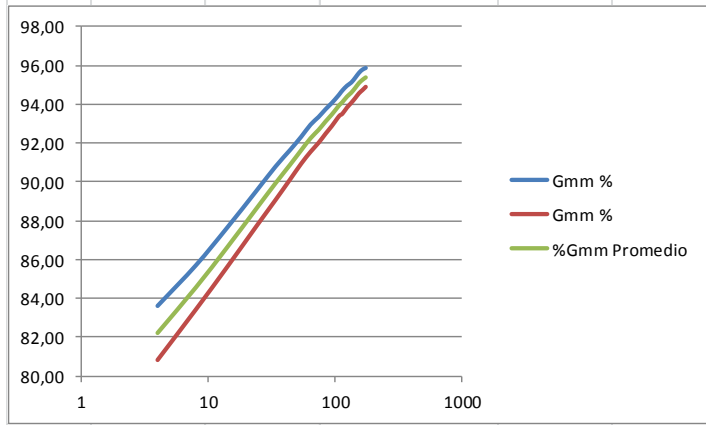
%Va= 100-%Gmm@Ndis

%VMA= 100-(%Gmm@Ndis*Gmm*Ps)/Gsb

%VFA= (%VMA-%Va)/%VMA*100

CA =	6,5 %	Fact. Corrección =	1,019	CA =	6,5 %	Fact. Corrección =	1,008
Peso =	3999,50 gr			Peso =	4016,10 gr	Gmm =	2,157 promedio
Gmm =	2,15726911			Gmm =	2,157269114	Ps =	1,016
Vol =	172,034 cm3			Vol =	172,034 cm3	Gsb =	2,28
Gmb =	2,068 (medida)			Gmb =	2,047 (medida)		

Giros	Muestra 1					Muestra 2					%Gmm Promedio
	h cm	V cm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	h mm	V mm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	
4	13,14	2260,52	1,769	1,804	83,61	13,49	2320,73	1,731	1,744	80,82	82,21
8	12,82	2205,47	1,813	1,849	85,69	13,07	2248,48	1,786	1,800	83,42	84,56
14	12,54	2157,30	1,854	1,890	87,61	12,74	2191,71	1,832	1,846	85,58	86,59
24	12,27	2110,85	1,895	1,931	89,53	12,43	2138,38	1,878	1,892	87,71	88,62
34	12,1	2081,61	1,921	1,959	90,79	12,24	2105,69	1,907	1,922	89,07	89,93
44	11,99	2062,68	1,939	1,977	91,62	12,1	2081,61	1,929	1,944	90,10	90,86
54	11,9	2047,20	1,954	1,992	92,32	11,99	2062,68	1,947	1,962	90,93	91,62
64	11,82	2033,44	1,967	2,005	92,94	11,91	2048,92	1,960	1,975	91,54	92,24
74	11,77	2024,84	1,975	2,014	93,34	11,85	2038,60	1,970	1,985	92,01	92,67
84	11,72	2016,23	1,984	2,022	93,74	11,79	2028,28	1,980	1,995	92,47	93,10
94	11,68	2009,35	1,990	2,029	94,06	11,74	2019,67	1,988	2,003	92,87	93,46
104	11,64	2002,47	1,997	2,036	94,38	11,69	2011,07	1,997	2,012	93,27	93,82
109	11,62	1999,03	2,001	2,040	94,54	11,67	2007,63	2,000	2,015	93,42	93,98
114	11,6	1995,59	2,004	2,043	94,70	11,66	2005,91	2,002	2,017	93,51	94,11
124	11,57	1990,43	2,009	2,048	94,95	11,62	1999,03	2,009	2,024	93,83	94,39
134	11,55	1986,99	2,013	2,052	95,11	11,59	1993,87	2,014	2,029	94,07	94,59
144	11,52	1981,83	2,018	2,057	95,36	11,56	1988,71	2,019	2,035	94,31	94,84
154	11,49	1976,67	2,023	2,063	95,61	11,53	1983,55	2,025	2,040	94,56	95,09
164	11,47	1973,23	2,027	2,066	95,78	11,51	1980,11	2,028	2,043	94,72	95,25
174	11,46	1971,51	2,029	2,068	95,86	11,49	1976,67	2,032	2,047	94,89	95,38



Muestra	%Gmm@Nini	%Gmm@Ndis	%Gmm@Nmax	%Va	%VMA	%VFA
1	85,69	94,54	95,86			
2	83,42	93,42	94,89			
Promedio	84,56	93,98	95,38	6,02	9,691	37,919

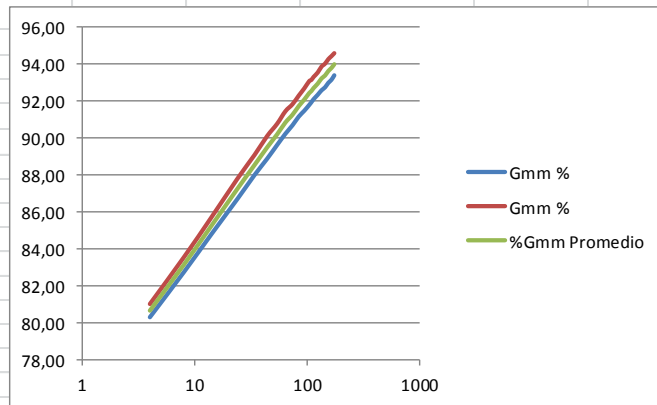
%Va= 100-%Gmm@Ndis

%VMA= 100-(%Gmm@Ndis*Gmm*Ps)/Gsb

%VFA= (%VMA-%Va)/%VMA*100

CA =	6 %	Fact. Correccion =	0,98609	CA =	6 %	Fact. Correccion =	1,00552
Peso =	4031,40 gr			Peso =	4085,00 gr	Gmm =	2,17031 promedio
Gmm =	2,170306			Gmm =	2,170305996	Ps =	1,01600
Vol =	172,034 cm3			Vol =	172,034 cm3	Gsb =	2,28098
Gmb =	2,027 (medida)			Gmb =	2,053 (medida)		

Giros	Muestra 1					Muestra 2					%Gmm Promedio
	h cm	V cm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	h mm	V mm3	Gmb estimado	Gmb corregido	Gmm %	
4	13,26	2281,17	1,767	1,743	80,30	13,58	2336,22	1,749	1,758	81,01	80,65
8	12,87	2214,07	1,821	1,795	82,73	13,17	2265,68	1,803	1,813	83,53	83,13
14	12,56	2160,74	1,866	1,840	84,77	12,84	2208,91	1,849	1,860	85,68	85,23
24	12,28	2112,57	1,908	1,882	86,70	12,53	2155,58	1,895	1,906	87,80	87,25
34	12,1	2081,61	1,937	1,910	87,99	12,35	2124,62	1,923	1,933	89,08	88,54
44	11,98	2060,96	1,956	1,929	88,88	12,21	2100,53	1,945	1,955	90,10	89,49
54	11,88	2043,76	1,973	1,945	89,62	12,12	2085,05	1,959	1,970	90,77	90,20
64	11,8	2030,00	1,986	1,958	90,23	12,03	2069,56	1,974	1,985	91,45	90,84
74	11,74	2019,67	1,996	1,968	90,69	11,98	2060,96	1,982	1,993	91,83	91,26
84	11,68	2009,35	2,006	1,978	91,16	11,92	2050,64	1,992	2,003	92,29	91,73
94	11,64	2002,47	2,013	1,985	91,47	11,87	2042,04	2,000	2,011	92,68	92,08
104	11,6	1995,59	2,020	1,992	91,79	11,82	2033,44	2,009	2,020	93,07	92,43
109	11,58	1992,15	2,024	1,995	91,95	11,81	2031,72	2,011	2,022	93,15	92,55
114	11,56	1988,71	2,027	1,999	92,10	11,79	2028,28	2,014	2,025	93,31	92,71
124	11,53	1983,55	2,032	2,004	92,34	11,76	2023,12	2,019	2,030	93,55	92,95
134	11,5	1978,39	2,038	2,009	92,58	11,72	2016,23	2,026	2,037	93,87	93,23
144	11,48	1974,95	2,041	2,013	92,75	11,7	2012,79	2,030	2,041	94,03	93,39
154	11,45	1969,78	2,047	2,018	92,99	11,67	2007,63	2,035	2,046	94,27	93,63
164	11,43	1966,34	2,050	2,022	93,15	11,65	2004,19	2,038	2,049	94,43	93,79
174	11,4	1961,18	2,056	2,027	93,40	11,63	2000,75	2,042	2,053	94,59	94,00



Muestra	%Gmm@Nini	%Gmm@Ndis	%Gmm@Nmax	%Va	%VMA	%VFA
1	82,73	-	93,40			
2	83,53	93,15	94,59			
Promedio (*)	83,13	93,55	94,00	6,45	9,565	32,562
*	se asumió para el promedio el valor de la muestra 2 ya que la 1 estaba muy dispersa					

$%Va = 100 - \%Gmm@Ndis$

$%VMA = 100 - (\%Gmm@Ndis * Gmm * Ps) / Gsb$

$%VFA = (\%VMA - \%Va) / \%VMA * 100$

	COMPACTADOR SUPERPAVE			MARSHALL		
% Asfalto	Densid. Prom.	Vacios	%V.M.A.	Densid. Prom.	Vacios	%V.M.A.
6	2,040	6,00	15,93	2,018	7,00	16,84
6,5	2,058	4,60	15,64	2,053	4,82	15,85
7	2,074	3,28	15,44	2,054	4,20	16,26
7,5	2,086	2,14	15,41	2,050	3,85	16,87
8	2,065	2,55	16,71	2,045	3,49	17,52

	Gravedad específica bruta	CA	6	
3/8	Gsb1=	2,235	P1=	1818,6
cisco	Gsb2=	2,3	P2=	1515,5
arena	Gsb3=	2,413	P3=	454,65
	Gsb=	$\frac{P1+P2+P3}{(P1/Gsb1) + (P2/Gsb2) + (P3/Gsb3)}$		
	Gsb=	2,28		

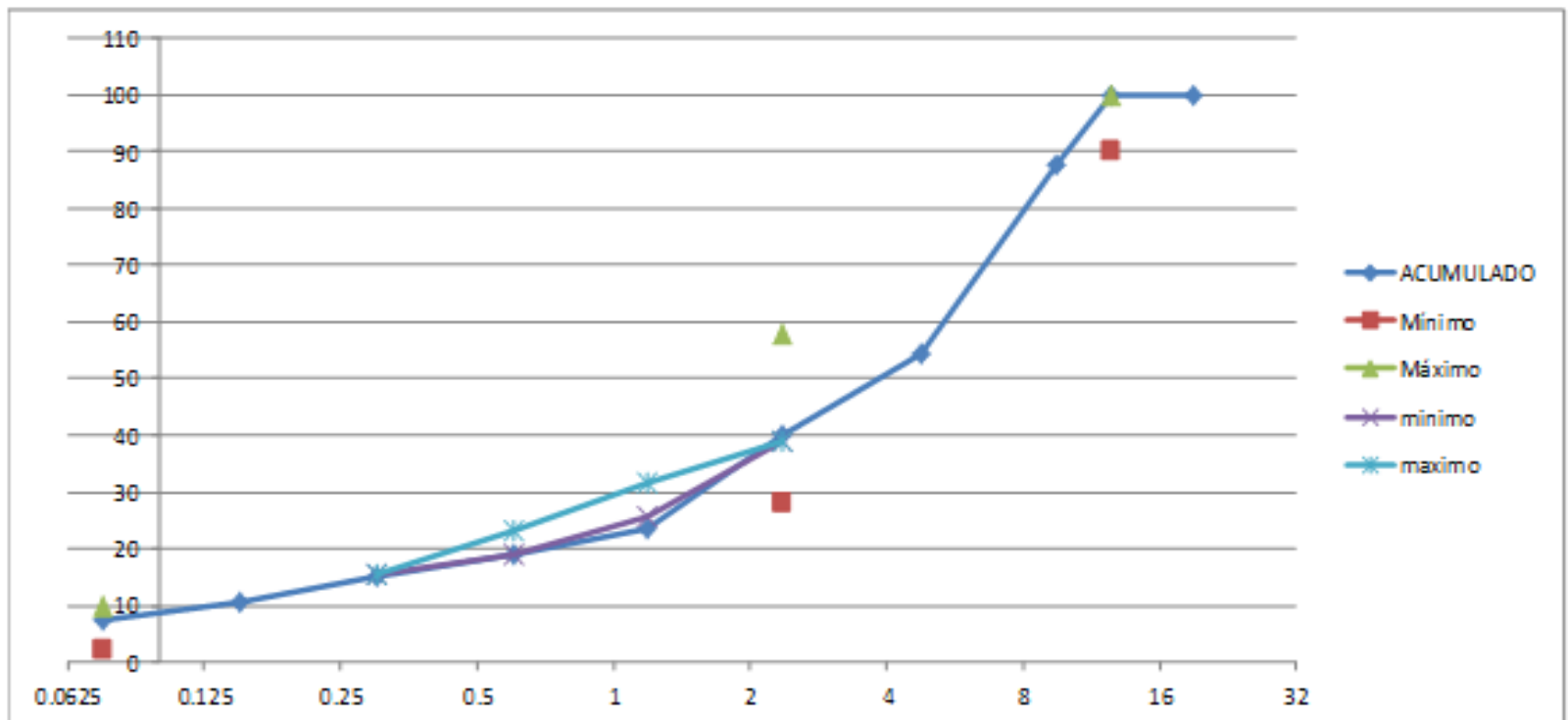
**DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
METODO SUPERPAVE**

Número de giros 174 Gravedad Específica BULK promedio de agregados 2,281
Gravedad Específica del C.A. 1,016 C.A. Absorbido por el agregado seco 1,12%

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC %	PESO MUESTRA			VOLUMEN c.c.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A. %	FACTOR CORREC	ESTABILIDAD		FLUJO
			AIRE SECO	AGUA	AIRE S.S.S.		BULK (Gmb)	RICE (Gmm)	AGREG.	VACIOS	C.A.				DIAL	CORREG.	
1			4031,40	2079,00	4068,30	1989,30	2,027										
2			4085,00	2123,70	4107,00	1989,30	2,053										
		6,0															
		Promedio					2,040	2,170	84,07	6,00	9,93	15,93	62				
3			3999,50	2065,80	4027,60	1933,80	2,068										
4			4016,10	2077,00	4046,60	1961,80	2,047										
		6,5															
		Promedio					2,058	2,157	84,36	4,60	11,04	15,64	71				
5			3995,00	2076,00	4009,80	1933,80	2,066										
6			4024,70	2076,30	4045,50	1933,80	2,081										
		7,0															
		Promedio					2,074	2,144	84,56	3,28	12,16	15,44	79				
7			3949,00	2066,10	3955,30	1927,90	2,048										
8			4012,40	2090,10	4018,00	1889,20	2,124										
		7,5															
		Promedio					2,086	2,132	84,59	2,14	13,27	15,41	86				
9			3951,40	2036,60	3964,50	1927,90	2,050										
10			4007,30	2054,80	4020,50	1927,90	2,079										
		8,0															
		Promedio					2,065	2,119	83,29	2,55	14,16	16,71	85				

ABERTURA DE TAMICES		AGREGADOS MINERALES			%PASADO ACUMULADO	Marshall		Superpave			
No.	mm	AG 1	AG 2	AG 3		ESPEC. 1/2" MOP 2002		ESPEC. 1/2" MOP 2002		Zona Restringida	
						Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	minimo	maximo
3/4"	19.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100				
1/2"	12.50	100.0	100.0	100.0	100.0	90	100	90	100		
3/8"	9.50	74.3	100.0	100.0	87.7	76	92				
#4	4.75	9.0	96.3	95.2	54.3	44	74				
#8	2.36	0.0	74.2	85.5	39.9	28	58	28	58	39.1	39.1
#16	1.18	0.0	40.5	59.6	23.4	20	45			25.6	31.6
#30	0.60	0.0	31.5	52.8	18.9	13	33			19.1	23.1
#50	0.30	0.0	30.1	25.6	15.1	5	21			15.5	15.5
#100	0.15	0.0	23.5	8.2	10.4	3	16				
#200	0.08	0.0	17.0	4.2	7.3	2	10	2	10		
	0.00										

ESPECIFICACIÓN: 1/2". MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.



MARSHALL

LABORATORIO DE SUELOS Y MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO :

PLANTA : UDM - 600 CAT

FECHA : JUNIO 2014

1.- CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

TAMAÑO NOMINAL 1/2" - TABLA 405-5.1 - ESPESOR > 5 CM

A) Tipo de Material

Agregados 3/8"	48%
Cisco	40%
Arena Natural	12%

B) Combinada de Mezcla

Tamices	% Pasante	Faja de Control		Maxima Densidad
3/4"	100,0	100,0		100,0
1/2"	100,0	100,0		100,0
3/8"	87,7	80,7	- 94,7	73,0
4	54,2	47,2	- 61,2	74,0
8	39,9	33,9	- 45,9	39,0
16	26,4	20,4	- 32,4	29,0
30	22,6	17,6	- 27,6	21,0
50	15,3	10,3	- 20,3	16,0
100	10,4	6,4	- 14,4	11,0
200	7,3	4,3	- 10,3	8,0

Gravedad Especifica de Masa	=	2,281
Gravedad Especifica Efectiva	=	2,340
Gravedad Especifica Aparente	=	2,556
Porcentaje de Asfalto Absorbido	=	1,12%

C) Control de Diseño

Propiedad	Valor Obtenido	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
Vacios (%)	4,00	3,00	5,00
V.M.A. (%)	16,55	15,00	-----
Estabilidad (Lbs.)	2.600,00	1.800	-----
Flujo	11,50	8,00	14,00

Contenido Optimo Asfalto : 7,20%

2.- ADITIVO

Relación filler/betún= $7.3/7.2 = 1.014$ (0,80 - 1,2%)

Aditivo Triple A

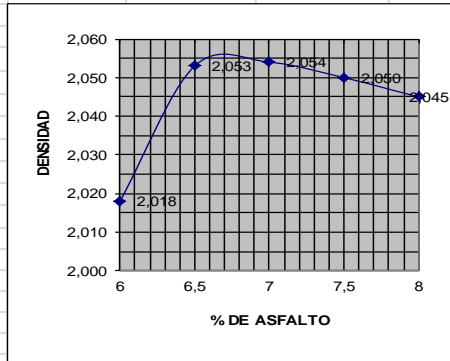
Ensayo ASTM D - 3625 >95% Aceptable

Dosificación en peso 0,25% óptimo de asfalto utilizado en diseño.

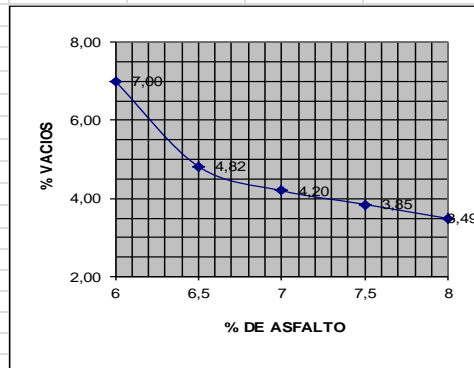
Esta dosificación si es necesario, será reajustada en Planta UDM-600 CAT al momento de su producción.

Los materiales empleados en el presente diseño de mezcla asfáltica proviene de Cantera Durán , ubicada en Km. 1.5 vía Durán - Tambo y Arena del río Chimbo , aprobadas por Ministerio de Obras Públicas; los mismos que han sido sometidos a todos los ensayos y tolerancias establecidas en las especificaciones del MOP-001-F-2002 y que constan en el manual del Instituto Norteamericano de Asfalto.

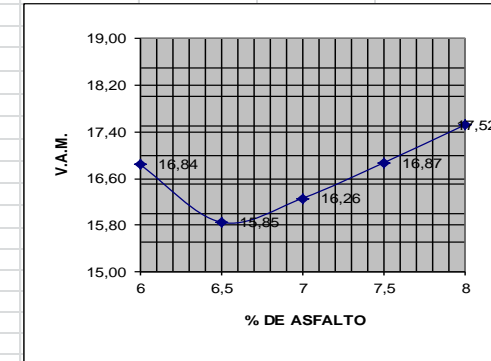
% Asfalto	Densid. Prom.
6	2,018
6,5	2,053
7	2,054
7,5	2,050
8	2,045



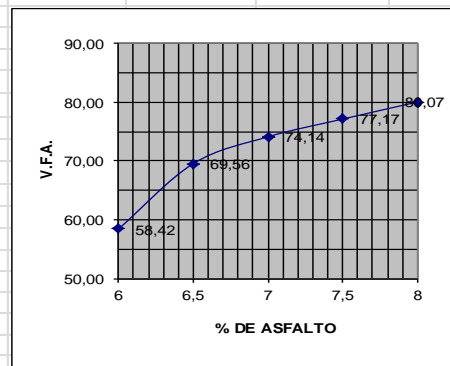
% Asfalto	Vacios
6	7,00
6,5	4,82
7	4,20
7,5	3,85
8	3,49



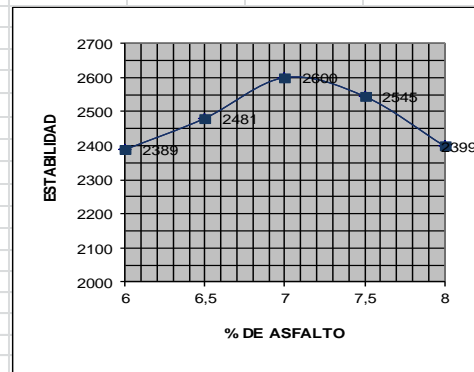
% Asfalto	VMA
6	16,84
6,5	15,85
7	16,26
7,5	16,87
8	17,52



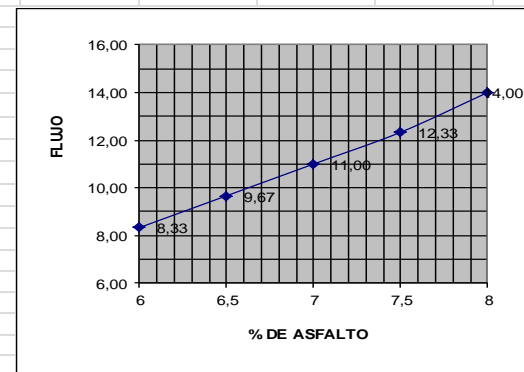
% Asfalto	VFA
6	58,42
6,5	69,56
7	74,14
7,5	77,17
8	80,07



% Asfalto	Estabilidad
6	2389
6,5	2481
7	2600
7,5	2545
8	2399



% Asfalto	Flujo
6	8,33
6,5	9,67
7	11,00
7,5	12,33
8	14,00



**DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
METODO MARSHALL**

Número de golpes por lado 75 Gravedad Específica BULK promedio de agregados 2,281
Gravedad Específica del C.A. 1,016 C.A. Absorbido por el agregado seco 1,12%

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC %	PESO MUESTRA			VOLUMEN c.c.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A. %	FACTOR CORREC	ESTABILIDAD		FLUJO
			AIRE SECO	AGUA	AIRE S.S.S.		BULK PROBETA	RICE	AGREG.	VACIOS	C.A.				DIAL	CORREG.	
			1112	565	1116	551	2,018							0,89	3042	2707	9
			1118	568	1121	553	2,022							0,89	2643	2352	8
			1142	579	1146	567	2,014							0,86	2450	2107	8
	% C.A.	6,0															
	Promedio						2,018	2,170	83,16	7,00	9,84	16,84	58			2389	8,3
			1160	595	1161	566	2,049							0,86	3200	2752	10
			1148	593	1150	557	2,061							0,89	2800	2492	9
			1121	575	1122	547	2,049							0,89	2470	2198	10
	% C.A.	6,5															
	Promedio						2,053	2,157	84,15	4,82	11,03	15,85	70			2481	9,7
			1145	589	1146	557	2,056							0,89	3020	2688	11
			1154	594	1156	562	2,053							0,86	2874	2472	11
			1145	589	1147	558	2,052							0,89	2967	2641	11
	% C.A.	7,0															
	Promedio						2,054	2,144	83,75	4,20	12,06	16,26	74			2600	11,0
			1078	554	1080	526	2,049							0,96	2500	2400	12
			1045	539	1048	509	2,053							1,00	2600	2600	13
			1126	580	1130	550	2,047							0,89	2960	2634	12
	% C.A.	7,5															
	Promedio						2,050	2,132	83,13	3,85	13,02	16,87	77			2545	12,3
			1140	587	1144	557	2,047							0,89	2810	2501	14
			1116	572	1118	546	2,044							0,93	2490	2316	14
			1091	560	1094	534	2,044							0,96	2480	2381	14
	% C.A.	8,0															
	Promedio						2,045	2,119	82,48	3,49	14,03	17,52	80			2399	14,0

RICE: 8,0% ASFALTO

$$\begin{aligned} \text{P. E. Asfalto} &= 1,016 \\ \text{P. Asfalto} &= 80 \end{aligned}$$

Peso de Mezcla 1000,0
 Peso del Picnómetro + Agua 3098,0
 Peso Picnómetro + Agua + Mezcla 3626,0

$$\text{RICE: } \frac{1000}{1000 + 3098 - 3626} = 2,119$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA} \frac{92}{\frac{100}{2,119} - \frac{8}{1,016}} = 2,340$$

$$\text{MASA} \frac{100}{\frac{48,0}{2,235} + \frac{40,0}{2,300} + \frac{12,0}{2,413}} = 2,281$$

$$\text{GRAVEDAD APARENTE} \frac{100}{\frac{48,0}{2,590} + \frac{40,0}{2,503} + \frac{12,0}{2,608}} = 2,556$$

$$\text{PORCENTAJE DE ABSORCION} 100 \times \frac{2,34 - 2,281}{2,34 \times 2,281} \times 1,016 = 1,12\%$$

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

Material Pasa Tamiz No. 4 retiene Tamiz No.200 (Arena Natural)

Peso Secado al horno	=	485,0
Peso del Material	=	500,0
Agua Añadida	=	299,0

$$\text{Gravedad BULK} = \frac{485}{500-299} = 2,413$$

$$\text{Gravedad S.S.S.} = \frac{500}{500-299} = 2,488$$

$$\text{Gravedad Aparente} = \frac{485}{485-299} = 2,608$$

$$\text{Absorción} = \frac{500-485}{485} = 3,09\%$$

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

Material que pasa tamiz No. 4 y retiene tamiz No.200 (CISCO)

Peso Secado al horno	=	483,0
Peso del Material	=	500,0
Agua Añadida	=	290,0

$$\text{Gravedad BULK} = \frac{483}{500 - 290} = 2,300$$

$$\text{Gravedad S.S.S.} = \frac{500}{500 - 290} = 2,381$$

$$\text{Gravedad Aparente} = \frac{483}{483 - 290} = 2,503$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 - 483}{483} = 3,52\%$$

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

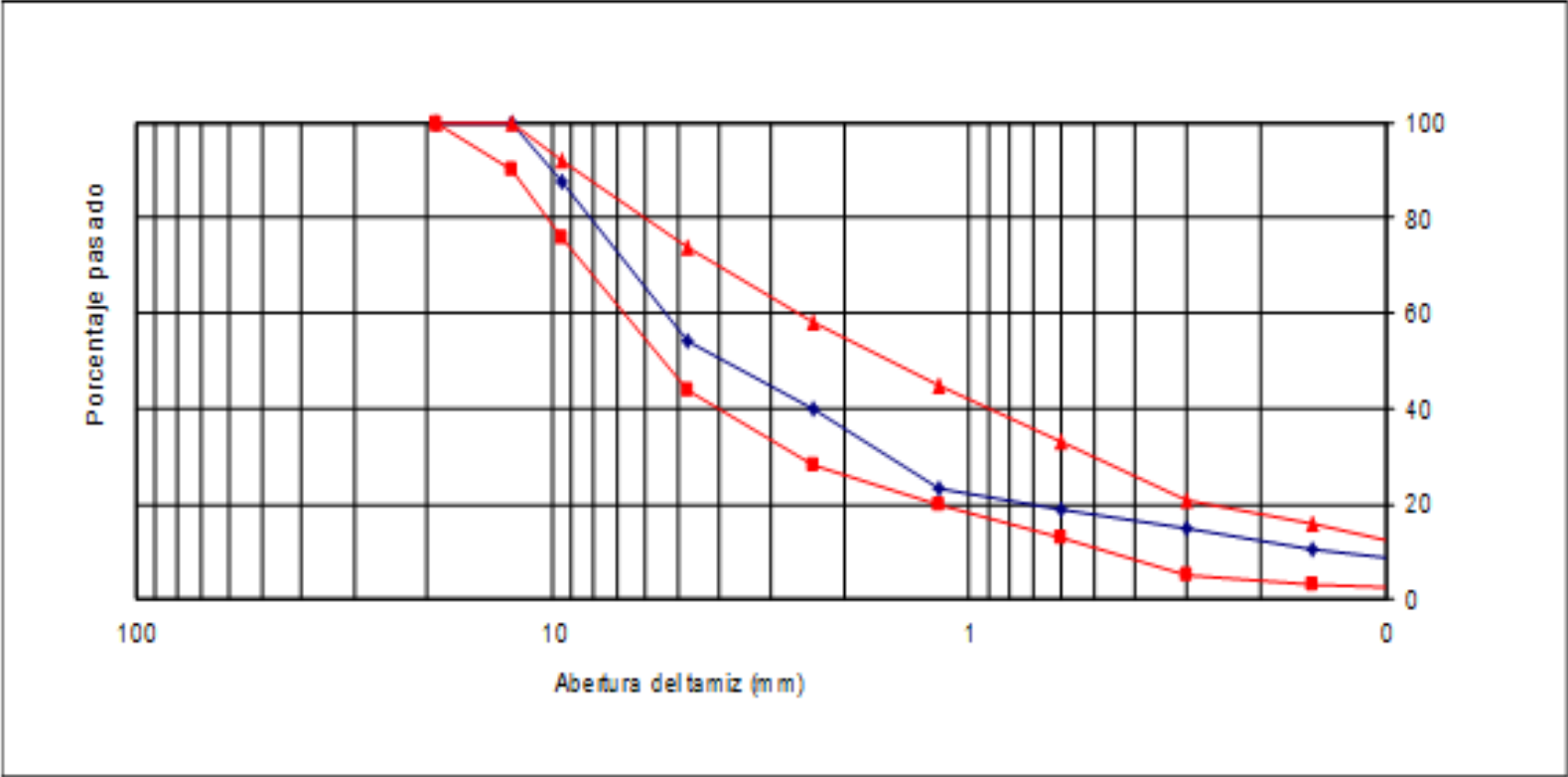
Material que pasa tamiz 3/8" y retiene tamiz No.4

Peso Secado al horno	=	2582,0	
Volumen del Picnómetro	=	2740,0	
Agua Añadida	=	1585,0	
Gravedad BULK	=	$\frac{2582}{2740 - 1585}$	= 2,235
Gravedad S.S.S.	=	$\frac{2740}{2740 - 1585}$	= 2,372
Gravedad Aparente	=	$\frac{2582}{2582 - 1585}$	= 2,590
Absorción	=	$\frac{2740 - 2582}{2582}$	= 6,12%

Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA										
		1	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No.16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
Aridos 3/8"	48%		100,0	100,0	74,3	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cisco	40%		100,0	100,0	100,0	96,3	74,1	46,0	39,8	30,5	23,4	17,0
Arena Natural	12%		100,0	100,0	100,0	95,2	85,5	66,7	55,9	25,6	8,1	4,2
Especificaciones Deseadas			100	90-100		44-74	28-58			5-21		2-10

GRADUACION COMBINADA PARA MEZCLAS - PRUEBA No.

Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA										
		1	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No.16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
Aridos 3/8"	48%		48,0	48,0	35,7	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cisco	40%		40,0	40,0	40,0	38,5	29,6	18,4	15,9	12,2	9,4	6,8
Arena Natural	12%		12,0	12,0	12,0	11,4	10,3	8,0	6,7	3,1	1,0	0,5
Especificaciones Deseadas			100,0	100,0	87,7	54,2	39,9	26,4	22,6	15,3	10,4	7,3



ARENA NATURAL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	0,0	0,0	0,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No. 4	44,0	4,8	95,2
PASA No. 4			
No.8	132,0	14,5	85,5
No. 16	302,0	33,3	66,7
No. 30	400,0	44,1	55,9
No. 50	676,0	74,4	25,6
No. 100	834,0	91,9	8,1
No. 200	870,0	95,8	4,2
PASA No. 200	38,0	4,2	
TOTAL	908,0		

CISCO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No. 4	35,0	3,7	96,3
PASA No. 4			
No.8	242,0	25,9	74,1
No. 16	505,0	54,0	46,0
No. 30	563,0	60,2	39,8
No. 50	650,0	69,5	30,5
No. 100	716,0	76,6	23,4
No. 200	776,0	83,0	17,0
PASA No. 200	159,0	17,0	
TOTAL	935,0		

AGREGADOS 3/8"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	780,0	25,7	74,3
No. 4	2762,0	91,0	9,0
PASA No. 4			
No.8	3035,0	100,0	0,0
No. 16			
No. 30			
No. 50			
No. 100			
No. 200			
PASA No. 200			
TOTAL	3035,0		

LABORATORIO DE SUELOS Y MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : _____

PLANTA : UDM - 600 CAT

FECHA : JUNIO 2014

1.- CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

TAMAÑO NOMINAL 1/2" - TABLA 405-5.1 - ESPESOR > 5 CM

A) Tipo de Material

Agregados 3/8"	48%
Cisco	40%
Arena Natural	12%

B) Combinada de Mezcla

Tamices	% Pasante	Faja de Control		Maxima Densidad
3/4"	100,0	100,0		100,0
1/2"	100,0	100,0		100,0
3/8"	87,7	80,7	- 94,7	73,0
4	54,2	47,2	- 61,2	74,0
8	39,9	33,9	- 45,9	39,0
16	26,4	20,4	- 32,4	29,0
30	22,6	17,6	- 27,6	21,0
50	15,3	10,3	- 20,3	16,0
100	10,4	6,4	- 14,4	11,0
200	7,3	4,3	- 10,3	8,0

Gravedad Especifica de Masa	=	2,281
Gravedad Especifica Efectiva	=	2,340
Gravedad Especifica Aparente	=	2,556
Porcentaje de Asfalto Absorbido	=	1,12%

C) Control de Diseño

Propiedad	Valor Obtenido	Especificaciones	
		Minimo	Màximo
Vacios (%)	4,00	3,00	5,00
V.M.A. (%)	16,55	15,00	----
Estabilidad (Lbs.)	2.600,00	1.800	----
Flujo	11,50	8,00	14,00

Contenido Optimo Asfalto : 7,20%

2.- ADITIVO

Relación filler/betún= $7.3/7.2 = 1.014$ (0,80 - 1,2%)

Aditivo Triple A

Ensayo ASTM D - 3625 >95% Aceptable

Dosificación en peso 0,25% óptimo de asfalto utilizado en diseño.

Esta dosificación si es necesario, será reajustada en Planta UDM-600 CAT al momento de su producción.

Los materiales empleados en el presente diseño de mezcla asfáltica proviene de Cantera Durán , ubicada en Km. 1.5 vía Durán - Tambo y Arena del río Chimbo , aprobadas por Ministerio de Obras Públicas; los mismos que han sido sometidos a todos los ensayos y tolerancias establecidas en las especificaciones del MOP-001-F-2002 y que constan en el manual del Instituto Norteamericano de Asfalto.

