

ANÁLISIS DE PAVIMENTACIÓN (MDC-3) MEJORADAS CON ESCORIAS (NO FERROSAS) DE FUNDICIÓN DE COBRE (ENSAYO MARSHALL INV-E 748-07)

HELIMELEG MUÑOZ RODRIGUEZ



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE EDUCACION A DISTANCIA
INGENIERIA CIVIL**

BOGOTA D.C.

2012-08-25

ANÁLISIS DE PAVIMENTACIÓN (MDC-3) MEJORADAS CON ESCORIAS (NO FERROSAS) DE FUNDICIÓN DE COBRE (ENSAYO MARSHALL INV-E 748-07)

Presentado por:
HELIMELEG MUÑOZ RODRIGUEZ

Trabajo de grado presentado como requisito
Parcial para optar al título de
Ingeniero Civil
Director: Ing. **LUIS ANGEL MORENO ANSELMI. M Sc.**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE EDUCACION A DISTANCIA
INGENIERIA CIVIL**

BOGOTA D.C.

2013-02-01

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

MAYOR GENERAL (R) EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL
Rector

Brigadier General (R) ALBERTO BRAVO SILVA
Vicerrector General

BRIGADIER GENERAL ® HUGO RODRIGUEZ DURAN
Decano de la Facultad de Educación a Distancia

Dra. LUZ MARINA PINZÓN HERNÁNDEZ
Vicedecana Facultad de Educación a Distancia

Ing. CAROL EUGENIA ARÉVALO DAZA
Directora Programa de Ingeniería Civil a Distancia

DEDICATORIA

A mi esposa **ESTHELA ORDOÑEZ** y a mis hijos **ANDERSON STEVEN Y JUAN MANUEL**, por su comprensión y apoyo en cada momento que dedique a cumplir mi meta de ser Ingeniero Civil.

A toda mi familia, a mis Padres, **HORACIO CESAR Y ROSA ELVIRA**, a mis hermanos, todos ellos que me brindaron un apoyo incondicional en el proceso.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

Al ingeniero **LUIS ANGEL MORENO ANSELMI. M Sc.** quien fue mi tutor y amigo que con su gran sabiduría pudo orientar el proceso investigativo llevado a cabo a feliz término.

A la directora del programa Ingeniera **CAROL EUGENIA ARÉVALO DAZA**, por su decidida y bien definida orientación en el transcurso de la carrera.

A los tutores y compañeros de estudio quienes fueron luz que iluminaron los senderos de la academia.

A Dios y a todas aquellas personas que de una u otra manera estuvieron entrelazadas en el desarrollo de este proyecto de mi vida.

NOTA DE ACEPTACION

**I C LUIS ANGEL MORENO ANSEMI
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN**

JURADO 1

JURADO 2

Bogotá, Noviembre de 2011

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	11
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:	12
2. MEZCLAS DENSAS	13
2.1 Asfaltos	13
2.2 Funciones del asfalto en la construcción de pavimentos.	14
2.3 Composición química del asfalto	14
2.4 Características reológicas del asfalto	14
2.5 Asfaltos modificados.	15
2.6 Características Una mezcla asfáltica ideal	16
2.7 Durabilidad de los asfaltos	16
3. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	16
3.1 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	17
3.1.1 Por Fracciones de agregado pétreo empleado.	17
3.1.2 Por la Temperatura de puesta en obra.....	17
3.1.3 Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.	18
3.1.4 Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.	18
3.1.5 Por la Estructura del agregado pétreo.....	18
3.1.6 Por la Granulometría.....	18
3.2 Propiedades Requeridas En Una Mezcla Asfáltica	18
3.2.1 Resistencia a la deformación (Estabilidad).....	19
Resistencia a las deformaciones plásticas.....	20
3.2.3 Resistencia a la Fatiga.....	20
3.2.3.Resistencia al Deslizamiento.	20

3.2.4 Mayor o Menor Grado de Flexibilidad.	21
3.2.5 Grado de Impermeabilidad.....	21
3.2.6 Alta Durabilidad.....	21
3.2.7 Trabajabilidad.	22
3.2.8 Economía.....	22
3.3 Los Materiales Constituyentes de Las Mezclas Asfálticas.....	22
3.3.1 El Ligante Bituminoso.	22
3.3.2 Los agregados Pétreos.....	22
4. ESCORIA DE ALTO HORNO	24
5. DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL METODO MARSHALL.....	24
5.1 Objetivo.....	25
5.2 Procedimiento	26
5. 2.1 Tamizar el material pétreo	26
5.2.2. Dosificación del material pétreo	27
5.2.3. Selección del Asfalto 80-100.....	28
5.2.5 Cálculo de densidades.....	34
5.2.6 Determinación de estabilidad y deformación en el aparato Marshall.....	38
6. RESULTADOS	43
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	48
7.1 Convencional.....	48
7.2 Modificado 100%.....	49
7.3 Modificado 75%.....	50
7.4 Modificado 50%.....	51
7.5 Modificado 25%.....	52
8. BIBLIOGRAFÍA.....	54

TABLA REGISTRO FOTOGRAFICO

Foto No. 1 Tamizado. Fuente el Autor	26
Foto No. 2 Clasificación de agregados. Fuente el autor.....	27
Foto No. 3 Dosificación material pétreo. Fuente el autor.....	27
Foto No. 4 Dosificación agregados. Fuente el autor.....	28
Foto No. 5 Asfalto 80.100. Fuente el autor.....	28
Foto No. 6 Asfalto 80-100. Fuente el autor	29
Foto No. 7 Preparación inicial mezcla. Fuente el autor.	30
Foto No. 8 Toma temperatura de mezclado. Fuente el autor.	30
Foto No. 9 Elaboración briquetas. Fuente el autor.	31
Foto No. 10 Extracción de vacíos de la briqueta. Fuente el Autor.	32
Foto No. 12 Desmolde de la briqueta. Fuente el autor.	33
Foto No. 11 Compactación Briqueta. Fuente el autor.....	32
Foto No. 13 Briqueta al medio ambiente. Fuente el autor.	33
Foto No. 14 Preparación balanza para cálculo de densidades. Fuente el autor.	34
Foto No. 15 Preparación equipo de pesaje de briquetas. Fuente el autor.....	34
Foto No. 16 Cálculo volumen –Toma de altura- briqueta. Fuente el autor.....	35
Foto No. 17 Cálculo volumen - Toma de diámetro. briqueta. Fuente el autor.....	35
Foto No. 18 Peso de la briqueta en el aire. Fuente el autor.	36
Foto No. 19 Peso de la briqueta en el agua. Fuente el autor.	37
Foto No. 20 Peso de la briqueta del aire luego de sumergida. Fuente el autor.	37
Foto No. 21 Briqueta en el tanque en baño de maría. Fuente el autor.....	38
Foto No. 22 Aparato Marshall. Fuente el autor.....	39
Foto No. 23 Briqueta a fallar. Fuente el autor.....	39
Foto No. 24 Preparación briqueta a fallar. Fuente el Autor.....	40

Foto No. 25 Alistamiento final de la briqueta a fallar. Fuente el autor.....	40
Foto No. 26 Briqueta colocada en el Aparto Marshall. Fuente el autor.....	41
Foto No. 27 Inicio del proceso de falla de la briqueta. Fuente el autor.....	41
Foto No. 28 Etapa final del proceso de falla de la briqueta. Fuente el autor.....	42

INTRODUCCION

El desarrollo de un país o región se puede medir por el tipo de infraestructura que posee, para que todos los sectores de la economía de desarrollen según el entorno global y permitan así la competitividad de dicha región o país. Entre el tipo de infraestructura que más relevante es el de vías de comunicación terrestre como las troncales, transversales, autopistas, departamentales, municipales y veredales; las que además de existir deben tener unas condiciones de rodabilidad que permitan que el tráfico vehicular circule libremente sin inconvenientes y cuyas capas de rodadura garanticen la estabilidad vehicular. Una de la maneras de hacer que este tipo de infraestructura sea lo más eficientemente posible es mejorar su capa de rodadura de tal manera sea durable en el tiempo y cuyo diseño sea acorde al servicio que va a prestar, lo cual se puede hacer mediante la aplicación de cemento asfáltico o concreto hidráulico, haciendo así que se mejore el tráfico vehicular. En lo referente a la capa asfáltica existe una serie de variables técnicas a tener en cuenta para su de diseño, una de las más relevantes es el contenido o porcentaje de asfaltos que debe contener la mezcla junto con los agregados, para obtener un producto de excelente calidad que permita satisfacer las necesidades técnicas del proyecto, además del contenido de del porcentaje de asfalto, la calidad de los agregados es determinante en el proceso de obtener un producto que satisfaga las condiciones de trabajo. Es así como en diseños varios se le han hecho modificaciones cambios de agregados convenciones con productos de similares características pero no convencionales y mejorar la capacidad estructural del asfalto. Es por esta razón que en el presente trabajo se han realizado una serie de modificaciones en mezclas asfálticas variando el porcentaje asfalto y reemplazando porcentualmente el contenido de filler por escoria de cobre, determinado en últimas cual de las mezclas es la más óptima en un MCD-3.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

-Diseñar una mezcla asfáltica óptima para la pavimentación MDC-3 utilizando escorias de cobre.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Utilizando el método (Marshall) lograr definir cuál es la proporción de agregados pétreos y el porcentaje asfalto que debe contener la mezcla asfáltica para lograr un comportamiento óptimo
- Determinar el efecto en el diseño estructural del pavimento mediante el uso de escorias de cobre en las mezclas asfálticas tipo MDC-3
- Determinar el porcentaje de asfalto y escorias de cobre óptimos en el diseño de mezclas asfálticas tipo MDC-3.
- Determinar la resistencia y la deformación plástica (estabilidad y el flujo) de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas tipo MDC-3 para pavimentación, empleando el aparato Marshall.
- Determinar los porcentajes de vacíos de las mezclas asfálticas diseñadas.
- Aplicar la norma INV-E 748 – 07 en el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall.

2. MEZCLAS DENSAS

Son materiales con bajos porcentaje de vacíos que se utiliza en tránsito T_1 a T_3 . La granulometría varía desde 0/6 hasta 0/16, y el diámetro está comprendido entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{3}$ del espesor de la capa por extender.

Algunas características de estos materiales son las siguientes:

Los agregados deben tener un desgaste en la máquina de los Ángeles inferior a 40 para los tránsitos T_1 y T_2 , y menor de 35 para los tránsitos T_3 . La arena ha de provenir preferiblemente de trituración, el equivalente de arena debe ser superior a 60 y el índice de plasticidad, nulo. Los finos de aporte o filler pueden ser polvos de trituración, limos inertes, cal o cemento.

Las granulometrías son las siguientes:

Tamaño en mm	Granulometría		
	0/10	0/14	0/16
20			100
14	100	100	95-100
10	80-100	95-100	75-100
6,3	60-100	65-92	50-88
2	25-75	25-65	23-60
0,2	6.-25	6.-20	6.-20
0,08	3.-7	3.-8	3.-8

Las mezclas tienen entre 4 y 7% de asfalto y se estudian por medio del ensayo de Marshall y Duriez.¹

2.1 Asfaltos

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuos del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción, cuyas cualidades aglutinantes y propiedades físicas y químicas los hacen óptimos para un gran número de aplicaciones.

Muchos de los asfaltos usados en trabajos de pavimentación provienen de la destilación del petróleo. La gran versatilidad de los materiales bituminosos hace que estos sean los más utilizados para la construcción y mantenimiento de estructuras de pavimentos flexibles. Los principales tipos de ligantes bituminosos se emplean actualmente para la elaboración de las mezclas asfálticas son los asfaltos naturales, los cementos asfálticos o asfaltos de penetración, los asfaltos líquidos o asfaltos rebajados, las emulsiones asfálticas y los crudos del petróleo.

¹ Diseño Racional de Pavimentos, Reyes Lizcano Fredy Alberto, pag. 55.

Los asfaltos naturales son procesos análogos que ocurren en la naturaleza y que han formado depósitos naturales de asfalto, algunos prácticamente libres de materias extrañas y otros mezclados con cantidades variables de ciertos minerales, agua y otras sustancias. Los depósitos naturales en los que el asfalto se encuentra dentro de una estructura de una roca porosa se conocen comúnmente con el nombre de asfaltos de roca o rocas asfálticas. Estos asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas, entre las que se destacan los manantiales, los lagos y las exudaciones.

Por otra parte casi todo el asfalto que se produce y utiliza hoy en día en el mundo procede de la refinación del petróleo. El asfalto derivado del petróleo se llama a veces asfalto residual (residuo de la destilación del petróleo), para distinguirlo de los asfaltos naturales. Las implicaciones poco deseables que normalmente se atribuye a la palabra residual han conducido a la industria del asfalto a preferir el empleo de la expresión "Destilación Directa", que sin embargo es inexacta, ya que pocas veces se produce asfaltos del petróleo por destilación simple sin ningún tratamiento posterior.

2.2 Funciones del asfalto en la construcción de pavimentos.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir grandes esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones como aplicación de estas propiedades:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciendo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica y disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura y, ende permite disminuir el espesor.

2.3 Composición química del asfalto

El asfalto igual que el petróleo crudo, está compuesto por numerosos hidrocarburos (átomos de carbono unidos entre sí por enlaces sencillos, dobles o triples y cuyas valencias libres se saturan por átomos de hidrógeno) mezclados en proporciones diferentes. La mayor parte de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación y solo quedan los hidrocarburos más pesados, que son moléculas complejas.

2.4 Características reológicas del asfalto

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante: la viscosidad.

La viscosidad del asfalto varía con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés práctico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas se considera un material sólido con propiedades elásticas.

2.5 Asfaltos modificados.

Se presenta en los casos en que las características de las mezclas asfálticas obtenidas con los cementos asfálticos convencionales no son capaces de resistir la acción conjunta del tránsito y el clima, por lo que resulta necesaria la utilización de ligantes modificados que presenten mejores propiedades reológicas, con mayor grado de adherencia, mayor resistencia al envejecimiento y menor susceptibilidad térmica.

Las mezclas asfálticas elaboradas con estos ligantes modificados presentan altos valores de stiffness (rigidez) a temperaturas altas de servicio, lo que disminuye el ahuellamiento, y bajos stiffness a temperaturas bajas, que reduce el riesgo de aparición prematura de fisuras.

Alguna de estas propiedades pueden mejorarse mediante el empleo de ligantes más duros, pero esto reducirá su flexibilidad a temperatura ambiente y proveerá al ligante de un mayor grado de fragilidad a temperaturas bajas.

Para mejorar las propiedades citadas sin producir efectos negativos secundarios, se están usando a escala mundial los cementos asfálticos modificados con polímeros. Con la utilización de los modificadores y aditivos, se puede lograr:

- Mejorar el stiffness del cemento asfáltico a temperaturas altas de servicio, minimizando el riesgo de ahuellamiento.
- Obtener mezclas más flexibles a temperaturas bajas de servicio para disminuir la aparición de fisuras asociadas a los cambios térmicos
- mejorar la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
- Mejora la afinidad ligante-agregado pétreo con el fin de reducir el riesgo de stripping (pérdida de adherencia)
- Mejora la resistencia a la abrasión de las mezclas asfálticas.
- Rejuvenece el cemento asfáltico.
- Minimiza los problemas durante el proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica.
- Mejora las características elásticas del cemento asfáltico.
- Permite un mayor espesor de película de ligante alrededor de las partículas del agregado, con el propósito de aumentar la durabilidad de la mezcla.
- Reducir la probabilidad de exudación del cemento asfáltico.
- Disminuir los espesores del cemento asfáltico.
- Mejorar el comportamiento general de toda la estructura del pavimento.

2.6 Características Una mezcla asfáltica ideal

Una mezcla asfáltica ideal debe tener:

- Baja rigidez o viscosidad a temperaturas normales de manejo en planta y colocación en obra.
- Alta rigidez a temperaturas altas de servicio para reducir el ahuellamiento.
- Baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas de servicio para reducir el riesgo de la aparición de fisuras por cambios de temperatura.
- Buenas características adherentes en presencia de humedad, con el propósito de reducir el stripping.

2.7 Durabilidad de los asfaltos

La durabilidad de un asfalto se define como su capacidad para mantener las propiedades ligantes y cohesivas en la mezcla, antes y después de envejecido. Sus cualidades deben mantenerse a lo largo de la vida útil del pavimento con el objeto de que cumpla la misión que tiene encomendada. A favor de esta inalterabilidad desempeña un papel muy importante la naturaleza del material, constituidos por hidrocarburos de distintos grados de polaridad, y por el contrario, a favor de esta evolución cumple un papel clave factores internos y externos. Entre los internos, el propio sistema coloidal muestra una cierta tendencia a evolucionar hacia la gelificación, con el consiguiente aumento de la dureza y fragilidad, mientras que las condiciones climáticas, la intensidad del tránsito, las características propias la mezcla diseñada y el proceso constructivo son factores externos que disminuyen la durabilidad del ligante asfáltico e incide en el comportamiento de la estructura del pavimento.

3. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.²

² MEZCLAS ASFÁLTICAS, Padilla Rodríguez Alejandro, Capítulo 3, pág. 45

3.1 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

3.1.1 Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

3.1.2 Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente:

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.³

Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

³ MEZCLAS ASFALTICAS, Padilla Rodríguez Alejandro, Capítulo 3, pág. 47

3.1.3 Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semicerradas o Semidensas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

3.1.4 Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

3.1.5 Por la Estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: *Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.*
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.⁴

3.1.6 Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico..
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

3.2 Propiedades Requeridas En Una Mezcla Asfáltica

Las mezclas asfálticas se encuentran sometidas a una serie de solicitaciones de gran magnitud y de una amplia gama.

⁴ Fernández del Campo J. A. Pavimentos bituminosos en frío – Pág. 191

Para que tengan en servicio un buen comportamiento y ayuden a la durabilidad y estabilidad de toda la estructura deben poseer en mayor o menor grado una serie de propiedades, las cuales muchas veces son contrapuestas y la importancia que se le dé a una u otra dependerá de los requerimientos que tenga que cumplir como capa (capa de rodadura, capa de base asfáltica, capa estabilizada, etc.), del espesor de capa, de las condiciones climáticas, del tipo de tránsito vehicular, del tipo de estructuración de las demás capas y del tipo de agregados, entre otros aspectos importantes.

Las principales propiedades que se desean tener en las mezclas asfálticas son:

3.2.1 Resistencia a la deformación (Estabilidad).

Las solicitaciones a las que se encuentra sometida una mezcla asfáltica son muy variables. Estas inducen una serie de esfuerzos de compresión, tensión o cortante siendo posible conocer su línea de influencia en un punto cualquiera según una posición relativa a la aplicación de la carga. La mezcla asfáltica debe soportar sin deformarse apreciablemente dichas solicitaciones.

La estabilidad de las mezclas asfálticas depende de tres elementos básicos: **La Fricción Interna, la Cohesión y la Inercia.**

La Fricción Interna. Es aportada especialmente por las partículas del agregado pétreo, mediante una combinación de su resistencia friccional y de la trabazón del agregado dentro de la mezcla. Depende de la textura superficial, de la forma de las partículas, de la granulometría, del grado de compactación de la mezcla y de la proporción de asfalto.

La resistencia friccional se incrementa con la rugosidad superficial de las partículas del agregado y a medida que el área de contacto entre las partículas se hace mayor. La resistencia por trabazón dependerá del tamaño y la forma de las partículas. Independiente del tipo de mezcla, la estabilidad aumenta con el incremento de su densidad, la cual depende del grado de compactación obtenido en el campo y su granulometría. Altas cantidades de ligante en la mezcla producen un efecto lubricante en las partículas y disminuyen la fricción interna del esqueleto mineral induciendo una disminución de la estabilidad de la mezcla.

- **La Cohesión.** Es la fuerza inherente a la mezcla asfáltica que aglutina las partículas. Se debe a las características del ligante utilizado para la elaboración de la mezcla. La fuerza de cohesión permite que se mantengan las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas, variando directamente con la intensidad del tránsito, el área cargada y la consistencia del ligante e inversamente con la temperatura de la mezcla. La cohesión aumenta hasta un máximo con el incremento de ligante en la mezcla, y después de este valor comienza a decrecer.

- **La Inercia** es el aporte a la estabilidad que proviene de la resistencia que ofrece una masa a ser deformada. Depende del volumen total bajo el esfuerzo de la carga impuesta (espesor de la capa asfáltica colocada).

Resistencia a las deformaciones plásticas.

Las diversas solicitaciones a las que se encuentra sometida la mezcla asfáltica en servicio, pueden provocar deformaciones que no se recuperan con el tiempo o el cese de la solicitación. La mezcla asfáltica puede deformarse plásticamente debido a una falla de las capas inferiores de la estructura y a defectos durante la elaboración y puesta en obra. Esto conlleva a la aparición de roderas o ahuellamientos tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal de la vía, especialmente en el carril de circulación, sitios de parada obligada (semáforos) y sitios de frenado.

3.2.3 Resistencia a la Fatiga.

Por lo general, las mezclas asfálticas van a presentar una buena estabilidad a la acción de las cargas del tránsito aisladas. Con el tiempo y por la acción repetitiva de dichas cargas el material va a acumular los efectos de esa acción y puede fallar por fatiga, la cual se refleja con la aparición de las fisuras tipo piel de cocodrilo. Para su estudio se han establecido a nivel mundial las ya conocidas leyes de fatiga de las mezclas asfálticas, que relacionan el número de repeticiones de carga que la mezcla puede soportar antes de la falla por fatiga y la deflexión elástica correspondiente.

La resistencia a la fatiga aumenta en las mezclas con altos contenidos de ligante, bajos contenidos de vacíos, mezclas de gradación densa y la utilización de asfaltos más duros

3.2.3. Resistencia al Deslizamiento.

La mezcla una vez colocada y compactada debe satisfacer los requerimientos de seguridad de toda capa de rodadura, proporcionando en todo momento una superficie segura para el usuario, a través de toda la vida de servicio de la estructura y no solamente durante su puesta en servicio, para lo cual debe de cumplir algunos requerimientos específicos en cuanto a la resistencia al deslizamiento se refiere.

La capacidad de una capa asfáltica para ofrecer oposición al resbalamiento de un vehículo que se desplaza sobre él, especialmente cuando la superficie está húmeda, se define como su resistencia al deslizamiento. Los factores que inciden en esta propiedad, están asociados con los establecidos para los agregados con el fin de alcanzar altas estabilidades, aún cuando se hace más importante la textura superficial de las partículas.

3.2.4 Mayor o Menor Grado de Flexibilidad.

La mezcla asfáltica debe tener la propiedad de acomodarse a los movimientos que se produzcan en las capas subyacentes (asentamientos, expansión o contracción, etc.), sin que se presente un deterioro apreciable, dicha propiedad se denomina flexibilidad de una mezcla asfáltica y está asociada con altos contenidos de ligante y agregados de granulometría relativamente abierta.

3.2.5 Grado de Impermeabilidad.

Las mezclas asfálticas que se colocan en la parte superior de una estructura de pavimento deben ser altamente impermeables para impedir el paso del agua, lo cual originaría un prematuro envejecimiento de la película de ligante y afectaría la adhesividad entre el ligante y el agregado. El tamaño de los vacíos, el hecho de que se encuentren interconectados y el acceso de ellos hacia la superficie del pavimento, determinan el grado de impermeabilidad. Los factores asociados con mezclas durables, ricas en asfalto y con agregados de granulometría densa, bien compactadas; están relacionados con la impermeabilidad. Prácticamente todas las mezclas en caliente empleadas en pavimentos flexibles, son impermeables en mayor o menor grado y son aceptables siempre y cuando cumplan con los límites de las especificaciones en cuanto a granulometría y porcentaje de vacíos.

3.2.6 Alta Durabilidad.

Las mezclas asfálticas durante su vida en servicio en una estructura de pavimento, se verá afectada además de las cargas del tránsito a la acción de los rayos ultravioletas, al aceite y carburantes de vehículos automotores, así como a toda una serie de factores externos que van a afectar en mayor o menor grado la durabilidad de la mezcla asfáltica. La durabilidad se define como la propiedad que tiene una mezcla asfáltica para resistir la desintegración producida por el tránsito y el clima. El deterioro producido por el clima se debe a los cambios que se producen en las propiedades físico-químicas y geológicas del asfalto, acelerando su proceso de envejecimiento por la acción del oxígeno del aire, los rayos ultravioletas y el agua, provocando una alteración en las cualidades de la mezcla hacia propiedades menos estables con el tiempo.

La durabilidad se incrementa, aumentando el contenido de ligante, utilizando granulometrías densas y logrando altos grados de compactación en obra. Una película de asfalto de mayor espesor cubriendo las partículas presenta mayor resistencia al envejecimiento, que una película de ligante fina. Por otra parte, el aumento en la cantidad de ligante reduce el tamaño de los poros en los vacíos interconectados o los sella haciendo más difícil la entrada del agua o del aire al interior de la mezcla.⁵

⁵ LAS SUPERFICIES DE RODADURA BITUMINOSAS, Arenas Lozano Hugo León, pág.138

3.2.7 Trabajabilidad.

La Trabajabilidad se define como la facilidad con que el asfalto y los agregados son mezclados, y que una vez elaborada, la mezcla pueda ser extendida y compactada. Por lo general si el diseño satisface las propiedades exigidas, la Trabajabilidad bajo condiciones normales de trabajo no será un problema. En el momento de la compactación debe tenerse en cuenta la temperatura óptima de la mezcla, con el fin de que no ocurra su desplazamiento bajo los equipos de compactación y se puedan obtener las densidades exigidas. Los problemas de Trabajabilidad se detectan durante los procesos de extendido y compactación y su corrección debe realizarse ajustando los parámetros de la fórmula de trabajo. Estos ajustes deben hacerse de manera rápida con el fin de dar continuidad a los trabajos programados.

3.2.8 Economía.

Más que una propiedad es un criterio que debe ser considerado en toda decisión de ingeniería, incluyendo el diseño de las mezclas asfálticas. Todo tipo de mezcla además de cumplir con los requisitos exigidos debe también ser económica, para lo cual se deben analizar la facilidad de consecución de materiales locales, como los importados de otras fuentes de suministro, en función del tipo de vía a pavimentar, distancias de transporte, tipo de mezcla, volumen de tránsito, posición de la mezcla dentro de la estructura de pavimento, especificaciones de calidad, etc.

3.3 Los Materiales Constituyentes de Las Mezclas Asfálticas.

Los principales componentes de una mezcla asfáltica son:

Los Agregados Pétreos y los ligantes Bituminosos.

3.3.1 El Ligante Bituminoso.

En este tipo de mezclas se utilizan los asfaltos de penetración. En Colombia, de manera generalizada se pueden usar los asfaltos de penetración 70-90 provenientes de las refinerías.

3.3.2 Los agregados Pétreos.

Es necesario decidir sobre su origen, tamaño máximo y sus propiedades físico-químicas y mecánicas. En la gran mayoría de los casos no es posible determinar de antemano la naturaleza de un agregado para la elaboración de una mezcla

asfáltica, ya que lo más frecuente es la utilización de los materiales existentes en la zona del proyecto o a distancias de transporte no muy grandes.

Las propiedades físico-químicas y mecánicas más importantes que se deben exigir a los agregados pétreos, son las siguientes:

3.3.2.1 Resistencia al desgaste:

Para que los agregados cumplan satisfactoriamente su función, es necesario que sean resistentes a la acción de los equipos de construcción y más tarde a la acción del tránsito. El desgaste es un efecto que se produce por la acción abrasiva de los neumáticos sobre la superficie del pavimento y es un efecto importante ya que genera una disminución del espesor con la consecuente pérdida de estructura.

3.3.2.2 Rozamiento Interno:

Es una propiedad importante que deben tener todos los agregados que se van a utilizar en mezclas asfálticas, con el fin de impedir el desplazamiento de las partículas bajo la acción de una carga. Dicha propiedad se debe al roce y al grado de trabazón de las partículas de agregado. La mayor fricción interna se obtiene en agregados triturados, siendo baja la de los agregados redondeados.

3.3.2.3 Durabilidad:

Son indeseables en los pavimentos asfálticos los agregados que se disgregan bajo la acción de los agentes atmosféricos

3.3.2.4 Afinidad con el ligante asfáltico:

Para que un pavimento asfáltico sea resistente y durable, es necesario que la película de asfalto se adhiera bien a las partículas de agregado, con el fin de evitar su desprendimiento.

3.3.2.5 Forma de las partículas:

Es necesario limitar la presencia de partículas alargadas en el agregado pétreo. Altas cantidades conlleva a una disminución de la estabilidad y durabilidad de los pavimentos asfálticos.⁶

⁶ LAS SUPERFICIES DE RODADURA BITUMINOSAS, Arenas Lozano Hugo León, pág.151

3.3.2.6 Actividad de los finos:

La presencia de materiales vegetales, partículas blandas, terrones de arcilla y partículas revestidas de arcilla no se deben aceptar, debido a que producen en las mezclas asfálticas mala adherencia, cambios en la gradación, etc..

4. ESCORIA DE ALTO HORNO

Siendo las escorias siderúrgicas productos resultantes de procesos de obtención del arrabio y el acero es que son consideradas una materia prima no natural de bajo costo. Las escorias se forman por la fusión de las impurezas del mineral de hierro junto con la adición de fundentes de caliza y dolomita y las cenizas de coque. El proceso lento de enfriamiento de la Escoria Enfriada al Aire hace que sus componentes vayan formando distintas fases cristalinas y alveolares constituyendo una estructura termodinámica más estable pero perdiendo sus propiedades de aglomerante hidráulico. Se distribuye en capas no mayores de 15 cm de espesor, luego de enfriada se retira y se tritura hasta el tamaño buscado. En el uso de este tipo de materiales es aconsejable mantener un acopio en un tiempo prudencial mayor a los ocho meses, para asegurar la finalización de cualquier tipo de proceso que haya quedado inconcluso, por otro lado es importante conocer químicamente los porcentajes de los elementos constitutivos con el fin de encuadrarse dentro de las normas.

Para su inclusión en hormigones de escoria enfriada al aire es importante determinar el tenor de agua a incorporar para llevar la escoria al estado de saturado superficie seca dado que la misma se encuentra en un estado natural de humedad.

Unos de los aspectos a tener en cuenta en la escoria es controlar el contenido de sulfuro de hierro dado que con una excesiva presencia de este y en determinadas condiciones puede convertirse en sulfato y atacar al hormigón y afectar a la durabilidad, a su vez puede presentar una coloración no adecuada.

5. DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL METODO MARSHALL

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall.

El ensayo Marshall, surgió de una investigación iniciada por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EEUU en 1943. Varios métodos fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adoptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y estudios de corrección, en

laboratorio, el cuerpo de ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrollo criterio de diseño de mezclas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de mezclas asfálticas en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deber ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y contiene agregados con tamaños máximos de 25 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2,5 in) de espesor por 103 mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: Un análisis de relación de Vacíos-Densidad, y una prueba de estabilidad –Flujo de las muestras compactadas.

5.1 Objetivo

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que sea posible establecer si cumple en lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.

El método consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. El tamaño de las probetas es de 2.5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro. Dichas probetas se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar.

Las probetas preparadas con el método se rompen en la prensa Marshall, determinado su estabilidad (resistencia) y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura.⁷

⁷ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo1.pdf
pág. 4

5.2 Procedimiento

Se seleccionó los agregados

Asfalto o 80 -100

El Filler se sustituyo por el escorias de cobre con 100% del fondo, 75% del fondo , 50% y el 25%, se realizaron briquetas y se fallaron (125 briquetas).

Se uso tamices para tamizar los agrados usando:

$\frac{1}{2}$

$\frac{3}{8}$

No.4

No. 10

No.40

No.80

No. 200

Fondo o Filler.

Dosificación al 5-5

5. 2.1 Tamizar el material pétreo



Foto No. 1 Tamizado. Fuente el Autor

Materiales clasificados según el tamiz



Foto No. 2 Clasificación de agregados. Fuente el autor

5.2.2. Dosificación del material pétreo



Foto No. 3 Dosificación material pétreo. Fuente el autor.



Foto No. 4 Dosificación agregados. Fuente el autor

5.2.3. Selección del Asfalto 80-100



Foto No. 5 Asfalto 80.100. Fuente el autor.



Foto No. 6 Asfalto 80-100. Fuente el autor

Se toma el asfalto se le incrementa la temperatura hasta que se vuelva viscoso, luego se toma la cantidad de asfalto necesitado para cada ensayo.

Se coloca los materiales pétreos y el asfalto dosificado en una estufa y se empieza a mezclar.



Foto No. 7 Preparación inicial mezcla. Fuente el autor.

La mezcla se completa cuando alcance cerca de los 140 °C.



Foto No. 8 Toma temperatura de mezclado. Fuente el autor.

5.2.4 Elaboración de las briquetas

Luego se pasa al molde cuya temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 130°C.



Foto No. 9 Elaboración briquetas. Fuente el autor.

Una vez colocada la mezcla en el molde de la briqueta se extraen los vacíos aplicando 15 hincadas en la orilla y 10 en el centro, se realiza con una varilla de hierro delgada.



Foto No. 10 Extracción de vacíos de la briqueta. Fuente el Autor.

Se aplica 75 golpes por cada lado con el martillo para la compactación de la briqueta en el molde.



Foto No. 11 Compactación Briqueta. Fuente el autor.

Luego se le quita el molde



Foto No. 12 Desmolde de la briqueta. Fuente el autor.

Se deja la briqueta durante 24 horas al medio ambiente.



Foto No. 13 Briqueta al medio ambiente. Fuente el autor.

5.2.5 Cálculo de densidades

Se calcula las densidades, de la siguiente forma: En una balanza electrónica, se coloca una canastilla dentro de un balde con agua la cual debe quedar flotando para realizar el respectivo peso.



Foto No. 14 Preparación balanza para cálculo de densidades. Fuente el autor.



Foto No. 15 Preparación equipo de pesaje de briquetas. Fuente el autor.

Antes de esto se toman las dimensiones de la briqueta diámetro y altura



Foto No. 16 Cálculo volumen –Toma de altura- briqueta. Fuente el autor.



Foto No. 17 Cálculo volumen - Toma de diámetro briqueta. Fuente el autor

Se Pesa la briqueta, en el aire y sumergida dentro de agua.



Foto No. 18 Peso de la briqueta en el aire. Fuente el autor.

Peso de la briqueta en el agua: se introduce en el agua dentro de la canastilla y se pesa.



Foto No. 19 Peso de la briqueta en el agua. Fuente el autor.

Peso de la briqueta en el aire luego de ser sumergida, peso superficialmente seco.



Foto No. 20 Peso de la briqueta del aire luego de sumergida. Fuente el autor.

Luego se coloca la briqueta en un tanque con agua a 60°C durante 30 minutos



Foto No. 21 Briqueta en el tanque en baño de maría. Fuente el autor.

5.2.6 Determinación de estabilidad y deformación en el aparato Marshall

Se procede a fallar en el aparato Marshall, se determina estabilidad y deformación.



Foto No. 22 Aparato Marshall. Fuente el autor.



Foto No. 23 Briqueta a fallar. Fuente el autor.



Foto No. 24 Preparación briqueta a fallar. Fuente el Autor.



Foto No. 25 Alistamiento final de la briqueta a fallar. Fuente el autor.



Foto No. 26 Briqueta colocada en el Aparato Marshall. Fuente el autor.



Foto No. 27 Inicio del proceso de falla de la briqueta. Fuente el autor.



Foto No. 28 Etapa final del proceso de falla de la briqueta. Fuente el autor.

Se registran los datos y se elabora las gráficas como son:

- Peso unitario vs. Contenido de asfalto
- Estabilidad vs. Contenido de asfalto
- Vacíos en el agregado mineral vs. Contenido de asfalto
- Vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto
- Vacíos de aire vs. Contenido de asfalto
- Flujo vs. Contenido de asfalto

Modificado 100%						DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA Método (Marshall) MDC - 3						Presento : Helimeleg Muñoz Rodríguez								
FICO DE AGREGADOS Gagr = 2,540						Gs Asf = 1,010						GRADO DE PENETRACION ASFALTO: 80-100								
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	ESPESOR DE LA BRIQUETA (cm)	PESO EN GRAMOS (g)			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO					VOLUMEN % TOTAL			% VACIOS			ESTABILIDAD - Kg		
			SECA	EN AGUA	SSS.		BULK	TEORICO	ASFALTO EFECTIVO	AGREGADOS	VACIOS	AGREGADOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS	MEDIDA	CORREGIDA	FLUJO (mm)			
A	B	C	D	E	E'	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q			
1-1	5,0	6,50	1198,0	645,0	1.200,0	555,0	2,1586								934	831	3,937			
1-2		6,60	1189,0	643,0	1.280,0	637,0	1,8666								913	849	3,81			
1-3		6,60	1191,0	642,0	1.193,0	551,0	2,1615								922	820	3,937			
1-4		6,60	1201,0	646,0	1.203,0	557,0	2,1562								943	839	3,81			
1-5		6,60	1197,0	645,0	1.199,0	554,0	2,1606								937	871	3,937			
PROMEDIO							2,1007	2,359	5,0	78,6	16,44	21,43	10,94	31,4		842	3,8862			
2-1	5,5	6,60	1190,0	643,0	1.192,0	549,0	2,1676								1.006	880	4,064			
2-2		6,60	1181,0	640,0	1.183,0	543,0	2,1750								970	849	4,191			
2-3		6,60	1197,0	647,0	1.199,0	552,0	2,1685								1.020	893	4,318			
2-4		6,60	1198,0	646,0	1.199,0	553,0	2,1664								1.052	905	4,191			
2-5		6,60	1187,0	645,0	1.189,0	544,0	2,1820								1.011	885	4,064			
PROMEDIO							2,1719	2,342	5,5	80,8	13,70	19,20	7,26	43,1		882	4,1656			
3-1	6,0	6,50	1192,0	641,0	1.193,0	552,0	2,1594								923	858	4,318			
3-2		6,50	1186,0	638,0	1.187,0	549,0	2,1603								916	880	4,445			
3-3		6,50	1197,0	644,0	1.198,0	554,0	2,1606								979	925	4,318			
3-4		6,50	1189,0	640,0	1.190,0	550,0	2,1618								918	868	4,445			
3-5		6,50	1202,0	647,0	1.203,0	556,0	2,1619								1.009	954	4,318			
PROMEDIO							2,1608	2,325	6,0	80,0	14,04	20,03	7,08	45,8		897	4,3688			
4-1	6,5	6,50	1190,0	646,0	1.191,0	545,0	2,1835								935	883	4,445			
4-2		6,50	1193,0	648,0	1.194,0	546,0	2,1850								970	917	4,572			
4-3		6,50	1186,0	642,0	1.187,0	545,0	2,1761								916	880	4,699			
4-4		6,50	1195,0	650,0	1.196,0	546,0	2,1886								992	922	4,699			
4-5		6,50	1200,0	652,0	1.201,0	549,0	2,1858								979	925	4,572			
PROMEDIO							2,1838	2,309	6,5	80,4	13,12	19,61	5,43	54,5		905	4,5974			
	7,0	6,60	1194,0	650,0	1.194,0	544,0	2,1949								887	838	4,826			
		6,60	1198,0	652,0	1.199,0	547,0	2,1901								907	857	4,699			
		6,60	1183,0	648,0	1.183,0	535,0	2,2112								811	779	4,953			
		6,60	1179,0	650,0	1.179,0	529,0	2,2287								713	663	4,953			
		6,70	1198,0	652,0	1.198,0	546,0	2,1941								897	848	4,699			
PROMEDIO							2,2038	2,293	6,5	81,1	12,38	18,88	3,90	62,5		797	4,826			

6,3	1,02		
6,4	1		
6,5	0,96	7	0,86
6,6	0,945		
6,7	0,93		
6,8	0,89		
6,9	0,875		
CARGA (LECT)	CARGA REAL	P	Q
9,16	933,74	831	155
8,96	913,35	849	150
9,04	921,51	820	155
9,25	942,92	839	150
9,19	936,80	871	155
		842	153
9,87	1006,12	880	160
9,52	970,44	849	165
10,01	1020,39	893	170
10,32	1051,99	905	165
9,92	1011,21	885	160
		882	164
9,05	922,53	858	170
8,99	916,41	880	175
9,6	978,59	925	170
9,01	918,45	868	175
9,9	1009,17	954	170
		897	172
9,17	934,76	883	175
9,52	970,44	917	180
8,99	916,41	880	185
9,73	991,85	922	185
9,6	978,59	925	180
		905	181
8,7	886,85	838	190
8,9	907,24	857	185
7,96	811,42	779	195
6,99	712,54	663	195
8,8	897,04	848	185
		797	190,0

Modificado 75%						DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA Método (Marshall) MDC - 3						Presento : Helimeleg Muñoz Rodríguez Fecha :					
FICHO DE AGREGADOS Gagr = 2,540						Gs Asf = 1,0010						GRADO DE PENETRACION ASFALTO: 80-100					
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	ESPESOR DE LA BRIQUETA (cm)	PESO EN GRAMOS (g)			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO		VOLUMEN % TOTAL			% VACIOS			ESTABILIDAD - Kg		
			SECA	EN AGUA	SSS.		BULK	TEORICO	ASFALTO EFECTIVO	AGREGADOS	VACIOS	AGREGADOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS	MEDIDA	CORREGIDA	FLUJO (mm)
A	B	C	D	E	E'	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1-1	5,0	6,60	1192,0	640,0	1.195,0	555,0	2,1477								848	755	4,191
1-2		6,60	1196,0	641,0	1.155,0	514,0	2,3268								863	803	4,064
1-3		6,60	1185,0	638,0	1.189,0	551,0	2,1506								837	745	4,191
1-4		6,60	1200,0	650,0	1.204,0	554,0	2,1661								897	798	3,937
1-5		6,60	1176,0	635,0	1.179,0	544,0	2,1618								811	755	4,064
PROMEDIO							2,1906	2,359	5,0	81,9	13,07	18,07	7,13	41,2	771	4,0894	
2-1	5,5	6,50	1183,0	640,0	1.185,0	545,0	2,1706								903	790	3,81
2-2		6,60	1191,0	642,0	1.193,0	551,0	2,1615								935	818	3,937
2-3		6,60	1203,0	645,0	1.205,0	560,0	2,1482								964	844	3,81
2-4		6,60	1197,0	646,0	1.200,0	554,0	2,1606								979	842	4,064
2-5		6,60	1194,0	641,0	1.197,0	556,0	2,1475								970	849	3,937
PROMEDIO							2,1577	2,342	5,5	80,3	14,23	19,72	7,87	41,1	829	3,9116	
3-1	6,0	6,60	1179,0	635,0	1.181,0	546,0	2,1593								848	789	3,81
3-2		6,60	1186,0	638,0	1.188,0	550,0	2,1564								896	860	4,064
3-3		6,60	1193,0	640,0	1.156,0	516,0	2,3120								909	859	3,937
3-4		6,60	1181,0	637,0	1.183,0	546,0	2,1630								811	767	4,191
3-5		6,60	1192,0	641,0	1.194,0	553,0	2,1555								841	795	4,064
PROMEDIO							2,1892	2,325	6,0	81,0	12,99	18,98	5,86	50,6	814	4,0132	
4-1	6,5	6,60	1181,0	640,0	1.182,0	542,0	2,1790								820	774	3,81
4-2		6,60	1174,0	633,0	1.175,0	542,0	2,1661								814	770	4,064
4-3		6,60	1192,0	645,0	1.153,0	508,0	2,3465								832	799	4,318
4-4		6,60	1199,0	647,0	1.200,0	553,0	2,1682								843	784	4,445
4-5		6,60	1186,0	642,0	1.187,0	545,0	2,1761								840	794	4,191
PROMEDIO							2,2072	2,309	6,5	81,2	12,26	18,75	4,42	59,5	784	4,1656	
	7,0	6,80	1190,0	643,0	1.190,0	547,0	2,1755								820	774	4,318
		6,70	1197,0	645,0	1.197,0	552,0	2,1685								846	800	4,191
		6,70	1182,0	640,0	1.182,0	542,0	2,1808								813	781	4,445
		6,70	1195,0	644,0	1.196,0	552,0	2,1649								831	773	4,572
		6,70	1191,0	640,0	1.192,0	552,0	2,1576								765	722	4,445
PROMEDIO							2,1695	2,293	6,5	79,9	13,64	20,14	5,40	54,6	770	4,3942	

6,3	1,02		
6,4	1		
6,5	0,96	7	0,86
6,6	0,945		
6,7	0,93		
6,8	0,89		
6,9	0,875		
CARGA (LECT)	CARGA REAL	P	Q
8,32	848,11	755	165
8,47	863,40	803	160
8,21	836,90	745	165
8,8	897,04	798	155
7,96	811,42	755	160
		771	161
8,86	903,16	790	150
9,17	934,76	818	155
9,46	964,32	844	150
9,6	978,59	842	160
9,52	970,44	849	155
		829	154
8,32	848,11	789	150
8,79	896,02	860	160
8,92	909,28	859	155
7,96	811,42	767	165
8,25	840,98	795	160
		814	158
8,04	819,57	774	150
7,99	814,48	770	160
8,16	831,80	799	170
8,27	843,02	784	175
8,24	839,96	794	165
		784	164
8,04	819,57	774	170
8,3	846,08	800	165
7,98	813,46	781	175
8,15	830,78	773	180
7,5	764,53	722	175
		770	173,0

Modificado 50%						DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA Método (Marshall) MDC - 3						Presento : Heimeleg Muñoz Rodriguez		Fecha :			
FICO DE AGREGADOS Gagr = 2,540						Gs Asf = 1,0010						GRADO DE PENETRACION ASFALTO: 80-100					
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	ESPESOR DE LA BRIQUETA (cm)	PESO EN GRAMOS (g)			VOLUMEN cm ³	PESO ESPECIFICO		VOLUMEN % TOTAL			% VACIOS			ESTABILIDAD - Kg		
			SECA	EN AGUA	SSS.		BULK	TEORICO	ASFALTO EFECTIVO	AGREGADOS	VACIOS	AGREGADOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS	MEDIDA	CORREGIDA	FLUJO (mm)
A	B	C	D	E	E'	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1-1	5,0	6,60	1199,0	640,0	1.202,0	562,0	2,1335								902	803	4,445
1-2		6,60	1201,0	640,0	1.204,0	564,0	2,1294								893	830	4,191
1-3		6,60	1187,0	635,0	1.191,0	556,0	2,1349								830	738	4,318
1-4		6,60	1195,0	638,0	1.199,0	561,0	2,1301								811	722	4,191
1-5		6,60	1200,0	640,0	1.204,0	564,0	2,1277								839	780	4,318
PROMEDIO							2,1311	2,359	5,0	79,7	15,30	20,29	9,65	34,1		775	4,2926
2-1	5,5	6,60	1193,0	645,0	1.195,0	550,0	2,1691								910	797	4,064
2-2		6,60	1156,0	644,0	1.198,0	554,0	2,0866								918	804	4,191
2-3		6,60	1184,0	636,0	1.186,0	550,0	2,1527								897	785	4,064
2-4		6,60	1191,0	642,0	1.193,0	551,0	2,1615								912	785	4,191
2-5		6,60	1200,0	645,0	1.202,0	557,0	2,1544								925	809	4,064
PROMEDIO							2,1449	2,342	5,5	79,8	14,71	20,20	8,42	39,5		796	4,1148
3-1	6,0	6,60	1198,0	640,0	1.199,0	559,0	2,1431								866	806	4,064
3-2		6,60	1203,0	642,0	1.205,0	563,0	2,1388								887	851	4,191
3-3		6,60	1191,0	638,0	1.194,0	556,0	2,1421								878	829	4,318
3-4		6,60	1201,0	640,0	1.203,0	563,0	2,1332								862	815	4,191
3-5		6,60	1187,0	640,0	1.189,0	549,0	2,1621								843	797	4,064
PROMEDIO							2,1435	2,325	6,0	79,3	14,68	20,68	7,83	43,4		820	4,1656
4-1	6,5	6,60	1172,0	635,0	1.173,0	538,0	2,1784								795	751	4,064
4-2		6,60	1175,0	635,0	1.176,0	541,0	2,1719								805	761	4,191
4-3		6,60	1181,0	637,0	1.182,0	545,0	2,1670								776	745	4,318
4-4		6,60	1188,0	638,0	1.189,0	551,0	2,1561								811	755	4,064
4-5		6,60	1190,0	640,0	1.191,0	551,0	2,1597								712	672	4,572
PROMEDIO							2,1666	2,309	6,5	79,8	13,75	20,24	6,18	51,3		737	4,2418
	7,0	6,70	1184,0	638,0	1.185,0	547,0	2,1645								791	748	4,572
		6,60	1190,0	640,0	1.191,0	551,0	2,1597								811	767	4,445
		6,70	1176,0	635,0	1.177,0	542,0	2,1697								733	704	4,699
		6,60	1172,0	636,0	1.173,0	537,0	2,1825								707	658	4,318
		6,60	1188,0	638,0	1.189,0	551,0	2,1561								693	655	4,572
PROMEDIO							2,1665	2,293	6,5	79,8	13,75	20,25	5,52	54,1		706	4,5212

6,3	1,02		
6,4	1		
6,5	0,96	7	0,86
6,6	0,945		
6,7	0,93		
6,8	0,89		
6,9	0,875		
CARGA (LECT)	CARGA REAL	P	Q
8,85	902,14	803	175
8,76	892,97	830	165
8,14	829,77	738	170
7,96	811,42	722	165
8,23	838,94	780	170
		775	169
8,93	910,30	797	160
9,01	918,45	804	165
8,8	897,04	785	160
8,95	912,33	785	165
9,07	924,57	809	160
		796	162
8,5	866,46	806	160
8,7	886,85	851	165
8,61	877,68	829	170
8,46	862,39	815	165
8,27	843,02	797	160
		820	164
7,8	795,11	751	160
7,9	805,30	761	165
7,61	775,74	745	170
7,96	811,42	755	160
6,98	711,52	672	180
		737	167
7,76	791,03	748	180
7,96	811,42	767	175
7,19	732,93	704	185
6,94	707,44	658	170
6,8	693,17	655	180
		706	178,0

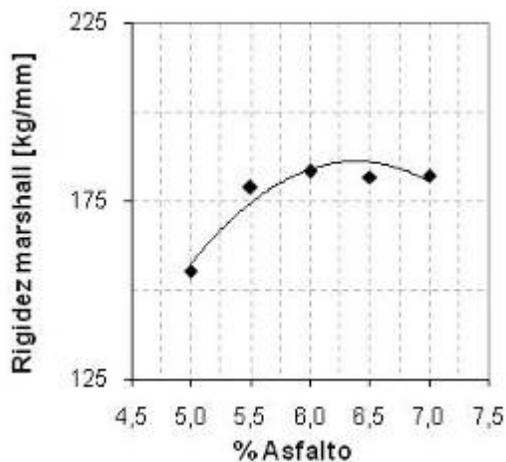
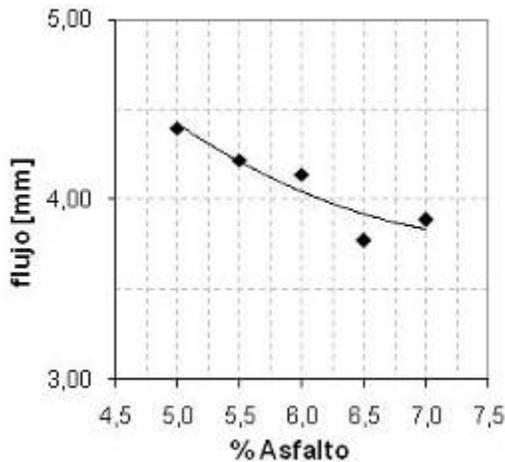
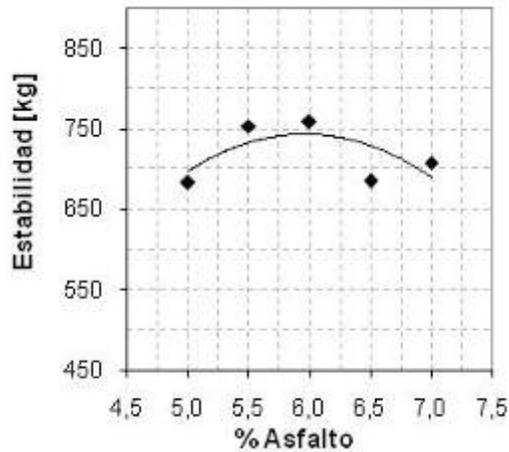
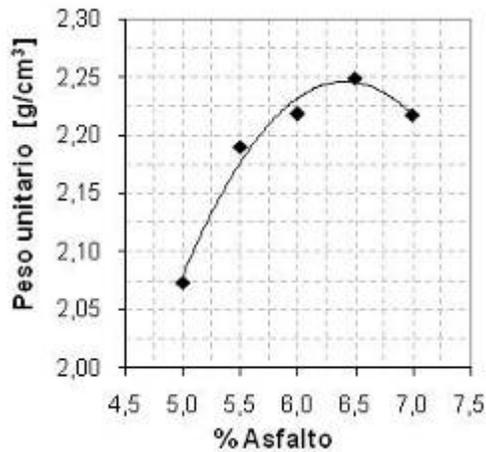
Modificado 25%						DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA Método (Marshall) MDC - 3						Presento : Helmeleg Muñoz Rodríguez Fecha :								
FICO DE AGREGADOS Gagr = 2,540						Gs Asf = 1,0010						GRADO DE PENETRACION ASFALTO: 80-100								
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	ESPESOR DE LA BRIQUETA (cm)	PESO EN GRAMOS (g)			VOLUMEN cm3	PESO ESPECIFICO					VOLUMEN % TOTAL			% VACIOS			ESTABILIDAD -, Kg		
			SECA	EN AGUA	SSS.		BULK	TEORICO	ASFALTO EFECTIVO	AGREGADOS	VACIOS	AGREGADOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS	MEZCLA TOTAL	LLENOS
A	B	C	D	E	E'	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q			
1-1	5,0	6,60	1170,0	630,0	1.173,0	543,0	2,1547								765	680	3,81			
1-2		6,60	1180,0	635,0	1.183,0	548,0	2,1533								861	801	3,81			
1-3		6,60	1188,0	637,0	1.191,0	554,0	2,1444													
1-4		6,60	1191,0	638,0	1.194,0	556,0	2,1421								893	795	4,445			
1-5		6,60	1153,0	638,0	1.197,0	559,0	2,0626								861		4,318			
PROMEDIO							2,1314	2,359	5,0	79,7	15,29	20,28	9,64	34,1		759	4,09575			
2-1	5,5	6,60	1202,0	657,0	1.207,0	550,0	2,1855								907	794	4,191			
2-2		6,60	1199,0	655,0	1.205,0	550,0	2,1800								903	790	4,318			
2-3		6,60	1188,0	650,0	1.192,0	542,0	2,1919								841	736	4,064			
2-4		6,60	1154,0	652,0	1.196,0	544,0	2,1213								916	788	4,191			
2-5		6,60	1197,0	651,0	1.200,0	549,0	2,1803								889	778	4,064			
PROMEDIO							2,1718	2,342	5,5	80,8	13,70	19,20	7,27	43,1		777	4,1656			
3-1	6,0	6,60	1180,0	630,0	1.183,0	553,0	2,1338								822	764	3,937			
3-2		6,60	1187,0	635,0	1.190,0	555,0	2,1387								839	805	4,064			
3-3		6,60	1191,0	636,0	1.193,0	557,0	2,1382								830	784	4,191			
3-4		6,60	1156,0	637,0	1.199,0	562,0	2,0569								813	769	4,318			
3-5		6,60	1201,0	640,0	1.204,0	564,0	2,1294								835	789	4,572			
PROMEDIO							2,1194	2,325	6,0	78,4	15,57	21,56	8,86	40,4		782	4,2164			
4-1	6,5	6,70	1177,0	633,0	1.179,0	546,0	2,1557								755	714	4,191			
4-2		6,60	1180,0	633,0	1.183,0	550,0	2,1455								775	732	4,318			
4-3		6,60	1179,0	630,0	1.181,0	551,0	2,1397								729	700	4,318			
4-4		6,50	1183,0	632,0	1.185,0	553,0	2,1392								740	688	4,191			
4-5		6,60	1185,0	635,0	1.191,0	556,0	2,1313								771	728	4,318			
PROMEDIO							2,1423	2,309	6,5	78,9	14,65	21,14	7,23	47,3		712	4,2672			
	7,0	6,60	1165,0	630,0	1.170,0	540,0	2,1574								698	660	4,318			
		6,60	1182,0	640,0	1.183,0	543,0	2,1768								720	680	4,445			
		6,60	1191,0	642,0	1.192,0	550,0	2,1655								712	683	4,318			
		6,60	1198,0	645,0	1.199,0	554,0	2,1625								765	711				
		6,70	1203,0	646,0	1.204,0	558,0	2,1559								795	751				
PROMEDIO							2,1636	2,293	6,5	79,6	13,86	20,36	5,65	53,5		697	4,360333333			

6,3	1,02		
6,4	1		
6,5	0,96	7	0,86
6,6	0,945		
6,7	0,93		
6,8	0,89		
6,9	0,875		
CARGA (LECT)	CARGA REAL	P	Q
7,5	764,53	680	150
8,45	861,37	801	150
8,76	892,97	795	175
8,45	861,37		170
		569	161,25
8,9	907,24	794	165
8,86	903,16	790	170
8,25	840,98	736	160
8,99	916,41	788	165
8,72	888,89	778	160
		777	164
8,06	821,61	764	155
8,23	838,94	805	160
8,14	829,77	784	165
7,98	813,46	769	170
8,19	834,86	789	180
		782	166
7,41	755,35	714	165
7,6	774,72	732	170
7,15	728,85	700	170
7,26	740,06	688	165
7,56	770,64	728	170
		712	168
6,85	698,27	660	170
7,06	719,67	680	175
6,98	711,52	683	170
7,5	764,53	711	
7,8	795,11	751	
		697	171,7

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

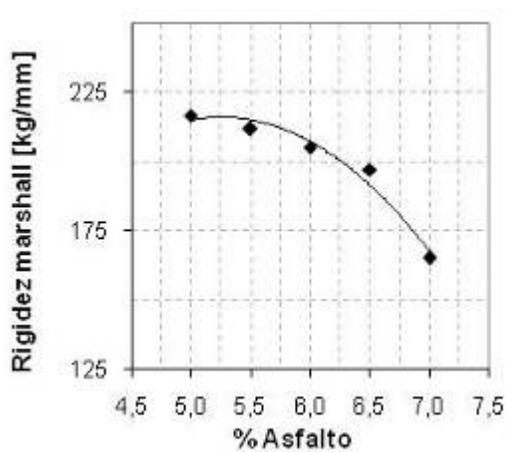
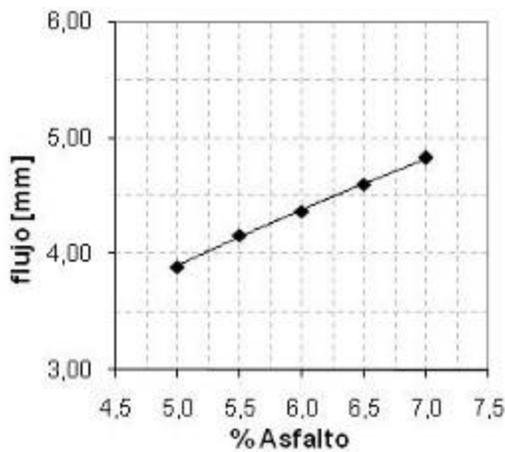
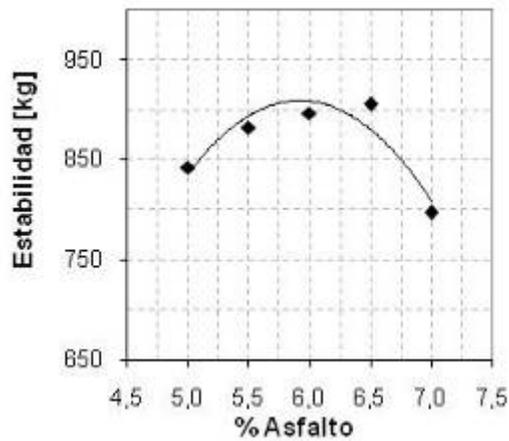
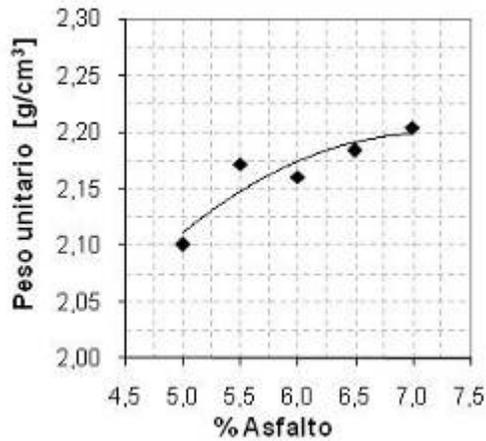
7.1 Convencional

ADITIVO 0,5		MEZCLA ASFALTICA MDC-3						
RESULTADOS LABORATORIO								
% Asfalto	P.Unitario (g/cm ³)	Estabilidad Marshall (lb)	Fluencia (0,01")	Vacios.Mezcla Total (%)	Vacios Agregados (%)	Vacios llenos de Asfalto (&)	Peso Especifico Teorico	rigidez marshall
5,0	2,07	683	4,39	12,09	22,45	29,2	2,359	155
5,5	2,19	754	4,22	6,47	18,51	45,9	2,342	179
6,0	2,22	759	4,14	4,63	17,92	56,4	2,325	183
6,5	2,25	685	3,77	2,62	17,22	71,2	2,309	182
7,0	2,22	708	3,89	3,29	18,36	66,4	2,293	182



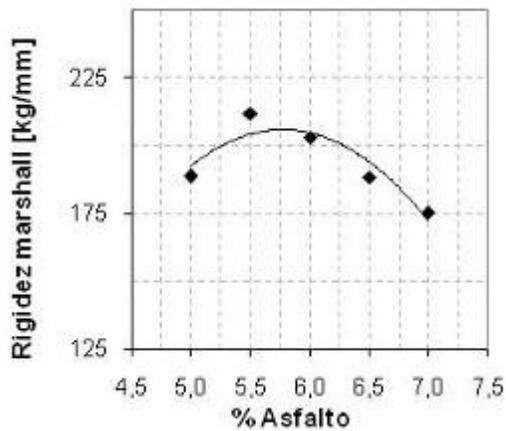
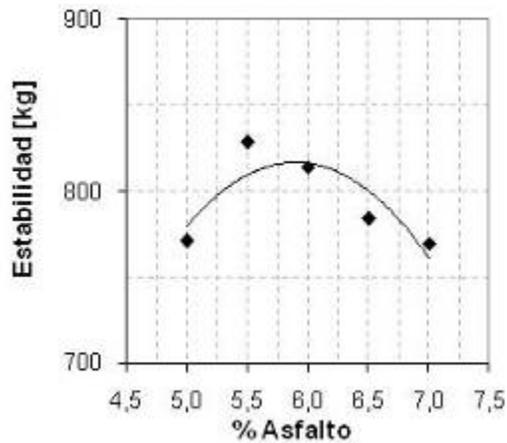
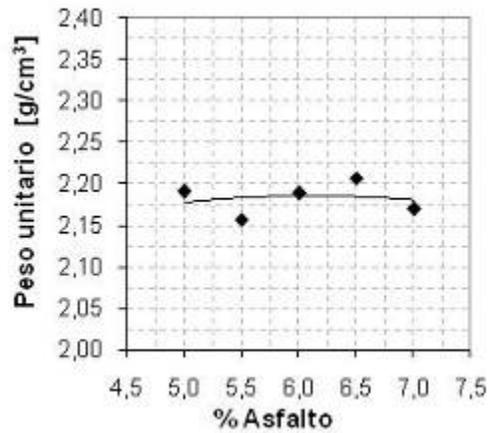
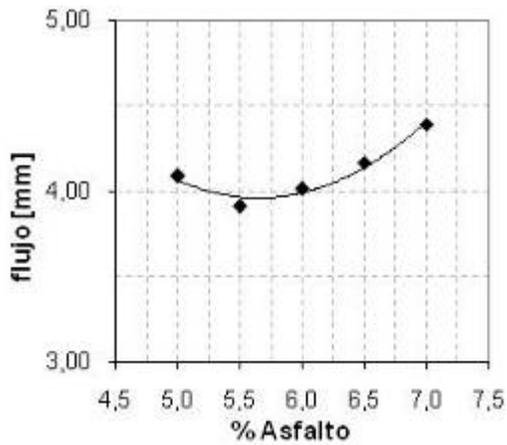
7.2 Modificado 100%

MEZCLA ASFALTICA MDC-3								
ADITIVO 0,5								
RESULTADOS LABORATORIO								
% Asfalto	P.Unitario (g/cm ³)	Estabilidad Marshall (lb)	Fluencia (0,01")	Vacios.Mezcla Total (%)	Vacios Agregados (%)	Vacios llenos de Asfalto (&)	Peso Especifico Teorico	rigidez marshall
5,0	2,10	842	3,89	10,94	21,43	31,4	2,359	217
5,5	2,17	882	4,17	7,26	19,20	43,1	2,342	212
6,0	2,16	897	4,37	7,08	20,03	45,8	2,325	205
6,5	2,18	905	4,60	5,43	19,61	54,5	2,309	197
7,0	2,20	797	4,83	3,90	18,88	62,5	2,293	165



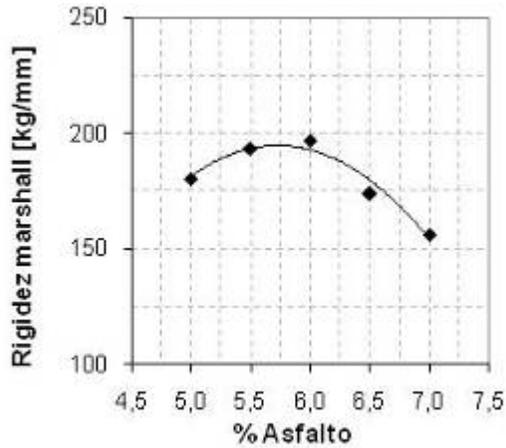
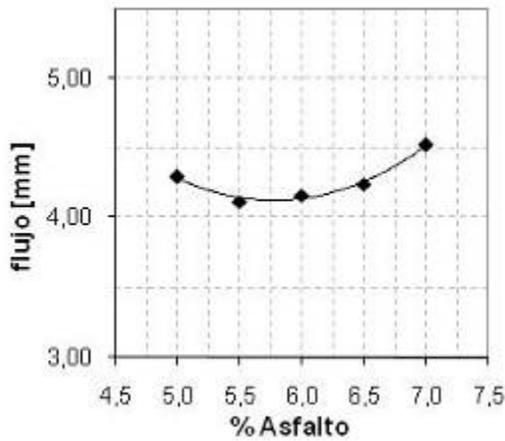
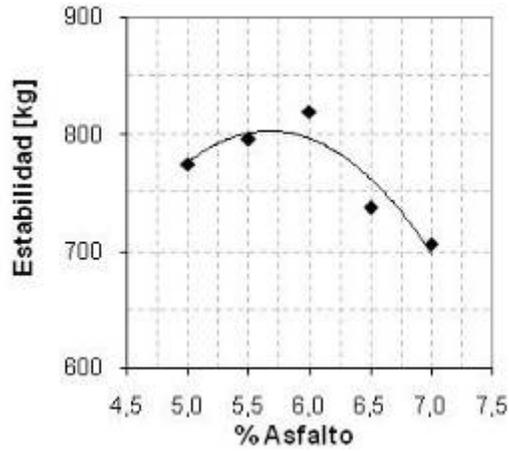
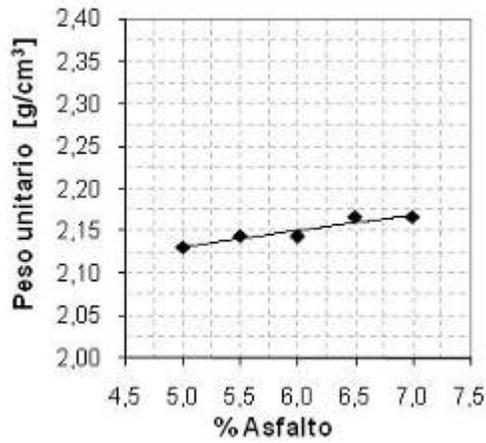
7.3 Modificado 75%

MEZCLA ASFALTICA MDC-3								
ADITIVO 0,5								
RESULTADOS LABORATORIO								
% Asfalto	P.Unitario (g/cm ³)	Estabilidad Marshall (lb)	Fluencia (0,01")	Vacios.Mezcla Total (%)	Vacios Agregados (%)	Vacios llenos de Asafalto (&)	Peso Especifico Teorico	rigidez marshall
5,0	2,19	771	4,09	7,13	18,07	41,2	2,359	189
5,5	2,16	829	3,91	7,87	19,72	41,1	2,342	212
6,0	2,19	814	4,01	5,86	18,98	50,6	2,325	203
6,5	2,21	784	4,17	4,42	18,75	59,5	2,309	188
7,0	2,17	770	4,39	5,40	20,14	54,6	2,293	175



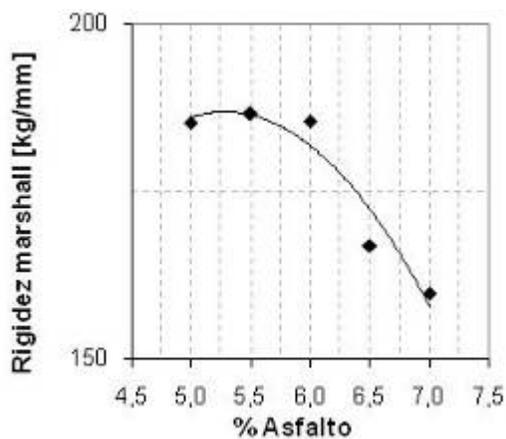
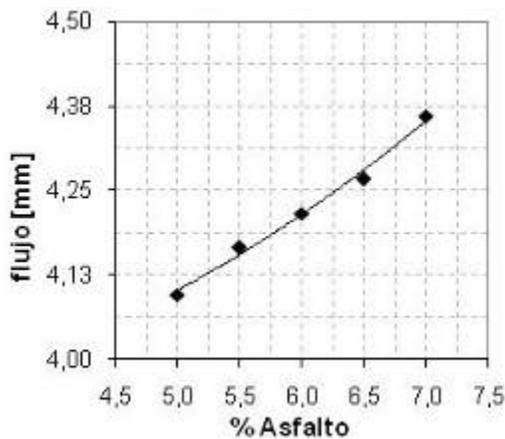
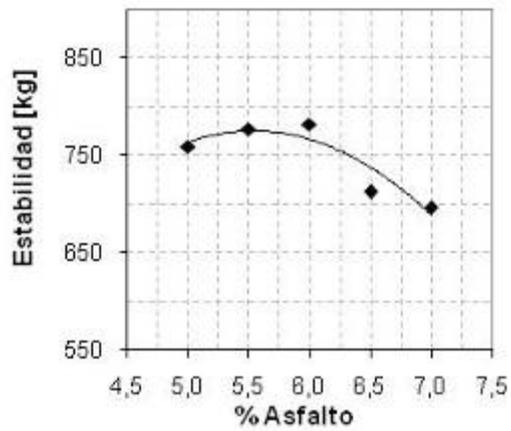
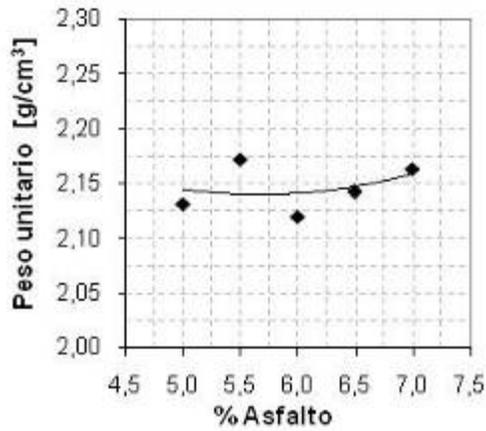
7.4 Modificado 50%

MEZCLA ASFALTICA MDC-3								
ADITIVO 0,5								
RESULTADOS LABORATORIO								
% Asfalto	P.Unitario (g/cm ³)	Estabilidad Marshall (lb)	Fluencia (0,01")	Vacios.Mezcl a Total (%)	Vacios Agregados (%)	Vacios llenos de Asafalto (&)	Peso Especifico Teorico	rigidez marshall
5,0	2,13	775	4,29	9,65	20,29	34,1	2,359	181
5,5	2,14	796	4,11	8,42	20,20	39,5	2,342	193
6,0	2,14	820	4,17	7,83	20,68	43,4	2,325	197
6,5	2,17	737	4,24	6,18	20,24	51,3	2,309	174
7,0	2,17	706	4,52	5,52	20,25	54,1	2,293	156



7.5 Modificado 25%

MEZCLA ASFALTICA MDC-3								
ADITIVO 0,5								
RESULTADOS LABORATORIO								
% Asfalto	P.Unitario (g/cm ³)	Estabilidad Marshall (lb)	Fluencia (0,01")	Vacios.Mezcla Total (%)	Vacios Agregados (%)	Vacios llenos de Asafalto (&)	Peso Especifico Teorico	rigidez marshall
5,0	2,13	759	4,10	9,64	20,28	34,1	2,359	185
5,5	2,17	777	4,17	7,27	19,20	43,1	2,342	187
6,0	2,12	782	4,22	8,86	21,56	40,4	2,325	186
6,5	2,14	712	4,27	7,23	21,14	47,3	2,309	167
7,0	2,16	697	4,36	5,65	20,36	53,5	2,293	160



Con el uso de escorias de cobre en reemplazo del filler la mayor estabilidad de la mezcla se alcanza cuando el porcentaje de asfalto está entre 5,5% y 6%. La diferencia entre el máximo valor de estabilidad y el mínimo valor es del 11%

Al aumentar el porcentaje de asfalto por encima del 6% la rigidez disminuye drásticamente. Al pasar del 6% al 7% disminuye en un 20% su rigidez.

Al incrementar el porcentaje de asfalto a la mezcla de 6% al 7% el flujo aumenta en un 4%.

Al incrementar el % de asfalto de 6 al 7 en el modificado 100% el peso unitario aumenta en un 1,14%.

Con la mezcla modificada al 100% se logra un mayor valor de estabilidad que con el modificado del 25% lográndose un incremento en su máximo valor del 14%.

Para lograr una buena mezcla MDC-3 modificado con escorias de cobre se debe aplicar un porcentaje de asfalto entre el 5,5% y 6%, logrando así una buena estabilidad, buen flujo y rigidez necesaria.

La mayor estabilidad se tiene cuando tiene 5,5% de asfalto.

Con el uso de escoria de cobre para una mezcla MDC-3 se obtiene que la mayor estabilidad con un contenido del 5,5% de asfalto.

8. BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. Manual de Diseño. Medellín: Piloto, 1991.

MONCAYO, Jesús. Manual de Pavimentos. México 1987.

RICO, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilo. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terres- tres. Volumen 2. México: Limusa, 1982.

ARENAS Lozano, Hugo León. Tecnología del Cemento Asfáltico. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 209.

PADILLA Rodríguez, Alejandro. Mezclas Asfálticas.

MINAYA González, Silene y ORDÓÑEZ Huaman, Abel. Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos Volumen I. Lima, Diciembre del 2001.

9. ANEXOS

9.1 Tablas en Excel de los cálculos de los diseños de mezcla.