



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE ARENA DE RÍO EN LA
DEFORMACIÓN PERMANENTE DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS”**

AUTOR:

LUIS ALBERTO NAVEDA HIDALGO

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

TUTOR:

ING. ROLANDO VILA ROMANÍ, PhD.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Luis Alberto Naveda Hidalgo como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

TUTOR

ING. ROLANDO VILA ROMANÍ, Ph.D.

REVISORES:

ING. GUSTAVO GARCÍA C.

LCDA. RUTH ZAMBRANO

DIRECTOR DE LA CARRERA

ING. MARIO DUEÑAS ROSSI

Guayaquil, a los 18 días del mes de Marzo del 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, LUIS ALBERTO NAVEDA HIDALGO

DECLARO QUE:

El proyecto de tesis de grado denominado “INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE ARENA DE RÍO EN LA DEFORMACIÓN PERMANENTE DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”, ha sido desarrollado con 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 autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, a los 18 días del mes de Marzo del 2014

EL AUTOR

LUIS ALBERTO NAVEDA HIDALGO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, LUIS ALBERTO NAVEDA HIDALGO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: "INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE LA ARENA DE RÍO EN LA DEFORMACIÓN PERMANENTE DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de Marzo del 2014

EL AUTOR

LUIS ALBERTO NAVEDA HIDALGO

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios por darme una segunda oportunidad de vida y por las bendiciones, fuerza, valor y perseverancia que me dio día a día para poder terminar mi carrera.

Al campamento del Km.26 de la constructora Hidalgo e Hidalgo S.A. por haberme dado las facilidades del caso para poder elaborar muestras y ensayos para el desarrollo de mi tesis, especialmente al Ing. Jorge Mora, al Sr. Napoleón Auslestia y al Sr. Julio Lavanda.

Al Dr. Rolando Vila, por su apoyo incondicional y su excelente guía en el desarrollo de este trabajo.

A la constructora Hidalgo e Hidalgo S.A., por brindarme las facilidades de poder trabajar, ser parte de ellos y de poder terminar mis estudios, en especial al Ing. Alberto Hidalgo Zavala y al Ing. Xavier Coello V., quienes me abrieron las puertas de esta compañía y me han sabido apoyar, guiar y asesorar durante todo el tiempo que llevé a cabo mis estudios.

A mis compañeros de trabajo, los Ingenieros Vicente Vareles Acosta, Carlos Benítez Calderón y Artemires Vera, por apoyarme, aconsejarme y darme la mano cada que se los solicité para poder llevar a cabo este trabajo.

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a mis padres, Zoila y Leonardo; a mis hermanas, María Fernanda y Valeria, pilares importantes en mi vida, inspiración, amor y quienes me enseñaron muchos valores y preceptos para ser siempre un buen hijo, hermano, esposo y papá.

A mi bella compañera y esposa Estefany y a mis cachorros Manolito y Estefanito, mis amores, quienes son la razón de mi existir y el motivo por los que lucho día a día y quienes confiaron en mí siempre y quienes me llenan de amor, paz y felicidad.

A mi Abuelo Alberto y a mi Tía Mariana quienes siempre me inculcaron la grandeza del trabajo y la importancia del estudio.

Finalmente, dedico este triunfo también a tres personas a quienes amé, admiré y de quienes aprendí millón y que desgraciadamente ya no están entre nosotros: Mi Tío Juan Carlos, mi Abuelo Lucho y mi Tío Lenin, quienes desde el cielo me siguen protegiendo y bendiciendo.

INDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Razones que motivaron el estudio.....	1
1.2 Justificación del tema.....	1
1.3 Descripción del problema de investigación.....	2
1.4 Objeto de estudio.....	2
1.5 Antecedentes.....	3
1.6 Contextualización en tiempo y espacio.....	3
1.7 Objetivo.....	4
1.8 Hipótesis o premisas.....	4
1.9 Metodología.....	4
2. Mezclas asfálticas para carreteras.....	6
2.1 Generalidades.....	6
2.2 Cemento asfáltico.....	6
2.3 Agregados minerales.....	8
2.4 Mezcla asfáltica en caliente.....	10
2.4.1 Generalidades.....	10
2.4.2 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente.....	11

2.4.3	Propiedades de las mezclas asfálticas.....	14
2.4.3.1	Estabilidad.....	14
2.4.3.2	Resistencia a deformaciones plásticas.....	14
2.4.3.3	Resistencia al deslizamiento.....	15
2.4.3.4	Durabilidad.....	15
2.4.4	Preparación de muestras para efectuar los ensayos.....	16
2.4.4.1	Preparación del asfalto.....	16
2.4.4.2	Preparación del agregado.....	16
2.4.4.3	Preparación de las probetas de ensayo.....	17
2.4.4.4	Determinación de la gravedad específica total.....	18
2.4.4.5	Ensayos de estabilidad y fluencia.....	18
2.4.5	Procedimiento de cálculo para el diseño.....	19
2.4.5.1	Gravedad específica neta del agregado.....	19
2.4.5.2	Gravedad específica efectiva del agregado.....	19
2.4.5.3	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.....	20
2.4.5.4	Absorción del asfalto.....	20
2.4.5.5	Contenido de asfalto efectivo.....	21
2.4.5.6	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.....	21
2.4.5.7	Porcentaje de vacíos de aire.....	22
2.4.5.8	Vacíos rellenos de asfalto.....	22
2.4.6	Análisis de resultados.....	23

3. Deformaciones permanentes en las mezclas asfálticas.....	27
3.1 Generalidades.....	27
3.2 Incidencia de las características de las mezclas.....	28
3.2.1 Granulometría de los agregados.....	29
3.2.2 Forma, tamaño y textura de los agregados.....	29
3.2.3 Contenido de filler.....	30
3.2.4 Tipo de ligante.....	30
3.2.5 Contenido de ligante.....	31
3.2.6 Contenido de vacíos de la mezcla.....	31
3.3 Pruebas de laboratorio.....	32
3.3.1 Pruebas empíricas.....	32
3.3.2 Pruebas de simulación.....	32
3.3.3 Pruebas fundamentales.....	34
4. Diseños de mezclas asfálticas con diferentes contenidos de arenas de río.....	35
4.1 Generalidades.....	35
4.2 Agregados minerales.....	36
4.2.1 Dosificaciones de las tres mezclas con sus respectivos gráficos de la granulometría combinadas para cada mezcla.....	39
4.2.2 Estudio de otras propiedades importantes de los agregados a utilizar.....	41

4.3	Cemento asfáltico.....	43
4.4	Diseños de las mezclas.....	44
4.4.1	Diseño 30/70.....	44
4.4.2	Diseño 30/60/10.....	49
4.4.3	Diseño 30/50/20.....	54
5.	Evaluación de la resistencia a las deformaciones plásticas.....	59
5.1	Generalidades.....	59
5.2	Módulo de rigidez. Resultados.....	59
5.3	Prueba de compresión cíclica uniaxial (creep dinámico). Resultados.....	63
5.4	Prueba de resistencia a compresión triaxial. Resultados.....	67
5.5	Estabilidad Marshall. Resultados.....	71
6.	Análisis de resultados.....	75
6.1	Módulo de rigidez.....	75
6.2	Deformación bajo compresión cíclica uniaxial.....	75
6.3	Resistencia a la compresión triaxial.....	76
6.4	Estabilidad Marshall.....	76

Conclusiones.....77

Recomendaciones.....78

1. INTRODUCCIÓN

1.1 RAZONES QUE MOTIVARON EL ESTUDIO

La necesidad de conocer la influencia del contenido de arena de río en las deformaciones permanentes o plásticas de una mezcla asfáltica densa representativa para capa de rodadura en el Ecuador y recomendar valores máximos permisibles para su empleo.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

En general, durante años se empleó en el Ecuador un asfalto con problemas de endurecimiento prematuro, detectados por valores de ductilidad inferiores a 50 cm en el residuo de la prueba de película delgada. Este endurecimiento causaba una alta rigidez en el asfalto y por ende en las mezclas producidas, en las cuales era frecuente medir módulos de rigidez del orden de 5.000 MPa, que es un valor exagerado que implica problemas de fisuración en las carpetas, problema bastante generalizado en esa época en todo el país.

Hace aproximadamente dos años en el país comenzó un proceso para mejorar la calidad del cemento asfáltico producido en la Refinería de Esmeraldas. En la actualidad, son frecuentes los módulos entre 2.500 y 3.000 MPa en mezclas recién fabricadas con los mismos diseños de mezclas (o muy similares) a los de hace dos años. Ahora bien, el empleo de mezclas menos rígidas si bien disminuye el riesgo de las fisuras puede generar problemas de deformaciones plásticas o permanentes en la capa asfáltica.

Un detalle fundamental en esta situación es que en el país es usual emplear altos porcentajes de arena de río como parte de la combinación de agregados en las mezclas asfálticas, entre 20 y 25%. Como se conoce,

estos agregados de forma redondeada y granulometría uniforme disminuyen la fricción interna de la mezcla, haciéndola más laborable pero más deformable. Si bien hasta hace unos años la calidad del asfalto compensaba esta situación, en el presente la generación de deformaciones plásticas, ya sea por ahuellamiento u ondulaciones, empieza a verse en algunas carreteras del país, teniendo sin dudas el contenido de arena incidencia en dicho comportamiento.

Desde el punto de vista CIENTÍFICO es muy importante porque una vez obtenido resultados de este trabajo se podrán generar recomendaciones sobre los valores máximos permitidos en el contenido o porcentaje de arena para las dosificaciones de mezclas asfálticas.

Desde el punto de vista SOCIAL el trabajo es importante para mejorar la durabilidad y buen funcionamiento de la infraestructura vial del país.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema de investigación es la influencia del contenido de arena de río en la calidad de las mezclas asfálticas, especialmente en su resistencia a las deformaciones permanentes, evaluadas a través de la prueba Marshall, módulo de rigidez, prueba de compresión cíclica sin confinamiento (creep dinámico) y pruebas triaxiales.

1.4 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación son las mezclas asfálticas, y como se observa del problema de investigación, este objeto será estudiado a partir del efecto de la variación del contenido de arena de río en la resistencia a las deformaciones permanentes, evaluadas a partir de pruebas Marshall, creep dinámico y triaxiales.

1.5 ANTECEDENTES

Debido al comportamiento visco-elasto-plástico de las mezclas bituminosas, el paso de las cargas, especialmente en condiciones de altas temperaturas o bajas velocidades, va produciendo una acumulación de deformaciones de tipo plástico o permanente. Si la mezcla no tiene unas características reológicas adecuadas, puede producirse una fluencia del material. Este fenómeno tiene su manifestación más conocida en las denominadas roderas o ahuellamientos según Rondón (2012).

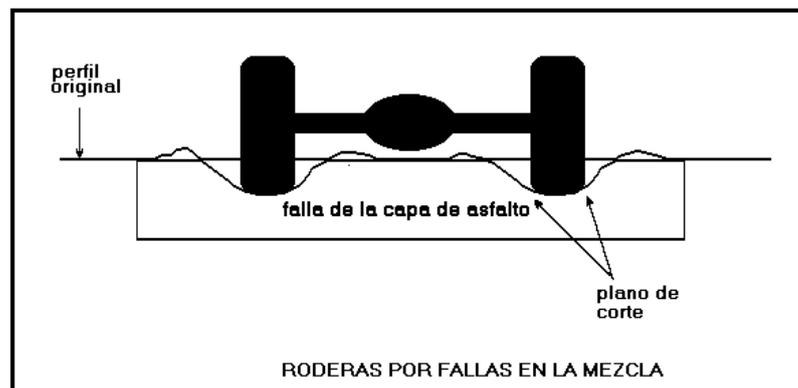


Figura 1. Roderas por fallas en la mezcla

Las deformaciones plásticas o permanentes son canales que se forman a lo largo de la trayectoria longitudinal de circulación de vehículos, exactamente en las huellas por donde ruedan los neumáticos sobre el pavimento. Es uno de los tipos de deterioros que más preocupa dentro del estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas.

1.6 CONTEXTUALIZACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO

Este estudio considerará tres mezclas asfálticas de tamaño máximo nominal $\frac{1}{2}$ " con agregados minerales conformados por cantos rodados triturados y

arena de río en porcentajes variables (0, 10 y 20%) más asfalto AC-20 procedente de la Refinería de Esmeraldas. Las mezclas serán diseñadas en el Laboratorio de Materiales de la Planta de Asfaltos de H e H en el Km 26., donde se fabricarán las briquetas necesarias. Las pruebas se realizarán en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG.

1.7 OBJETIVO

Determinar la incidencia de la variación del contenido de arena de río en la calidad de las mezclas asfálticas, especialmente en su resistencia a las deformaciones plásticas, evaluadas a través de la prueba Marshall, módulo de rigidez, prueba de compresión cíclica sin confinamiento (creep dinámico) y pruebas triaxiales.

1.8 HIPÓTESIS O PREMISAS

Existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de arena natural en una mezcla asfáltica y su resistencia a las deformaciones permanentes. Deberá ocurrir que a mayor contenido de arena es menor la resistencia a las deformaciones.

1.9 METODOLOGÍA

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, y pertenece al tipo correlacional, ya que se busca relacionar el contenido de arena de río con la resistencia a las deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas.

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
- Descripción de cada prueba procedimiento de trabajo, parámetros involucrados y fórmulas de cálculo.

2) Desarrollo experimental

- Diseño de tres mezclas asfálticas con granulometrías combinadas lo más centradas posibles en el huso de $\frac{1}{2}$ " variando el porcentaje de arenas entre 0, 10 y 20%. Emplear asfalto nacional AC-20.
- Confeción de 6 briquetas Marshall y 3 cilindros de diámetro 7,5 cm y altura 15 cm para cada tipo de mezcla con el óptimo de asfalto correspondiente.
- Realización de ensayos de módulo de rigidez y Marshall (3 briquetas), compresión cíclica uniaxial sin confinamiento (3 briquetas) y triaxiales (3 cilindros) a cada mezcla.

3) Análisis de resultados

- Correlaciones entre los resultados obtenidos.
- Conclusiones
- Recomendaciones

2. MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS

2.1 GENERALIDADES

Las mezclas asfálticas en caliente se componen principalmente de materiales pétreos y ligante asfáltico en proporciones tales que permitan configurar una estructura de pavimento resistente, utilizable en calles y pasajes urbanos, carreteras y autopistas interurbanas, estacionamientos, aeropuertos, patios de carga, ciclovías, etc.

Además estos materiales tienen calidades especiales, cuyas cantidades en la mezcla más la efectividad del proceso de compactación determinarán propiedades que pudiesen ser muy variables, y de las que se puede destacar la resistencia a las deformaciones plásticas (ahuellamiento), la resistencia al fisuramiento (fatiga) y el daño ante el agua.

2.2 CEMENTO ASFÁLTICO

Es una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad. Se utiliza para revestir carreteras, impermeabilizar estructuras, como depósitos, techos o tejados, y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas. No se debe confundir con el alquitrán, que es también una sustancia negra, pero derivada del carbón, la madera y otras sustancias. El asfalto se encuentra en depósitos naturales, pero casi todo el que se utiliza hoy es artificial, derivado del petróleo.

Para pavimentar se emplean asfaltos de destilación, hechos con los hidrocarburos no volátiles que permanecen después de refinar el petróleo para obtener gasolina y otros productos. Los asfaltos son materiales

aglomerantes de color oscuro, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular.

El cemento asfáltico ha sido utilizado con éxito en la pavimentación de vías debido principalmente a que es un material altamente cementante, termoplástico, repelente del agua y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales, que posee alta elasticidad a altas temperaturas, suficiente ductilidad a bajas temperaturas, baja susceptibilidad al cambio de temperatura, buena adhesión y cohesión y bajo contenido de parafina (alta resistencia al envejecimiento), por lo que:

- Proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños.
- Resiste la acción mecánica de disgregación producida por las cargas aplicadas, gracias a la flexibilidad dada a la estructura.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra penetración del agua proveniente de las precipitaciones.

El cemento asfáltico a emplearse en todo el Ecuador, según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), es el AC-20 (ASTM D-3381, Tabla 1).

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

Tabla 1. ASTM D-3381

2.3 AGREGADOS MINERALES

De acuerdo a las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (MTO, 2002), en su Capítulo 800, los agregados minerales para utilizar en la fabricación de mezclas asfálticas deben cumplir los siguientes criterios:

Los agregados estarán compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, etc., y se clasifican en “A”, “B” y “C”, de acuerdo a lo establecido a continuación:

- a) Agregados tipo A: Son aquellos en los cuales todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado y, de requerirse, se

puede añadir relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación antes mencionadas. Este relleno mineral puede ser inclusive cemento Portland, si así se establece para la obra.

- b) Agregados tipo B: Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en zona del proyecto.

- c) Agregados tipo C: Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región.

Los agregados serán fragmentos limpios, resistentes y duros, libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, así como de material mineral cubierto de arcilla u otro material inconveniente. Se utilizarán agregados completamente secos y de no poder cumplirse esto, se instalarán dos secadores en serie, de tal forma que cuando se termine la operación de mezclado, la humedad de los agregados no exceda el 1%.

Además de los requisitos granulométricos y los referentes a su producción, los agregados deben cumplir con las siguientes exigencias:

Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles, cuando sean ensayados a la abrasión, según norma INEN 860. La porción de los agregados que

pasa por el tamiz INEN 0.425mm. (N°40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4, según lo establecido en las Normas INEN 691 y 692.

El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio, en la prueba de durabilidad, como lo dispone la Norma INEN 863, salvo que las especificaciones especiales indiquen otra cosa.

Los agregados serán de características tales que, al ser impregnados con material bituminoso, más de un 95% de este material bituminoso permanezca impregnando las partículas, después de realizado el ensayo de resistencia a la peladura, según la Norma AASHTO T 182. El relleno mineral deberá cumplir con los requisitos especificados en la Norma AASHTO M 17.

2.4 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

2.4.1 GENERALIDADES

La mezcla asfáltica en caliente es 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.

2.4.2 EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

A continuación se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

1. The Hubbard-Field (1920). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación.

Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.



Figura 2. Hubbard-Field (1920).

2. Método Hveem (1930). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudotriaxial.

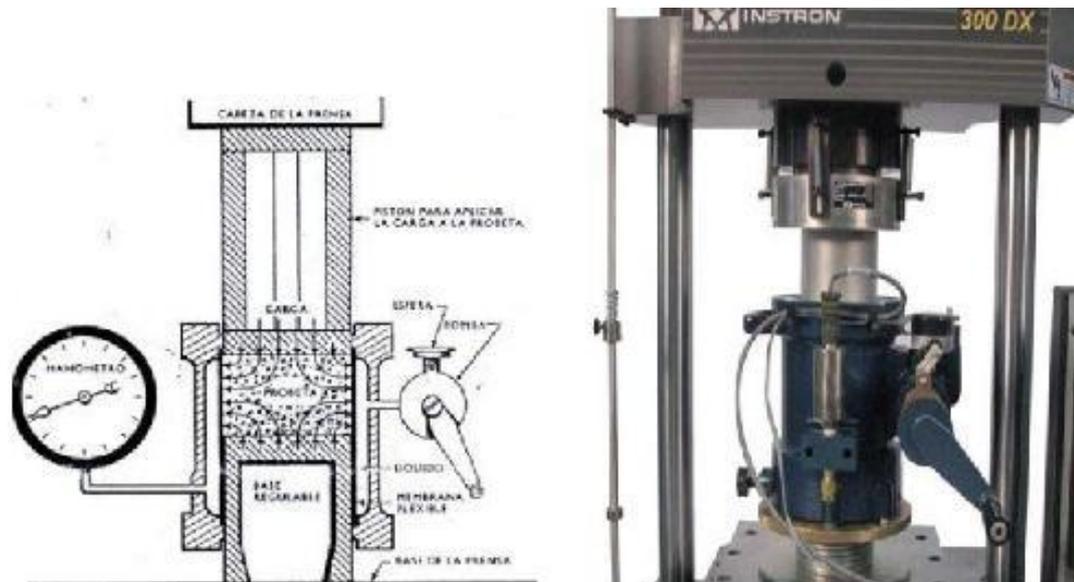


Figura 3. Hveem (1930)

3. Método Marshall (1940). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40.

4. Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials, WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia a las roderas.

5. Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System, AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia a las grietas a baja temperatura.

6. Método SUPERPAVE (1993) El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Tiene su resultado, ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas.

2.4.3 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

En general, estas pueden resumirse de la siguiente forma (Andaluz, 2013):

2.4.3.1 ESTABILIDAD

Es la capacidad de poder soportar el paso de las cargas y de resistir tensiones, las cuales se producen por deformaciones tolerables. Se suelen comprobar esta propiedad mediante ensayos empíricos, entre los principales se encuentran: Marshall, Hveem y Hubbard-Field. La estabilidad Marshall y el valor del flujo asociado a esta (ASTM D 1559) son los más empleados a nivel internacional.

El contenido del cemento asfáltico es uno de los factores que influyen en la estabilidad de la mezcla asfáltica, aunque hay otros factores que influyen como la angularidad y caras fracturadas del árido, tamaño, etc.

2.4.3.2 RESISTENCIA A DEFORMACIONES PLÁSTICAS

Esta propiedad es importante considerarla ya que debido al comportamiento visco-elástico del material asfáltico, el paso de las cargas vehiculares en condiciones de elevadas temperaturas o de menores velocidades puede producirse deformaciones en la mezcla.

Este fenómeno, tiende a manifestarse de forma típica en las llamadas “roderas”, que son deformaciones en el sentido longitudinal que pueden llegar a formarse en las zonas de rodada de los transportes pesados (Kraemer et al, 1993). (Figura 4).

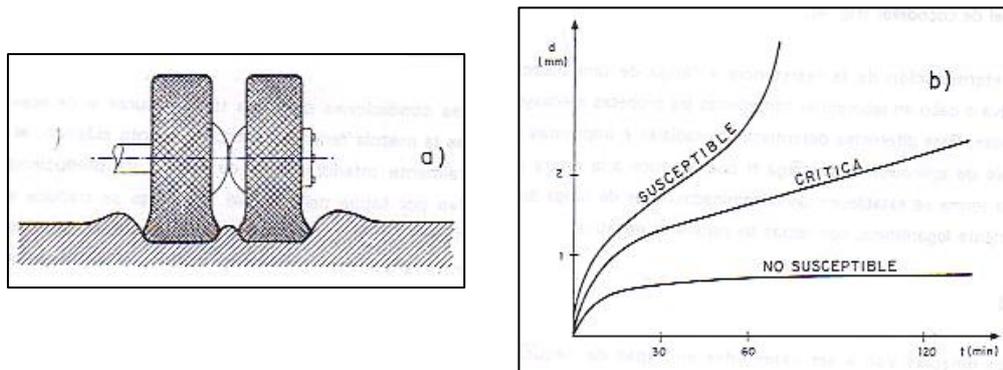


Figura 4: Resistencia a las deformaciones plásticas: a) Roderas
b) Curvas de evaluación.

Fuente: Kraemer, C.; Del Val, M. A. Firmes y Pavimentos. Madrid, 1993.

2.4.3.3 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Las mezclas que se emplean en capas de rodadura deben de aportar una resistencia ante el deslizamiento, y que puedan mantenerse por mucho tiempo. Si se trata de carreteras con un mucha influencia de tráfico, los áridos que se van a emplear adquieren un alto coeficiente de pulido y que la macrotextura de la mezcla en obras sea áspera, pero no demasiado ruidosa.

2.4.3.4 DURABILIDAD

Existen factores que pueden afectar la durabilidad de la mezcla asfáltica, como son:

- Radiación solar.
- Oxidación del cemento asfáltico por efecto del aire y el agua.
- Derrame de aceites y combustibles.

El fenómeno llamado “envejecimiento” de las mezclas asfálticas puede llegar a ser muy complejo, ya que sus causas son varias, y las cuales pueden ser irreversibles.

La durabilidad se pone de manifiesto debido a sus microfisuras, migración del cemento, etc. De esta forma pueden producir baches, peladuras, calles averrugadas, etc.

2.4.4 PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA EFECTUAR LOS ENSAYOS

Utilizando el método Marshall (Asphalt Institute, 2002) que es el empleado en nuestro país y luego de ajustar una dosificación de los diferentes agregados que permitan cumplir con la granulometría adecuada, se puede determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla. Para ello se deben realizar los siguientes procedimientos:

2.4.4.1 PREPARACIÓN DEL ASFALTO, las muestras del asfalto deberán tener características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final, y deberán cumplir con los requisitos de calidad ya mencionados.

2.4.4.2 PREPARACIÓN DEL AGREGADO, la preparación del agregado consiste en separar los agregados, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico por vía húmeda, (AASHTO T 27). Para ello, se deberán emplear una de las granulometrías indicadas en la siguiente tabla 2.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
3/4" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
1/2" (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

Tabla 2. Granulometría AASHTO T 27

2.4.4.3 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO, las probetas de ensayo son mezcladas y compactadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, usualmente se varía el mismo en intervalos de 0,5% en peso (ASTM D 1559).



Figura 5. Briquetas listas

2.4.4.4 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA TOTAL, la prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como la probeta se haya enfriado a la temperatura ambiente. Para determinar que norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la Norma ASTM D1188, en caso contrario, se recurre a la Norma ASTM D2726.

2.4.4.5 ENSAYOS DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA, después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo. En el ensayo de estabilidad se mide la resistencia a la deformación de la mezcla a 60°C, mientras que la fluencia medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta, (ASTM D 1559).



Figura 6. Prueba de estabilidad y flujo

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica (ASTM D 2041), se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de

vacíos (Va); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

2.4.5 PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO

2.4.5.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA NETA DEL AGREGADO

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}}$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

P_1, P_N = Porcentajes individuales por masa de agregado.

G_1, G_N = Gravedad específica neta individual del agregado.

2.4.5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DEL AGREGADO

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = Gravedad específica máxima del ensayo RICE (ASTM D 2041).

P_{mm} = Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100%.

P_b = Contenido de asfalto con el cual desarrolló el ensayo RICE.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

2.4.5.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

$$G_{sm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{sm} = Gravedad específica máxima de la mezcla del pavimento (sin vacíos de aire).

$$P_s = P_{mm} - P_b$$

P_b = Contenido de asfalto con el cual desarrolló el ensayo RICE.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

2.4.5.4 ABSORCIÓN DEL ASFALTO

$$P_{ba} = 100x \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} x G_b$$

Donde:

P_{ba} = asfalto absorbido.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

2.4.5.5 CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} x P_s$$

Donde:

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

P_{ba} = asfalto absorbido.

$P_s = P_{mm} - P_b$

P_b = Contenido de asfalto con el cual desarrolló el ensayo RICE.

2.4.5.6 PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} x P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

VMA = Vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto).

G_{mb} = Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada, (ASTM D 1888).

$P_s = P_{mm} - P_b$

P_b = Contenido de asfalto con el cual desarrolló el ensayo RICE.

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

2.4.5.7 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE

$$V_a = 100x \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

V_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada en porcentaje del volumen total.

G_{mm} = Gravedad específica máxima (Ensayo RICE).

G_{mb} = Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada, (ASTM D 1888).

2.4.5.8 VACÍOS RELLENOS DE ASFALTO

El VFA se refiere al porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (análisis VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El análisis VFA se la calcula al restar los vacíos de aire por el VMA, y luego dividiendo por el VMA, de esa manera su valor final será expresado como porcentaje, como se indica en la ecuación:

$$VFA = \frac{VMA - \%vacíos}{VMA}$$

Donde:

VFA: Vacíos rellenos de asfalto, en %.

%vacíos: Porcentaje de vacíos

VMA: Vacíos en el agregado mineral

2.4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el laboratorio se trazan los resultados del ensayo Marshall en gráficas, para poder entender las características particulares de cada probeta usada en la serie y determinar cuál de ellas cumple mejor con los criterios establecidos para el pavimento terminado.

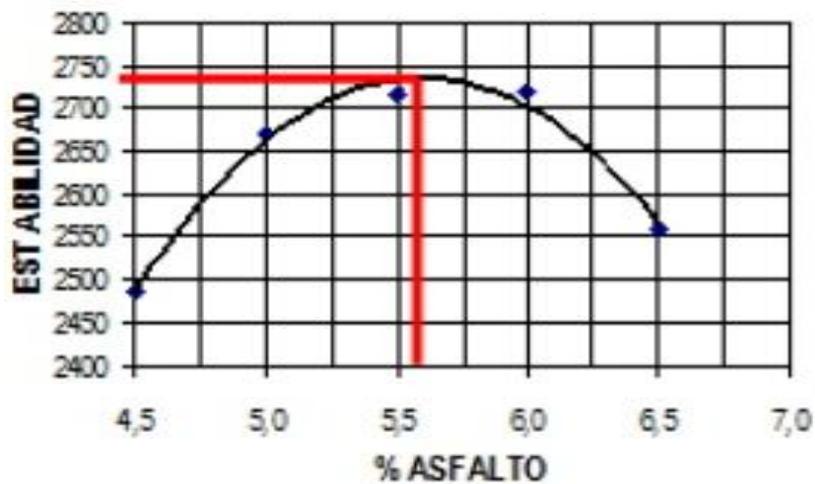


Figura 7. Gráfico de Estabilidad vs % de asfalto

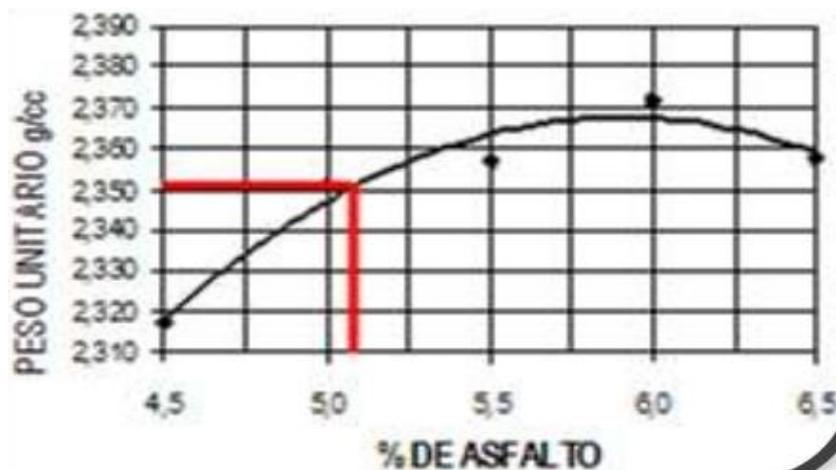


Figura 8. Gráfico de Peso Unitario vs % de asfalto

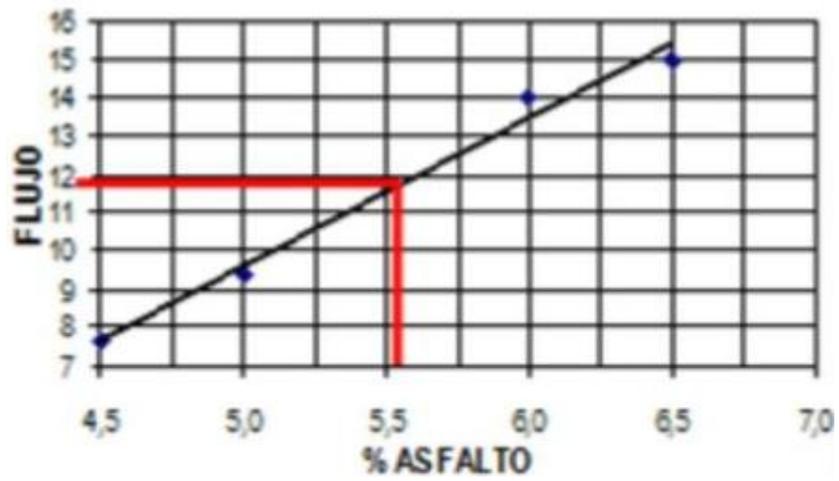


Figura 9. Gráfico de Flujo vs % de Asfalto

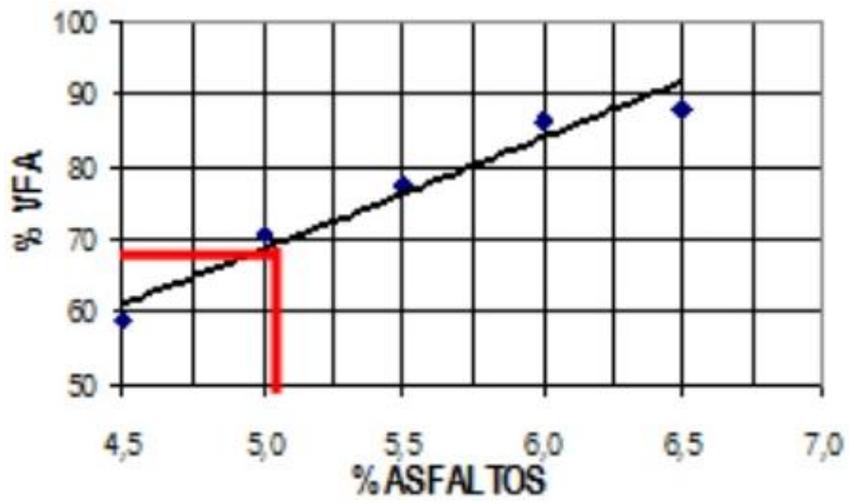


Figura 10. Gráfico VFA vs % de Asfalto

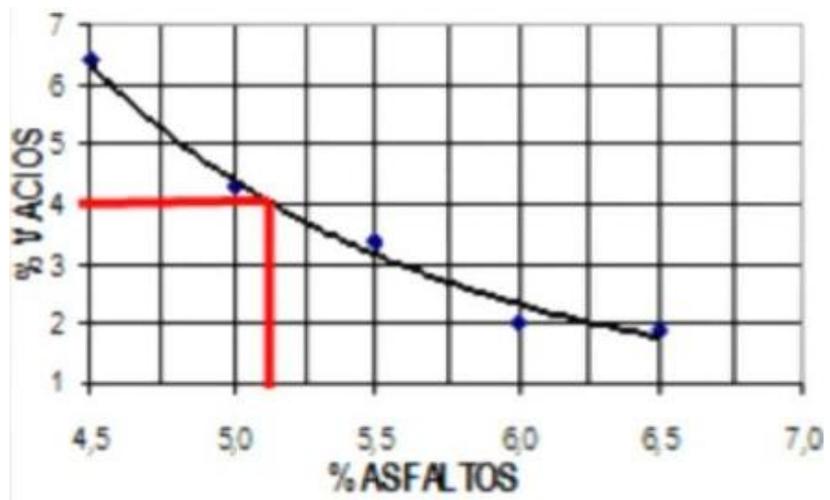


Figura 11. Gráfico % de vacíos vs % de Asfalto

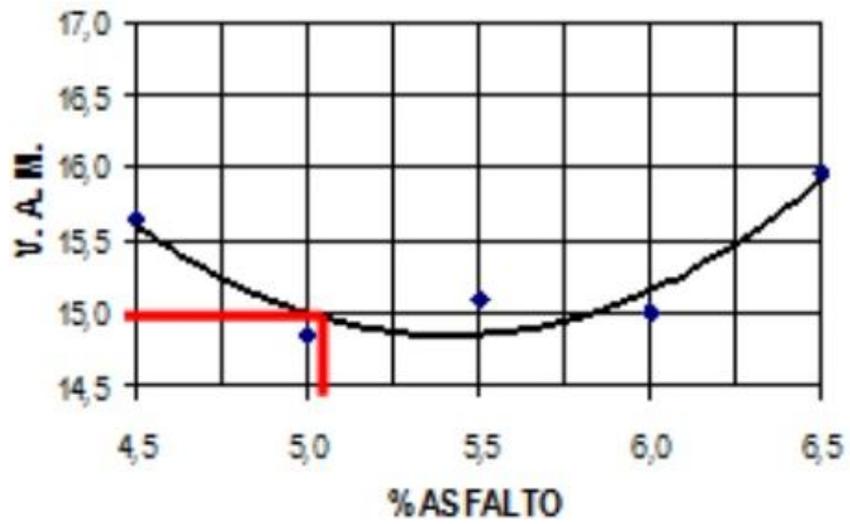


Figura 12. Gráfico VMA vs % de Asfalto

A partir de estas gráficas se determina el contenido óptimo de asfalto para la producción de la mezcla en planta. Para ello se deberá considerar:

- La determinación del contenido de asfalto correspondiente al porcentaje de vacíos de 4%
- Chequear las magnitudes de las restantes propiedades para dicho contenido de asfalto y compararlas con los criterios de diseño. Si llegan a cumplirse este será el contenido de asfalto de diseño, caso contrario será necesario reajustar o volver a diseñar la mezcla.

3. DEFORMACIONES PERMANENTES EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 GENERALIDADES

La deformación permanente en los materiales de los pavimento, se desarrolla gradualmente con el incremento del número de aplicaciones de carga, usualmente aparecen como depresiones longitudinales en la trayectoria de la rueda, acompañados por una pequeña elevación a los lados de la huella. Esto es causado por una combinación de la densificación (disminución en el volumen y por consiguiente un incremento en la densidad) y deformación cortante, y puede ocurrir en una o más capas del pavimento así como también en la subrasante, aunque nuestro trabajo estará dirigido a la capa asfáltica.



Figura 13. Inspección de cuánto se ha deformado la carpeta asfáltica

Eisenmann y Hilmer (1987), muestran el efecto en el perfil de la superficie del pavimento para un número de pasadas de la rueda en un ensayo de pista. Estos datos permiten la medición del promedio de profundidad de rodera como también el cálculo de los volúmenes de material desplazado bajo la llanta y en las zonas de elevación adyacentes. El estudio establece una fase inicial de la deformación generada por la compactación del tráfico y luego otra dada por un decremento del volumen bajo las llantas aproximadamente igual al incremento en las zonas laterales, generadas por los cortantes.

El promedio de vida de los pavimentos asfálticos ante las deformaciones plásticas, que se ha obtenido a través de la experiencia en agencias de investigación de carreteras de los EE.UU. es de 11 años, donde se reporta que menos del 1% de los pavimentos fallan durante el primer año de servicio, el 14% de los pavimentos fallan antes de los 5 años y el 42% de los pavimentos fallan entre los 6 y 10 años.

3.2 INCIDENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS

Las características que más influyen en las deformaciones permanentes son:

- Granulometría de los agregados
- Forma, tamaño y textura de los agregados
- Contenido de filler
- Tipo de ligante
- Contenido de ligante
- Contenido de vacíos en la mezcla

3.2.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Según cierta experiencia existente, se indica que las granulometrías densas son las que más se utilizan ya que disminuyen un poco los ahuellamientos y, cuando se compactan propiamente se logran mezclas con menor porcentaje de vacíos y con mayores puntos de contacto entre las partículas que las mezclas de granulometría abierta.

Brown y Pell (1974) concluyeron que las mezclas abiertas o de granulometría discontinua exhiben una mayor susceptibilidad a las deformaciones plásticas y son aún más vulnerables a las roderas a temperaturas altas, que las mezclas densas o elaboradas con granulometrías continuas.

3.2.2 FORMA, TAMAÑO Y TEXTURA DE LOS AGREGADOS

Uge y Van de Loo (1974) concluyeron que las mezclas asfálticas elaboradas con agregados angulares son menos susceptibles a las deformaciones plásticas que las mezclas asfálticas elaboradas con materiales con caras lisas o de canto rodado procedentes de río, sin triturar.

Un cambio en la forma, tamaño y textura superficial de los agregados, genera a su vez una variación en la resistencia a las roderas. Así pues, el cambio de una forma redondeada a una angular, incrementa la resistencia de los pavimentos a la generación de roderas. Lo mismo sucede cuando se presenta un cambio de una textura suave a una rugosa, y cuando se incrementa el tamaño máximo de los agregados.

3.2.3 CONTENIDO DE FILLER

El filler, es la fracción mineral pasante del tamiz No. 200 que, junto con el ligante o betún, forman una masa asfáltica cuya calidad es de gran importancia para su comportamiento reológico, impermeabilidad, y durabilidad de la mezcla asfáltica. Los factores que intervienen para conseguir un buen mastico son diversos:

a) El filler y el ligante están relacionados entre sí, de manera que si más elevada es la relación filler y ligante mayor será la viscosidad de más y la mezcla será más rígida.

b) La finura del filler y su afinidad por el agua. Estos dos factores están relacionados en muchos casos, pero también pueden ser bastante independientes.

3.2.4 TIPO DE LIGANTE

Cuando los ligantes asfálticos son poco viscosos, provocan que las mezclas asfálticas sean muy susceptibles a las deformaciones plásticas o a la formación de roderas, por eso se recomienda utilizar cementos asfálticos más duros (mayor viscosidad) en los climas cálidos para la construcción de pavimentos. (Monismith et al., 1985).

El empleo de asfaltos de baja penetración y asfaltos modificados disminuyen el riesgo de las deformaciones plásticas.

3.2.5 CONTENIDO DE LIGANTE

El contenido de ligante asfáltico o cemento asfáltico afecta la capacidad de la mezcla asfáltica de resistir las deformaciones plásticas. El Método Marshall, generalmente utilizado para seleccionar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es un ejemplo de esto.

Mahboub y Little (1988) indicaron que grandes contenidos de asfalto producen bajos contenidos de vacíos en las mezclas y como consecuencia un incremento potencial en la susceptibilidad a la deformación plástica de la mezcla.

3.2.6 CONTENIDO DE VACÍOS EN LA MEZCLA

Monismith et al. (1994) observaron que un incremento en el contenido de vacíos en la mezcla, provoca un decremento en la resistencia de la mezcla a la deformación plástica.

Linden y Van Der Heide (1987), enfatizaron la importancia de la compactación y concluyeron que el grado de compactación es uno de los principales parámetros de calidad de las mezclas en el sitio. A esa misma conclusión llegaron los investigadores Sivapatham y Beckedahl (2006), los cuales reportan que un incremento en la densidad genera disminución en el fenómeno de ahuellamiento o desplazamiento (Ver figura 14).

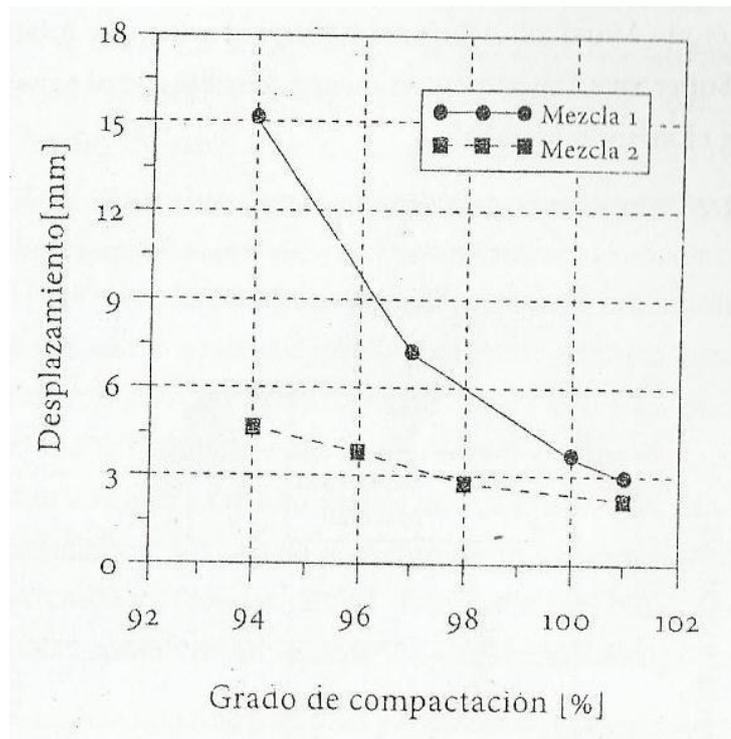


Figura 14. Gráfico de Densidad vs ahuellamiento o desplazamiento

3.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio para evaluar las deformaciones permanentes pueden categorizarse como:

3.3.1 PRUEBAS EMPÍRICAS, prueba Marshall, prueba Hveem, máquina giratoria del Cuerpo de Ingenieros e indicador de presión lateral.

3.3.2 PRUEBAS DE SIMULACIÓN, analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), ensayo en pista de Hamburgo, del LCPC, etc.

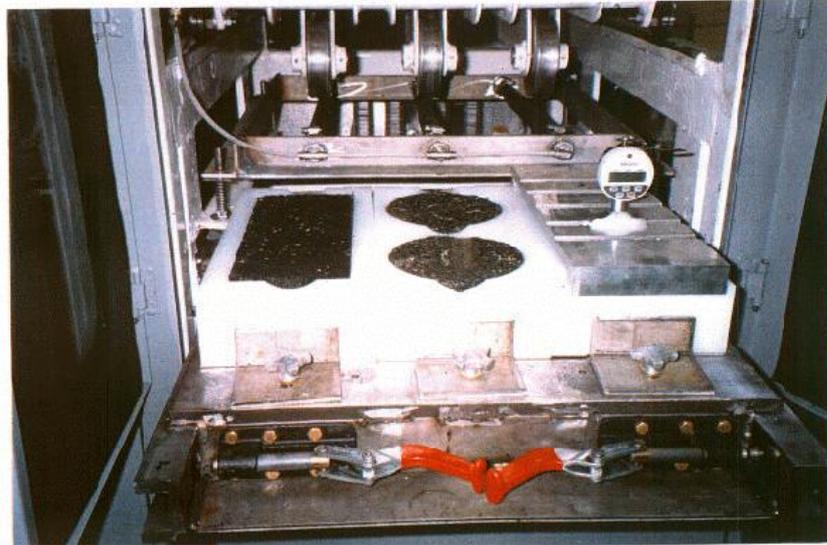


Figura 15. Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)



Figura 16. Ensayo en pista de Hamburgo

3.3.3 PRUEBAS FUNDAMENTALES, pruebas uniaxiales y triaxiales bajo carga monótonica (creep) o bajo cargas repetidas, ensayo de corte Superpave (SST: Superpave Shear Tester).



Figura 17. Prueba de compresión bajo carga repetida en N.A.T.

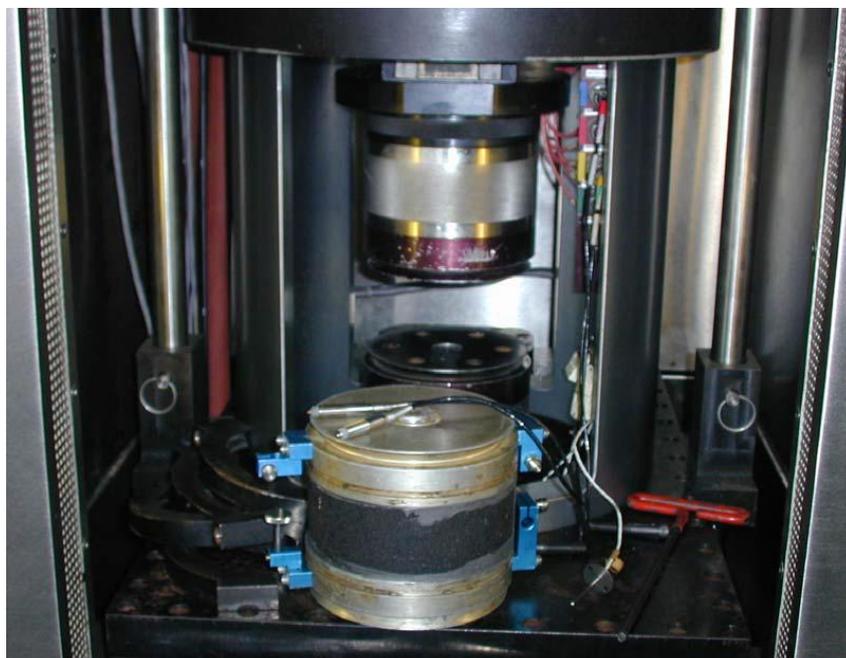


Figura 18. Superpave Shear Tester (SST)

4. DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DIFERENTES CONTENIDOS DE ARENAS DE RÍO

4.1 GENERALIDADES

El principal objetivo de estos diseños es obtener una mezcla de agregados y cemento asfáltico, en proporciones ideales que generen un producto económico, que a la vez satisfaga las exigencias estructurales que ocasionan las cargas del tráfico vehicular, con adecuada durabilidad, sin fisuramientos ni deformaciones plásticas.

Para nuestro estudio se realizaron 3 diseños que se presentan a continuación, variando el contenido de arenas naturales en: 0, 10 y 20% manteniendo lo más ajustado posible el cumplimiento de una misma especificación granulométrica.

La identificación manejada en estos diseños es la siguiente (como ejemplo):

30/60/10 => 30% de agregado de 19.1 mm (3/4")

60% de agregado de 9.5 mm (3/8")

10% de arena de río

La metodología empleada en este diseño es la que consta en el Manual del Instituto del Asfalto, Manual Serie MS2 "**MÉTODOS DE DISEÑO PARA CONCRETO ASFÁLTICO Y OTROS TIPOS DE MEZCLAS CALIENTES**", recomendada y aceptada por el MTOP del Ecuador. Las propiedades de los materiales, su dosificación y rangos tolerables han sido determinados conforme a los requerimientos del Manual de Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002, sección 405-5.1 MEZCLA DE HORMIGÓN ASFÁLTICO EN PLANTA.

4.2 AGREGADOS MINERALES

Los agregados triturados de 3/4", 3/8" corresponden a los preparados en la Planta Sozoranga, ubicada a la altura del Km 75 de la vía Duran- El Triunfo-Bucay, los mismos que previamente han sido calificados aptos para la elaboración de esta mezcla asfáltica.

Las granulometrías de los agregados: grueso (3/4"), intermedio (3/8") y arena, se pueden observar a continuación.

TRITURADO 3/8"				
ANÁLISIS MECÁNICO				
TAMIZ	ACUMULADO PESO RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	-	0,00	100,00	
No. 4	624	23,63	76,37	
Pasa el N°.4	2017	76,37		
No. 8	101,00	19,33	57,03	
No. 10				
No. 16	183,00	35,03	41,33	
No. 20				
No. 30	144,10	27,58	48,78	
No. 40				
No. 50	290,10	55,53	20,84	
No. 60				
No. 100	324,40	62,09	14,28	
No. 200	344,30	65,90	10,47	
Pasa el N°.200	54,70	10,47		
TOTAL	2641			
CUARTEO				
Peso total antes del lavado (gr):		399,00	Peso antes lavado (gr): _____	
Peso total después del lavado (gr):		_____	Peso después lavado (gr): _____	

Tabla 3. Análisis Mecánico del material triturado 3/8"

TRITURADO 3/4"				
ANÁLISIS MECÁNICO				
TAMIZ	ACUMULADO PESO RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"	-	0,00	100,00	
1/2"	1559	33,19	66,81	
3/8"	3404	72,47	27,53	
No. 4	4450	94,74	5,26	
Pasa el N°.4				
No. 8	4523,00	96,30	3,70	
No. 10				
No. 16				
No. 20				
No. 30				
No. 40				
No. 50				
No. 60				
No. 100				
No. 200				
Pasa el N°.200				
TOTAL	4697			
CUARTEO				
Peso total antes del lavado (gr): _____		Peso antes lavado (gr): _____		
Peso total después del lavado (gr): _____		Peso después lavado (gr): _____		

Tabla 4. Análisis mecánico del material triturado 3/4"

ARENA				
ANÁLISIS MECÁNICO				
TAMIZ	ACUMULADO PESO RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"	0			
1/2"	15	0,96	99,04	
3/8"	59	3,82	96,18	
No. 4	149,50	9,66		
Pasa el N°.4		0,00		
No. 8	228,30	14,75	85,25	
No. 10				
No. 16	331,90	21,44	78,56	
No. 20				
No. 30	481,20	31,09	68,91	
No. 40				
No. 50	891,70	57,60	42,40	
No. 60				
No. 100	1.391,60	89,90	10,10	
No. 200	1.483,20	95,81	4,19	
Pasa el N°.200	64,80	4,19		
TOTAL	1548			
CUARTEO				
Peso total antes del lavado (gr): _____		Peso antes lavado (gr): _____		
Peso total después del lavado (gr): _____		Peso después lavado (gr): _____		

Tabla 5. Análisis mecánico de la arena

4.2.1 DOSIFICACIONES DE LAS TRES MEZCLAS CON SUS RESPECTIVOS GRÁFICOS DE LA GRANULOMETRÍA COMBINADAS PARA CADA MEZCLA

Diseño de Mezcla de Aridos									
Graduación de Material									
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ - PORCENTAJE QUE PASA							
		3/4"	1/2"	N°.4	N°.8	N°.50	N°.200		
3/4"		100,00	66,80	5,26	3,70	-	-		
3/8"			100,00	76,40	57,00	20,80	10,50		
ARENA		100,00	99,00	90,30	85,30	42,40	4,20		
Graduación Combinada para Mezclas - Prueba No. 1.-(30/70) Ver figura 19									
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ - PORCENTAJE QUE PASA							
		3/4"	1/2"	N°.4	N°.8	N°.50	N°.200		
3/4"	30,00%	30,00%	20,04%	1,58%	1,11%	0,00%	0,00%		
3/8"	70,00%	70,00%	70,00%	53,48%	39,90%	14,56%	7,35%		
ARENA	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Mezcla Deseada		100,00%	90,04%	55,06%	41,01%	14,56%	7,35%		
Graduación Combinada para Mezclas - Prueba No. 2.-(30/60/10) Ver figura 20									
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ - PORCENTAJE QUE PASA							
		3/4"	1/2"	N°.4	N°.8	N°.50	N°.200		
3/4"	30,00%	25,00%	20,04%	1,58%	1,11%	0,00%	0,00%		
3/8"	60,00%	65,00%	60,00%	45,84%	37,05%	12,48%	6,30%		
ARENA	10,00%	10,00%	10,00%	9,03%	8,53%	4,24%	0,42%		
Mezcla Deseada		100,00%	90,04%	56,45%	46,69%	16,72%	6,72%		
Graduación Combinada para Mezclas - Prueba No. 3.-(30/50/20) Ve figura 21									
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ - PORCENTAJE QUE PASA							
		3/4"	1/2"	N°.4	N°.8	N°.50	N°.200		
3/4"	30,00%	30,00%	20,04%	1,58%	1,11%	0,00%	0,00%		
3/8"	50,00%	50,00%	50,00%	38,20%	28,50%	10,40%	5,25%		
ARENA	20,00%	20,00%	19,80%	18,06%	17,06%	8,48%	0,84%		
Mezcla Deseada		100,00%	89,84%	57,84%	46,67%	18,88%	6,09%		
MTOP-405-5.1		100,00	90-100	44-74	28-58	5-21	2-10		
		100,00	95,00	59,00	43,00	13,00	6,00		

Tabla 6. Diseño final de la mezcla de áridos

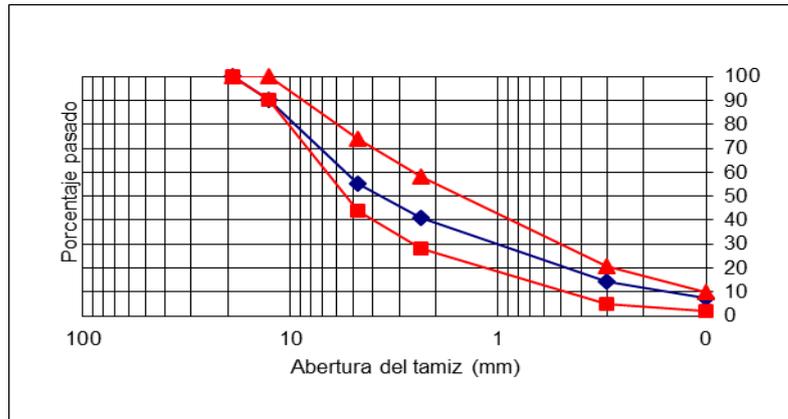


Figura 19. Gráfico de la granulometría combinada para la mezcla (30/70/00)

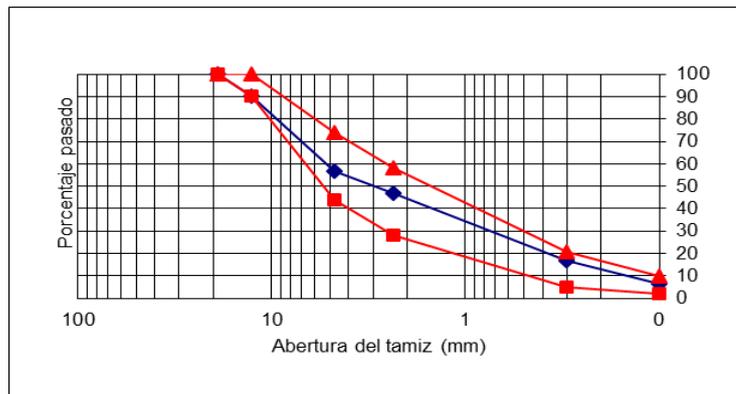


Figura 20. Gráfico de la granulometría combinada para la mezcla (30/60/10)

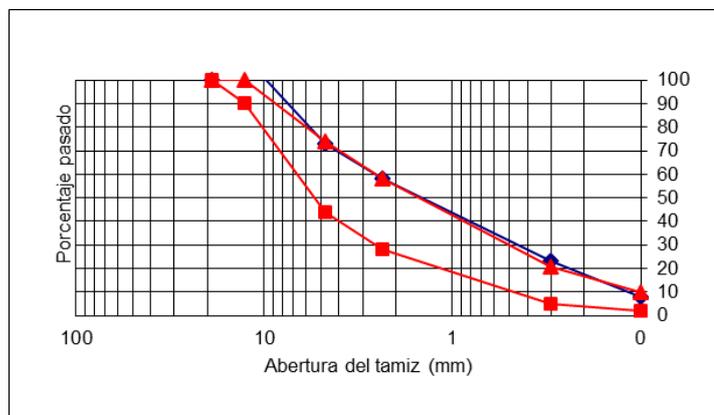


Figura 21. Gráfico de la granulometría combinada para la mezcla (30/70/20)

4.2.2 ESTUDIO DE OTRAS PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS AGREGADOS A UTILIZAR

Además del estudio granulométrico, fundamental para los diseños de mezclas, se estudiaron otras propiedades importantes de los agregados a utilizar, las que se muestran a continuación:

ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS EN AGREGADOS GRUESOS					
ASTM D 5821					
	A	B	C=100B/A	D	E=C*D
FRACCIÓN	Peso inicial	Peso material	% Caras	% retenido	Promedio de
	(gr)	2 caras (gr)	fracturadas	granul. original	caras fracturadas
3/4" - 1/2"	359,0	359,0	100,00	33,19	3319,0
1/2" - 3/8"	481,7	481,7	100,00	39,28	3928,0
3/8" - No. 4	299,8	299,8	100,00	22,27	2227,0
TOTAL				94,74	9474,0
PORCENTAJE CON 2 CARAS FRACTURADAS:				100,0	

Tabla 6. Determinación de caras fracturadas (TM ¾")

ENSAYO DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y ACHATADAS EN AGREGADOS GRUESOS					
ASTM D 4791					
	A	B	C=100B/A	D	E=(C*D)/100
FRACCIÓN	Peso inicial	Peso material	% planas	% retenido	% corregido de
	(gr)	D/d > 5	y alargadas	granul. original	planas y alargadas
3/4" - 1/2"	934	16	1,7	33,19	0,57
1/2" - 3/8"	1318	9	0,7	39,28	0,27
3/8" - No. 4	838	6	0,7	22,27	0,16
TOTAL				94,7	1,00
PORCENTAJE ALARGADAS Y ACHATADAS:				1,00	

Tabla 7. Determinación de partículas planas/alargadas (TM ¾")

DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA

Norma ASTM D – 2419.

	TM 3/8"	Arena
Lectura de Arena.	3.35	3.52
Lectura de Acilla.	4.41	4.12
Porcentaje.	76	86

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS DELETEREAS.

Norma ASTM C – 142.

Material más fino que el Tamiz No. 200

Fino del 3/8.

Peso Seco Antes:	2093
Peso Seco Después:	1890
% más fino Tamiz 200:	9.7

Deletéreos del fino 3/8.

Tamiz No. 16:	99.96
Peso Seco:	98.89
% Deletéreos:	0.1

Arena.

Peso Seco Antes:	2656
Peso Seco Después:	2579
% más fino Tamiz 200:	2.9

Deletéreos de la Arena.

Tamiz No. 16:	99.98
Peso Seco:	99.58
% Deletéreos:	0.4

DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.

Norma ASTM C - 1252.

Método C.

	1	2	Prom.
Peso del Cilindro:	8.75	8.75	
Peso Agreg + Cil.	187.18	188.25	
Peso del Agregado.	178.43	179.50	178.97
Gsb del Agregado	2.642	2.642	

$$V = (F/Gsb)$$

$$U = \frac{V}{V} \times 100 = 39\%$$

V

4.3 CEMENTO ASFÁLTICO

Tipo de Muestra: AC - 20					
Fecha de toma de muestra: 28 de octubre de 2013				ASTM D-3381 (TABLA 2)	
PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	RESULTADO	AC 20	
				Mínimo	Máximo
Penetración, 25 °C, 100g.,5s.	ASTM D-5	0.1 mm	68	60	-
Punto de Ablandamiento A y B	ASTM D-36	°C			
Indice de Penetración	NLT 181	-			
Densidad Relativa, 25 °C	ASTM D-70	-	1,0254		
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min	ASTM D-113	cm			
Flash Point, Copa Cleveland	ASTM D-92	°C	292	232	-
Contenido de Agua. Destilación	ASTM D-95	%v	-		
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D-4402	cP	227.000	160.000	240.000
80 °C			-		
100 °C			-		
135 °C			364		
160 °C			-		
Viscosidad Cinemática, 135 °C	ASTM D 2170	cSt	355	300	
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%w	-	99	-
ENVEJECIMIENTO TFOT, 163 °C, 5h					
Pérdida de masa	ASTM D-1754	%w			
Penetración, 25°C, 100g.,5s.	ASTM D 5	0.1mm			
%Penetración del Envejecido	-	%			
Ductilidad,25°C, 5cm/min	ASTM D 113	cm	54	50	-
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D 4402	cP	-	-	1.000.000
135 °C			-		
Resistencia al Endurecimiento	-	-	-		

Tabla 8. Propiedades del cemento asfáltico

4.4 DISEÑOS DE MEZCLAS

4.4.1 DISEÑO 30/70/00

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO =		1,024			75 GOLPES POR LADO			CONSTANTE DEL ANILLO No.-		901									
PESO ESPECIFICO DE LOS AGREGADOS =		2,739			7,46613 * LECTURA +		12,69187												
MEZCLA No.-	%	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN CM3	DENSIDAD BULK	DENSIDAD RICE	VOLUMEN % TOTAL		V.M.A.	V.F.A.	ESTABILIDAD EN LBS			FLUJO 1/100"				
		DE ASFALTO	SECO EN AIRE	EN AGUA				S.S.S. EN AIRE	AGREGADOS			VACIOS CON AIRE	LECTURA	FACTOR DE CORRECCION		CORREGIDA			
1	4,5 %	1135	660	1137	477	2,379					250	1,14	2,141	14					
2		1203	702	1206	504	2,387					255	1,04	1,993	12					
3		1273	745	1275	530	2,402					335	0,96	2,414	15					
PROMEDIO:						2,389	2,581	83,30	7,42	16,70	55,44	PROMEDIO: 2,182			13,7				
												TRAMO:							
1	5,0 %	1295	762	1297	535	2,421					370	0,96	2,665	16					
2		1221	715	1222	507	2,408					330	1,04	2,575	15					
3		1261	739	1263	524	2,406					295	0,96	2,127	13					
PROMEDIO:						2,412	2,56	83,65	5,79	16,35	64,63	PROMEDIO: 2,456			14,7				
												TRAMO:							
1	5,5 %	1292	768	1293	525	2,461					405	0,96	2,916	16					
2		1340	800	1341	541	2,477					540	0,93	3,762	17					
3		1206	717	1207	490	2,461					355	1,09	2,902	17					
PROMEDIO:						2,466	2,54	85,08	2,90	14,92	80,50	PROMEDIO: 3,193			16,7				
ESPECIFICACIONES : INSTITUTO DEL ASFALTO												3% - 5%		MIN 13% 65% - 75%		MIN 1800 lbs			8-16

MEZCLA No.-	%	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN CM3	DENSIDAD BULK	DENSIDAD RICE	VOLUMEN % TOTAL		V.M.A.	V.F.A.	ESTABILIDAD EN LBS			FLUJO 1/100"				
		DE ASFALTO	SECO EN AIRE	EN AGUA				S.S.S. EN AIRE	AGREGADOS			VACIOS CON AIRE	LECTURA	FACTOR DE CORRECCION		CORREGIDA			
1	6,0 %	1337	800	1338	538	2,485					525	0,93	3,658	16					
2		1321	786	1321	535	2,469					465	0,96	3,346	19					
3		1299	774	1299	525	2,474					465	0,96	3,346	22					
PROMEDIO:						2,476	2,521	84,98	1,78	15,02	88,09	PROMEDIO: 3,450			19,0				
												TRAMO:							
1	6,5 %	1292	765	1292	527	2,452					305	0,96	2,199	15					
2		1264	745	1264	519	2,435					400	1,00	2,999	24					
3		1333	780	1333	553	2,410					360	0,89	2,405	15					
PROMEDIO:						2,433	2,501	83,02	2,76	16,98	83,75	PROMEDIO: 2,534			18,0				
ESPECIFICACIONES : INSTITUTO DEL ASFALTO												3% - 5%		MIN 13% 65% - 75%		MIN 1800 lbs			8-16

Tabla 9. Propiedades de la mezcla asfáltica (Método Marshall) 30/70/00

GRÁFICOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA - DETERMINACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO

% ASFALTO	ESTABILIDAD (lbs)	FLUJO (0.01")	PESO UNITARIO (Kg/m³)	% VACÍOS EN AGREGADO	% VACIOS MEZCLA	% VACIOS RELLENOS
4,5%	2165	13,7	2389	16,7	7,4	55,4
5,0%	2412	14,7	2412	16,4	5,8	64,6
5,5%	2466	16,7	2466	14,9	2,9	80,5
6,0%	2476	19,0	2476	15,1	1,8	88,1
6,5%	2432	18,0	2432	17,0	2,8	83,8

Tabla 10. Datos para obtener gráficos de las propiedades de la mezcla asfáltica (30/70/00)

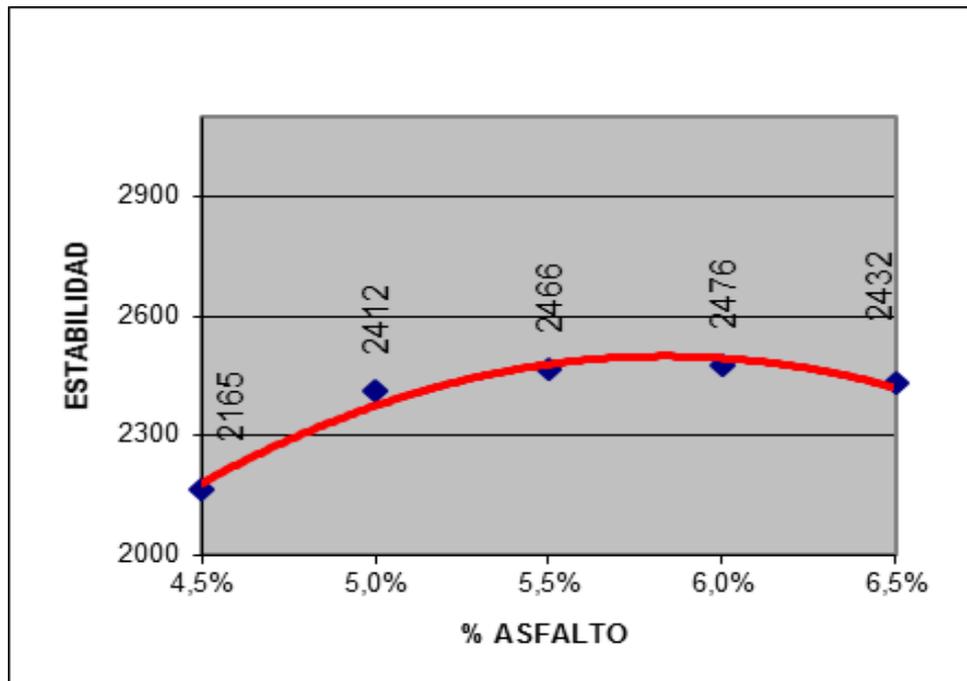


Figura 22. Estabilidad vs % de asfalto (mezcla 30/70/00)

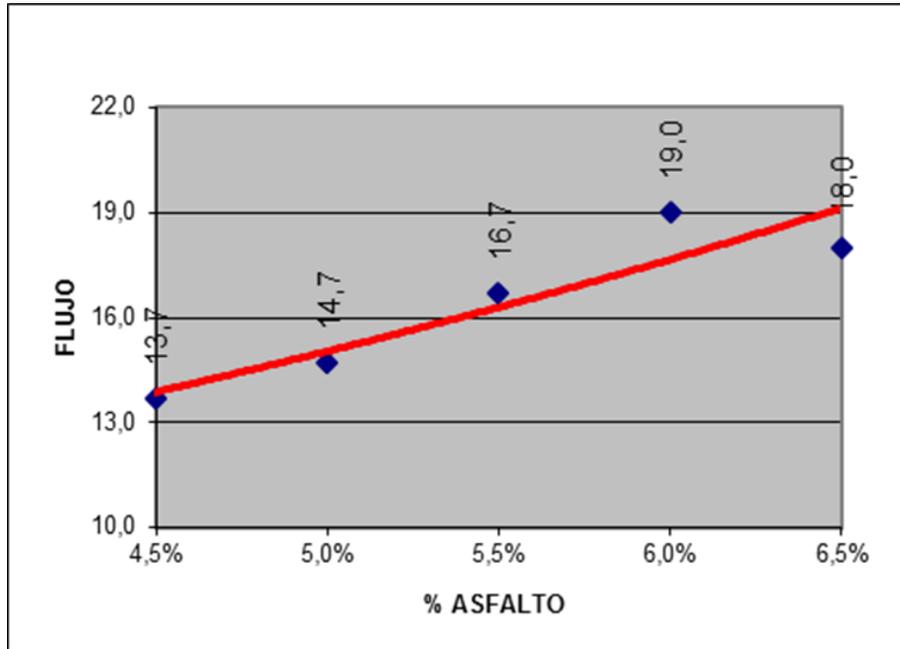


Figura 23. Flujo vs % de asfalto (mezcla 30/70/00)

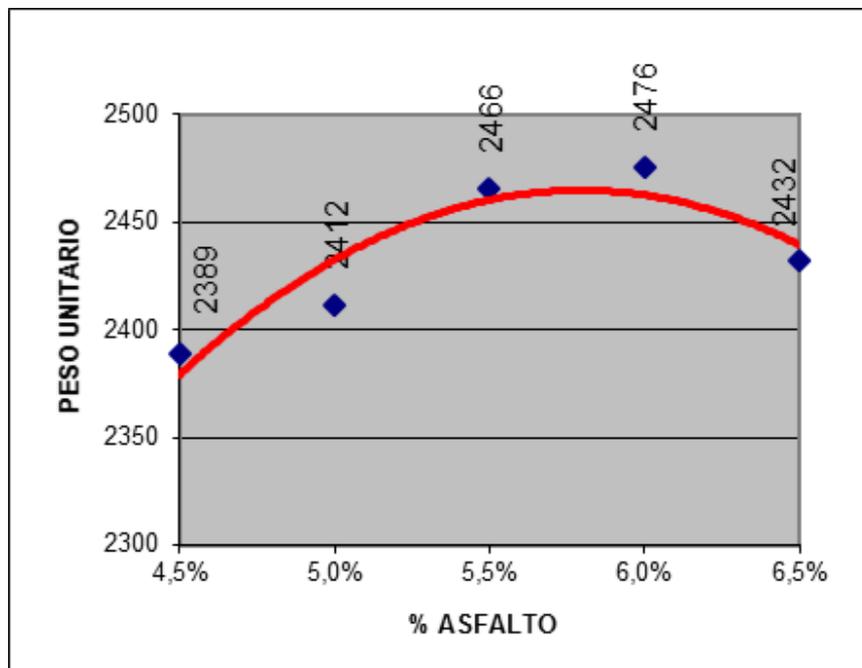


Figura 24. Peso unitario vs % de asfalto (mezcla 30/70/00)

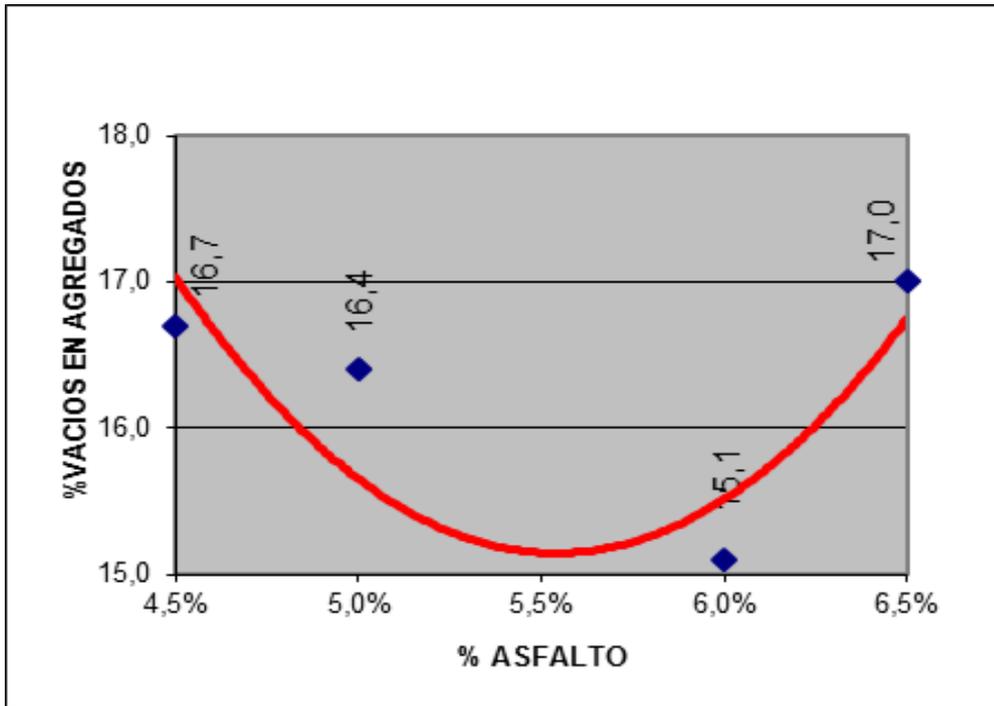


Figura 25. % de vacíos en agregados vs % de asfalto (mezcla 30/70/00)

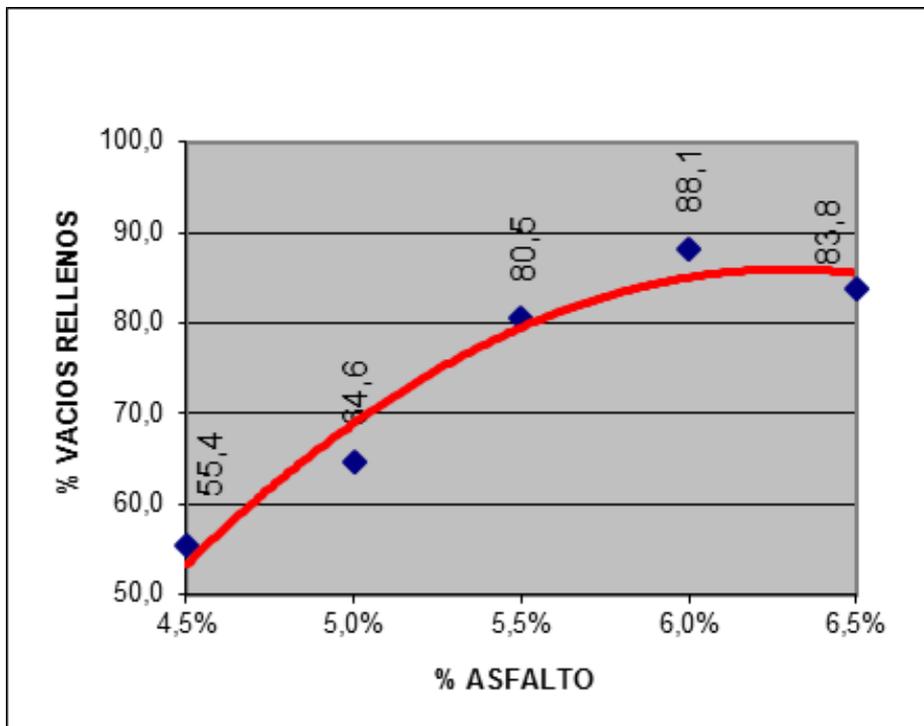


Figura 26. % de vacíos rellenos vs % de asfalto (mezcla 30/70/00)

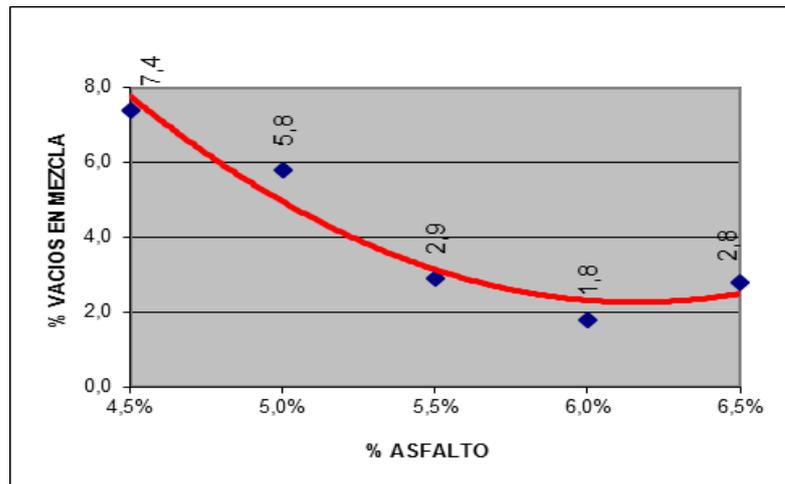


Figura 27. % de vacíos en la mezcla vs % de asfalto (mezcla 30/70/00)

CURVA GRANULOMÉTRICA DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE

TAMIZ	ESPECIFICACION 1	ESPECIFICACION 2	MEZCLA	FAJA TRABAJO 1	FAJA TRABAJO 2
3/4"	100	100	100	100	100
1/2"	90	100	90	90	97
Nº 4	44	74	55	48	62
Nº 8	28	58	41	35	47
Nº 50	5	21	15	10	20
Nº 200	2	10	7	4	10

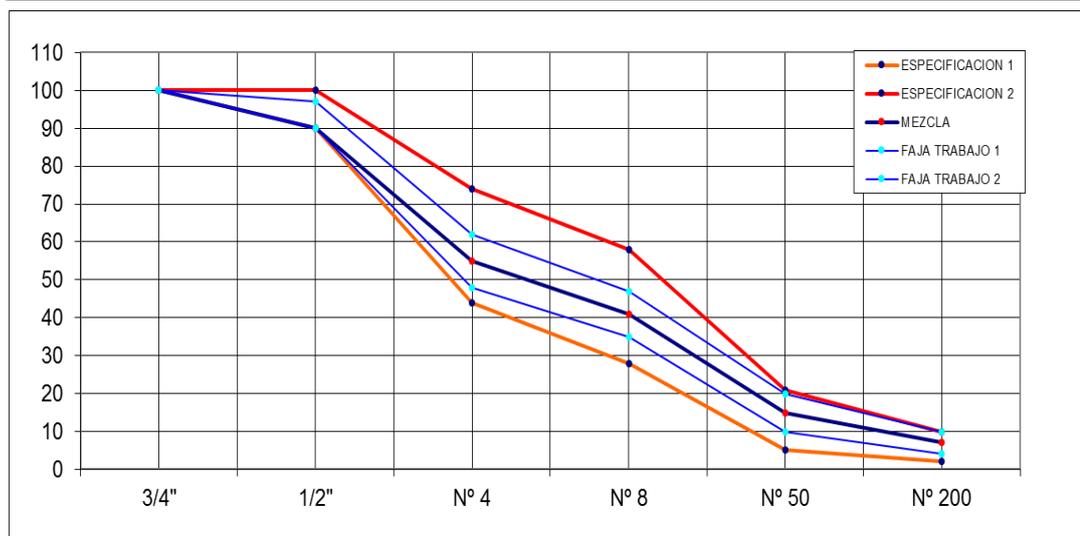


Figura 28. Gráfico de la curva granulométrica de carpeta asfáltica en caliente (mezcla 30/70/00)

4.4.2 DISEÑO 30/60/10

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO =				1,024		75 GOLPES POR LADO			CONSTANTE DEL ANILLO No. =				901		
PESO ESPECIFICO DE LOS AGREGADOS =				2,725		7,46613 * LECTURA +				12,69187					
MEZCLA No.-	%	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN CM3	DENSIDAD BULK	DENSIDAD RICE	VOLUMEN % TOTAL		V.M.A.	V.F.A.	ESTABILIDAD EN LBS			FLUJO 1/100"
		DE ASFALTO	SECO EN AIRE	EN AGUA				S.S.S. EN AIRE	AGREGADOS			VACIOS CON AIRE	LECTURA	FACTOR DE CORRECCION	
1	4,5 %	1264	736	1266	530	2,385						305	0,96	2,199	12
2		1237	718	1240	522	2,370						275	1,00	2,066	11
3		1203	696	1206	510	2,359						255	1,00	1,917	10
PROMEDIO:					2,371	2,571	83,09	7,77	16,91	53,99		PROMEDIO:	2,060	11,0	
TRAMO:															
1	5,0 %	1266	742	1268	526	2,407						355	0,96	2,557	11
2		1228	716	1230	514	2,389						335	1,00	2,514	11
3		1277	744	1269	525	2,432						310	0,96	2,235	13
PROMEDIO:					2,409	2,551	84,00	5,55	16,00	65,23		PROMEDIO:	2,435	11,7	
TRAMO:															
1	5,5 %	1226	725	1227	502	2,442						395	1,04	3,080	12
2		1219	717	1220	503	2,423						340	1,04	2,653	13
3		1262	740	1263	523	2,413						330	0,96	2,378	15
PROMEDIO:					2,426	2,531	84,13	4,14	15,87	73,85		PROMEDIO:	2,703	13,3	
ESPECIFICACIONES : INSTITUTO DEL ASFALTO										3% - 5%		MIN 13% 65% - 75%		MIN 1800 lbs 8-16	
MEZCLA No.-	%	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN CM3	DENSIDAD BULK	DENSIDAD RICE	VOLUMEN % TOTAL		V.M.A.	V.F.A.	ESTABILIDAD EN LBS			FLUJO 1/100"
		DE ASFALTO	SECO EN AIRE	EN AGUA				S.S.S. EN AIRE	AGREGADOS			VACIOS CON AIRE	LECTURA	FACTOR DE CORRECCION	
1	6,0 %	1286	762	1286	524	2,454						360	0,96	2,593	17
2		1273	753	1273	520	2,448						470	1,00	3,522	18
3		1309	771	1309	538	2,433						385	0,93	2,686	19
PROMEDIO:					2,445	2,511	84,35	2,62	15,65	84,21		PROMEDIO:	2,934	18,0	
TRAMO:															
1	6,5 %	1278	748	1278	530	2,411						360	0,96	2,593	20
2		1243	726	1243	517	2,404						335	1,00	2,514	22
3		1290	758	1290	532	2,425						370	0,96	2,665	21
PROMEDIO:					2,413	2,492	82,79	1,69	17,21	90,18		PROMEDIO:	2,590	21,0	
ESPECIFICACIONES : INSTITUTO DEL ASFALTO										3% - 5%		MIN 13% 65% - 75%		MIN 1800 lbs 8-16	

Tabla 11. Tabla 9. Propiedades de la mezcla asfáltica (Método Marshall)
30/60/10

GRÁFICOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA - DETERMINACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO

% ASFALTO	ESTABILIDAD (lbs)	FLUJO (0.01")	PESO UNITARIO (Kg/m³)	% VACÍOS EN AGREGADO	% VACIOS MEZCLA	% VACIOS RELLENOS
4,5%	2044	11,0	2371	16,9	7,8	54,0
5,0%	2416	11,6	2409	16,0	5,6	65,2
5,5%	2682	13,3	2426	15,9	4,2	73,9
6,0%	2910	18,0	2445	16,7	2,6	84,2
6,5%	2570	21,0	2413	17,2	1,7	90,2

Tabla 12. Datos para obtener gráficos de las propiedades de la mezcla
asfáltica (30/60/10)

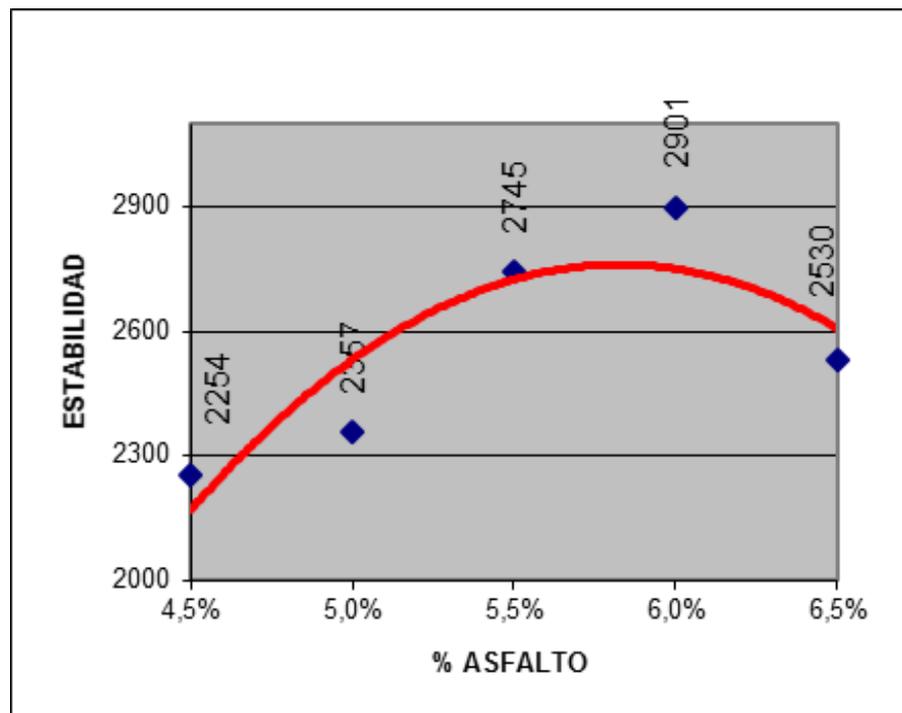


Figura 29. Estabilidad vs % de asfalto (mezcla 30/60/10)

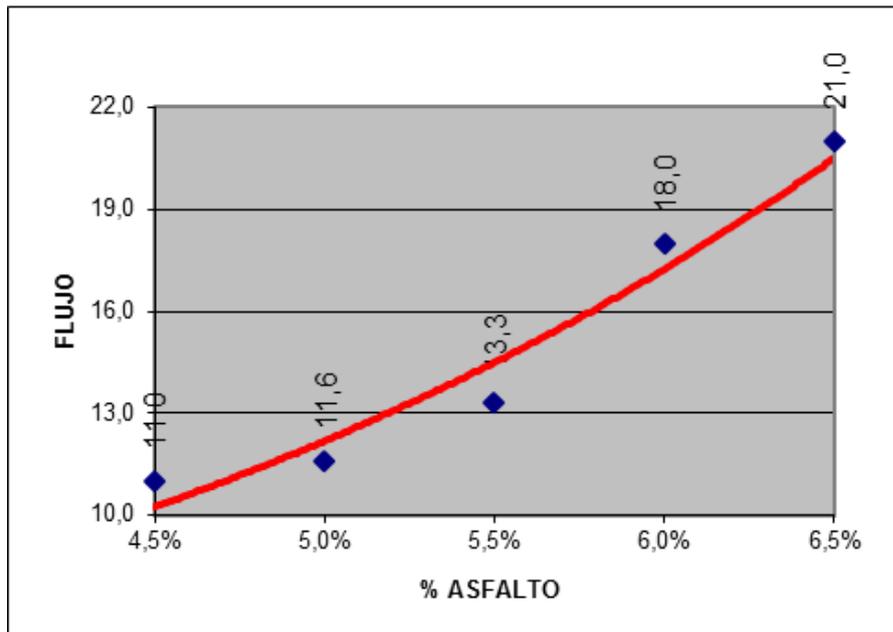


Figura 30. Flujo vs % de asfalto (mezcla 30/60/10)

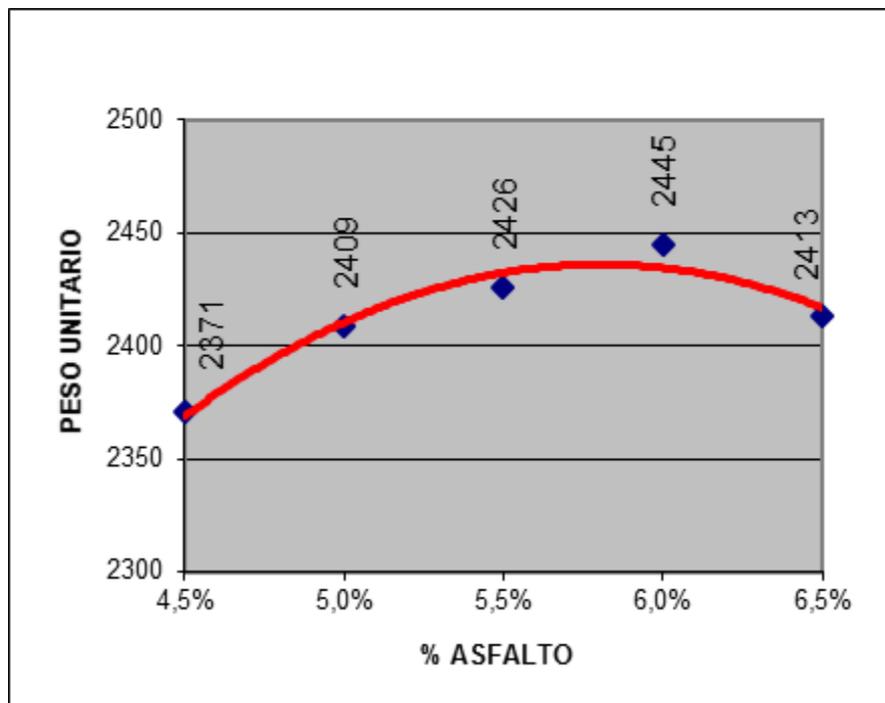


Figura 31. Peso unitario vs % de asfalto (mezcla 30/60/10)

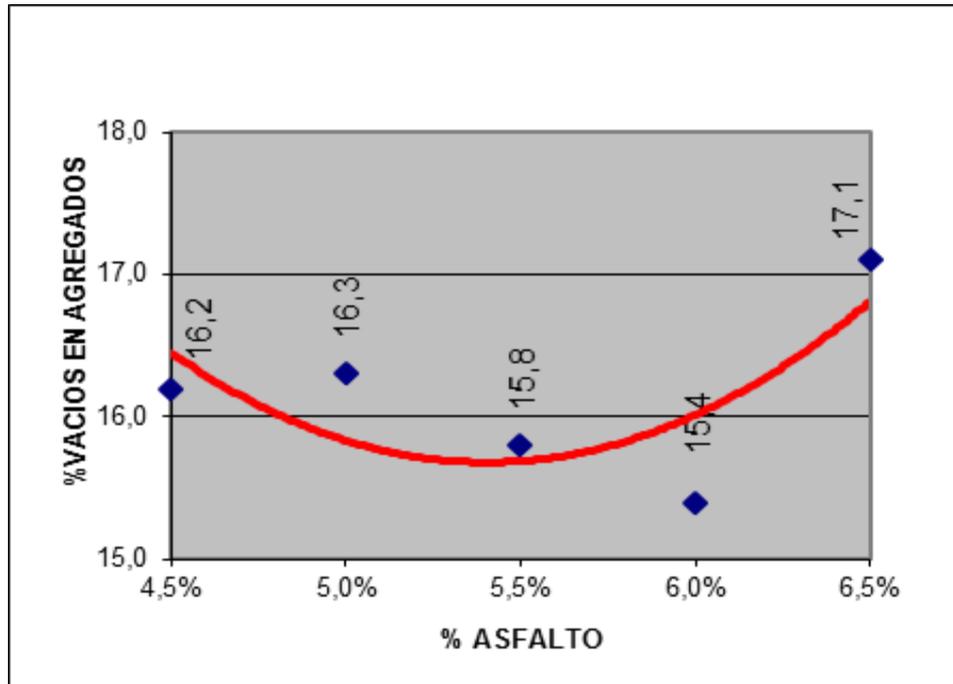


Figura 32. % de vacíos en agregados vs % de asfalto (mezcla 30/60/10)

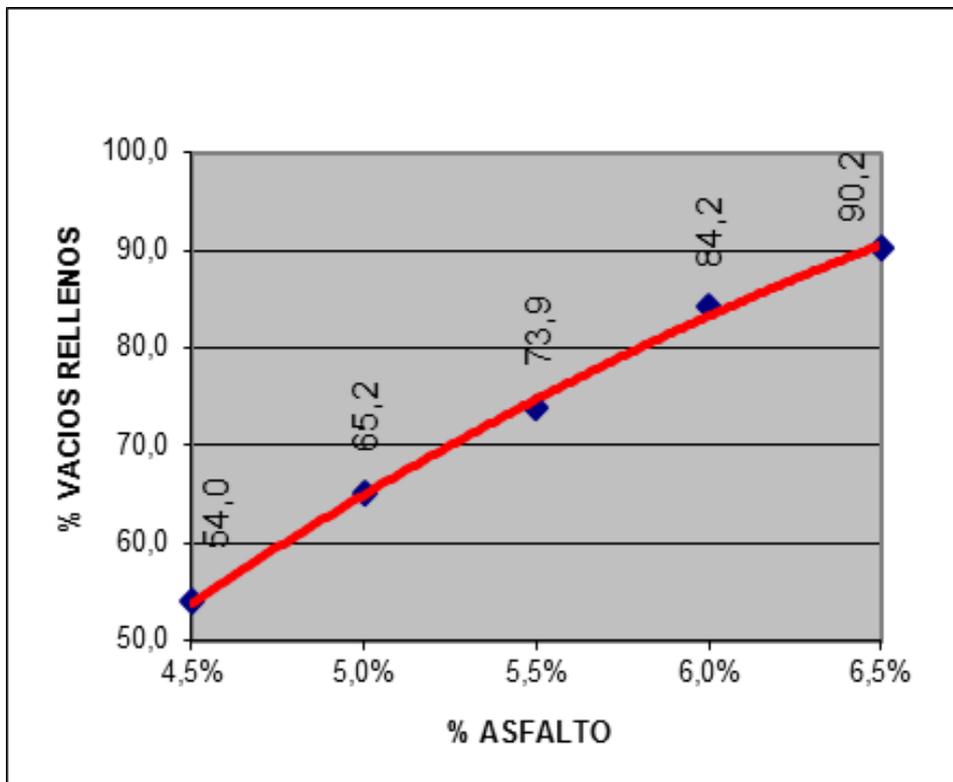


Figura 33. % de vacíos rellenos vs % de asfalto (mezcla 30/60/10)

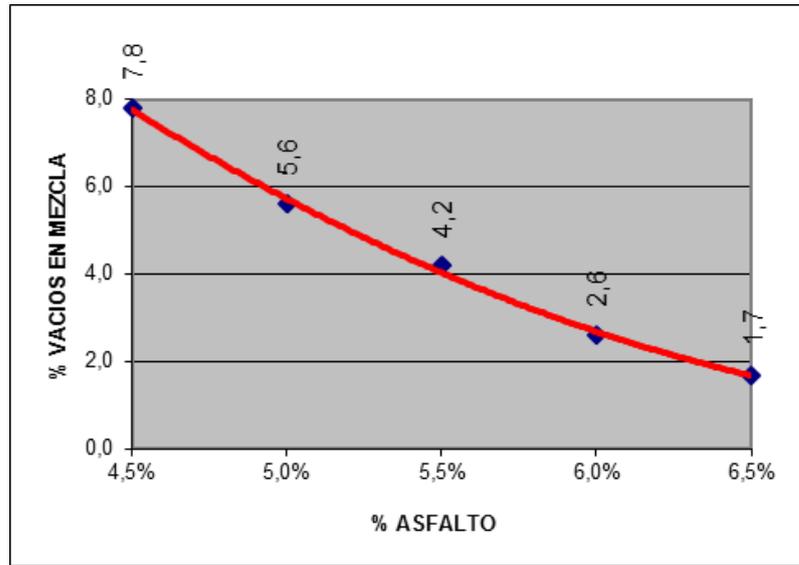


Figura 34. % de vacíos en la mezcla vs % de asfalto (mezcla 30/60/10)

CURVA GRANULOMÉTRICA DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE

TAMIZ	ESPECIFICACION 1	ESPECIFICACION 2	MEZCLA	FAJA TRABAJO 1	FAJA TRABAJO 2
3/4"	100	100	100	100	100
1/2"	90	100	90	90	97
Nº 4	44	74	56	49	63
Nº 8	28	58	47	41	53
Nº 50	5	21	17	12	22
Nº 200	2	10	7	4	10

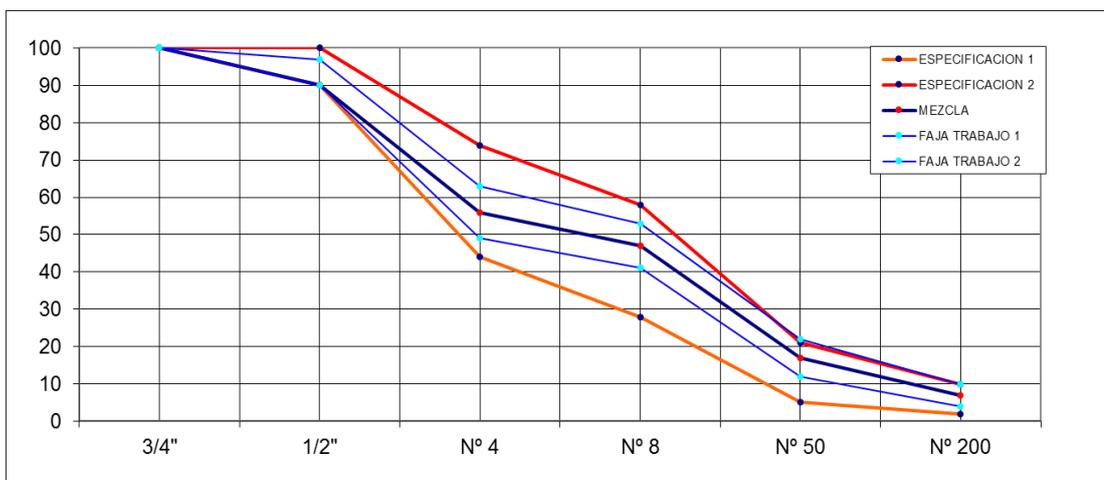


Figura 35. Gráfico de la curva granulométrica de carpeta asfáltica en caliente (mezcla 30/60/10)

4.4.3 DISEÑO 30/50/20

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO =		1,024		75 GOLPES POR LADO		CONSTANTE DEL ANILLO No.-		901							
PESO ESPECIFICO DE LOS AGREGADOS =		2,712				7,46613 * LECTURA +		12,69187							
MEZCLA No.-	%	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN CM3	DENSIDAD BULK	DENSIDAD RICE	VOLUMEN % TOTAL		V.M.A.	V.F.A.	ESTABILIDAD EN LBS			
		DE ASFALTO	SECO EN AIRE	EN AGUA				S.S.S. EN AIRE	AGREGADOS			VACIOS CON AIRE	LECTURA	FACTOR DE CORRECCION	CORREGIDA
1	4,5%	1292	754	1294	540	2,393						305	0,93	2,130	10
2		1337	776	1338	562	2,379						425	0,86	2,742	11
3		1244	719	1245	526	2,365						270	0,96	1,948	10
PROMEDIO:						2,379	2,562	83,77	7,15	16,23	56,01		PROMEDIO:	2,273	10,3
					TRAMO:										
1	5,0 %	1219	706	1220	514	2,372						275	1,00	2,066	13
2		1248	728	1249	521	2,395						340	1,00	2,551	12
3		1298	759	1299	540	2,404						360	0,93	2,512	12
PROMEDIO:						2,390	2,542	83,72	5,97	16,27	63,27		PROMEDIO:	2,376	12,3
					TRAMO:										
1	5,5 %	1230	720	1231	511	2,407						345	1,00	2,589	12
2		1260	742	1260	518	2,432						415	1,00	3,111	15
3		1346	789	1347	558	2,412						390	0,89	2,604	13
PROMEDIO:						2,417	2,522	84,22	4,15	15,78	73,64		PROMEDIO:	2,768	13,3
					TRAMO:										

MEZCLA No.-	%	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN CM3	DENSIDAD BULK	DENSIDAD RICE	VOLUMEN % TOTAL		V.M.A.	V.F.A.	ESTABILIDAD EN LBS			
		DE ASFALTO	SECO EN AIRE	EN AGUA				S.S.S. EN AIRE	AGREGADOS			VACIOS CON AIRE	LECTURA	FACTOR DE CORRECCION	CORREGIDA
1	6,0 %	1286	765	1287	522	2,464						350	1,00	2,626	16
2		1263	745	1263	518	2,438						405	1,00	3,036	15
3		1266	744	1266	522	2,425						415	1,00	3,111	16
PROMEDIO:						2,442	2,503	84,62	2,42	15,36	84,11		PROMEDIO:	2,924	15,7
					TRAMO:										
1	6,5 %	1250	733	1250	517	2,418						330	1,00	2,477	18
2		1260	737	1260	523	2,409						370	0,96	2,665	19
3		1300	755	1300	545	2,385						360	0,93	2,512	17
PROMEDIO:						2,404	2,484	82,88	3,22	17,12	81,19		PROMEDIO:	2,551	18,0
ESPECIFICACIONES : INSTITUTO DEL ASFALTO										3%- 5%	MIN 13%	65%- 75%	MIN 1800 lbs 8-16		

Tabla 13. Propiedades de la mezcla asfáltica (Método Marshall) 30/50/20

GRÁFICOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA - DETERMINACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO

% ASFALTO	ESTABILIDAD (lbs)	FLUJO (0.01")	PESO UNITARIO (Kg/m ³)	% VACÍOS EN AGREGADO	% VACIOS MEZCLA	% VACIOS RELLENOS
4,5%	2254	10,3	2379	16,2	7,2	56,0
5,0%	2357	12,3	2390	16,3	6,0	63,3
5,5%	2745	13,3	2417	15,8	4,2	73,7
6,0%	2901	15,7	2442	15,4	2,5	84,1
6,5%	2530	18,0	2404	17,1	3,2	81,2

Tabla 14. Datos para obtener gráficos de las propiedades de la mezcla asfáltica (30/50/20)

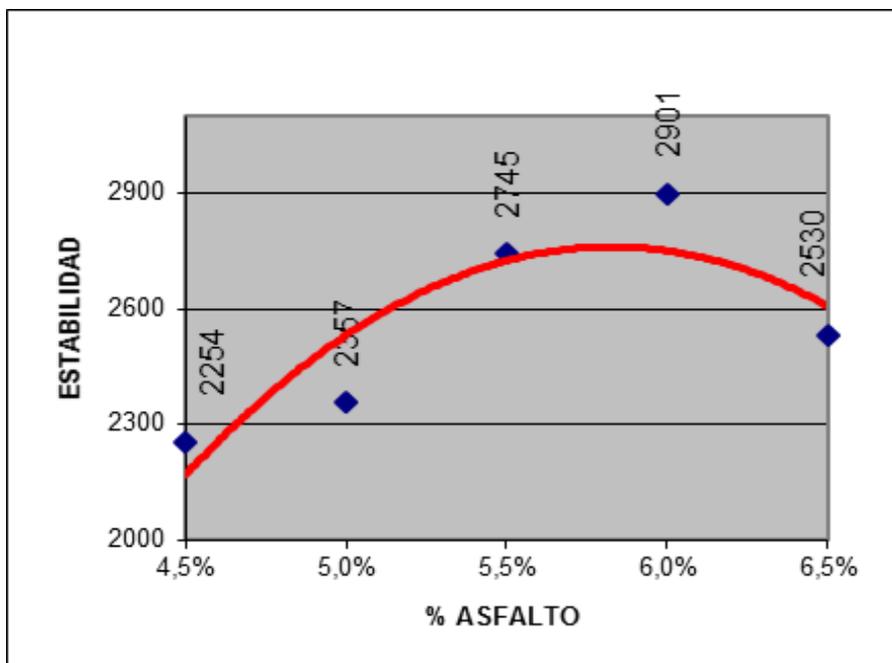


Figura 36. Estabilidad vs % de asfalto (mezcla 30/50/20)

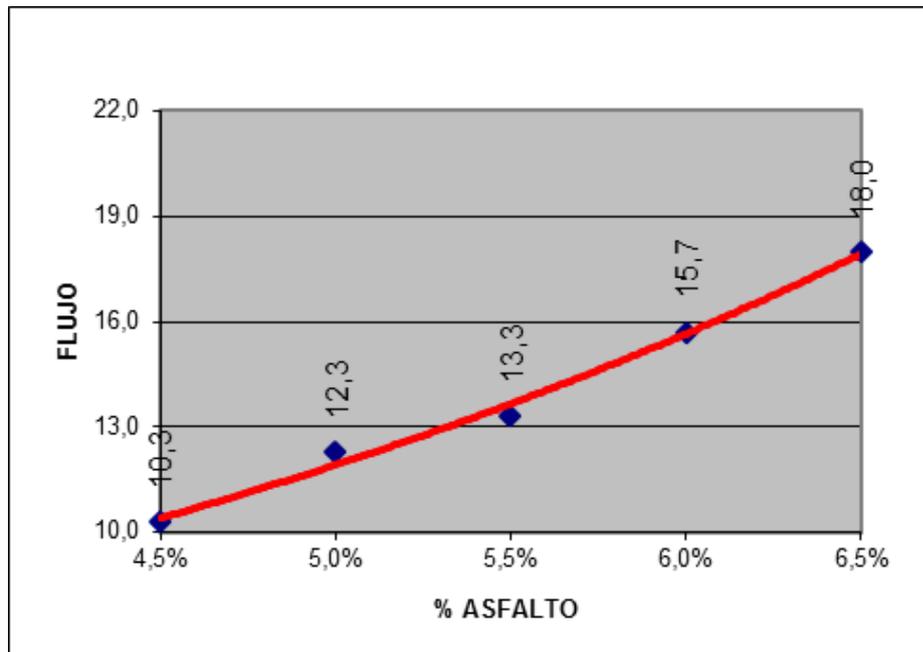


Figura 37. Flujo vs % de asfalto (mezcla 30/50/20)

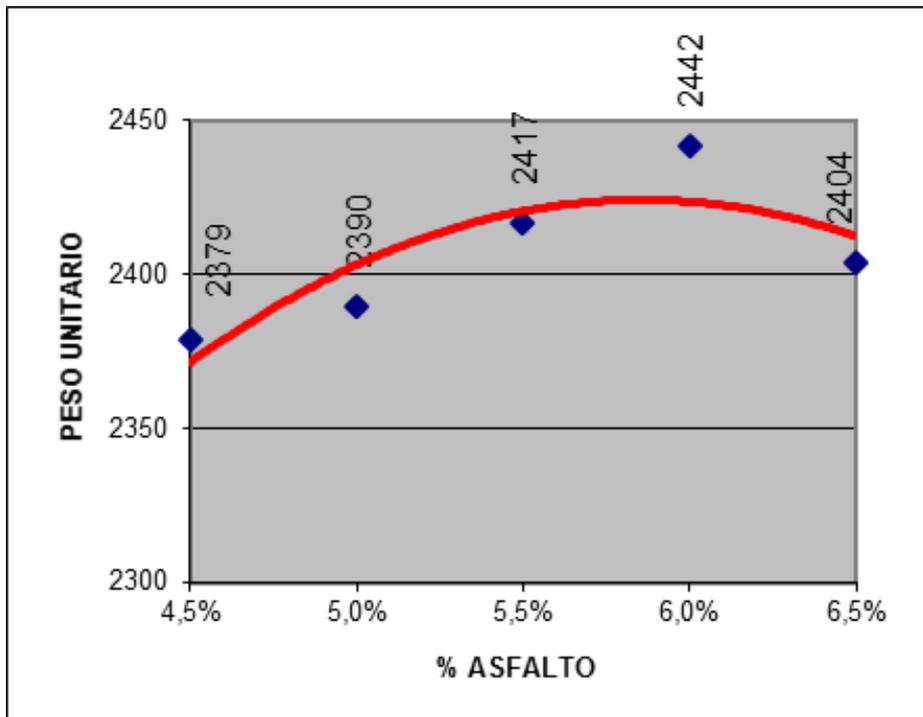


Figura 38. Peso unitario vs % de asfalto (mezcla 30/50/20)

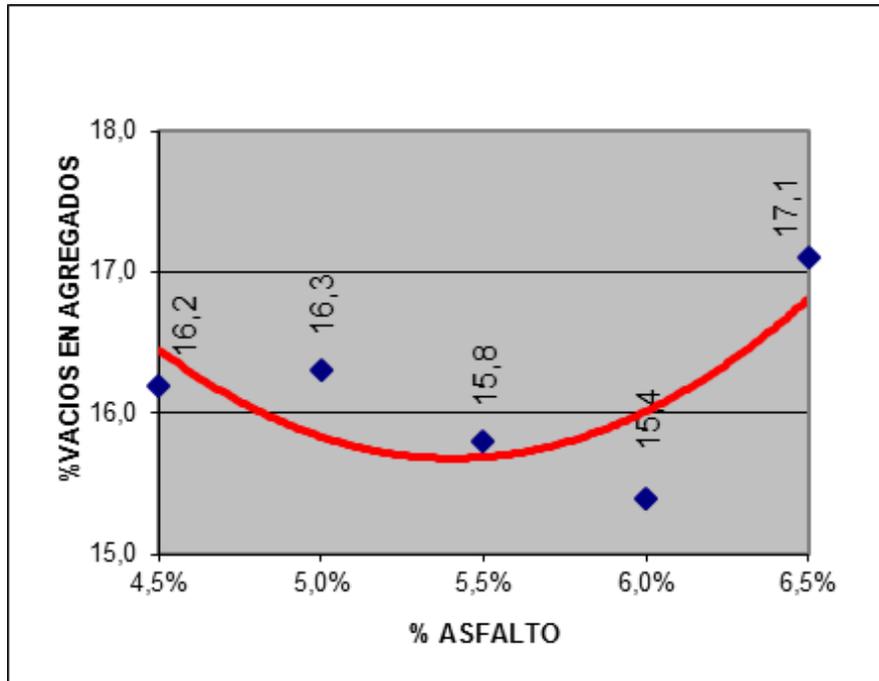


Figura 39. % de vacíos en agregados vs % de asfalto (mezcla 30/50/20)

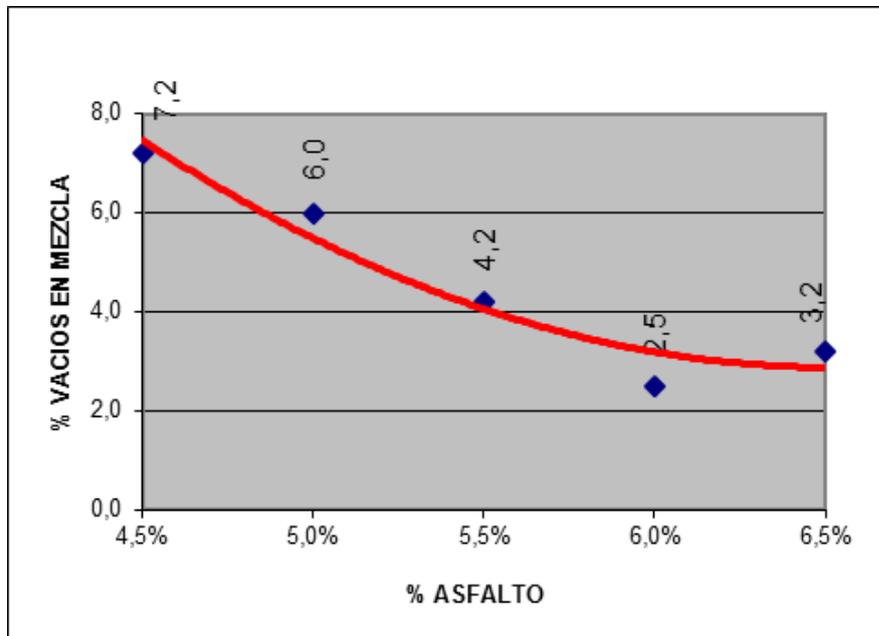


Figura 40. % de vacíos en la mezcla vs % de asfalto (mezcla 30/50/20)

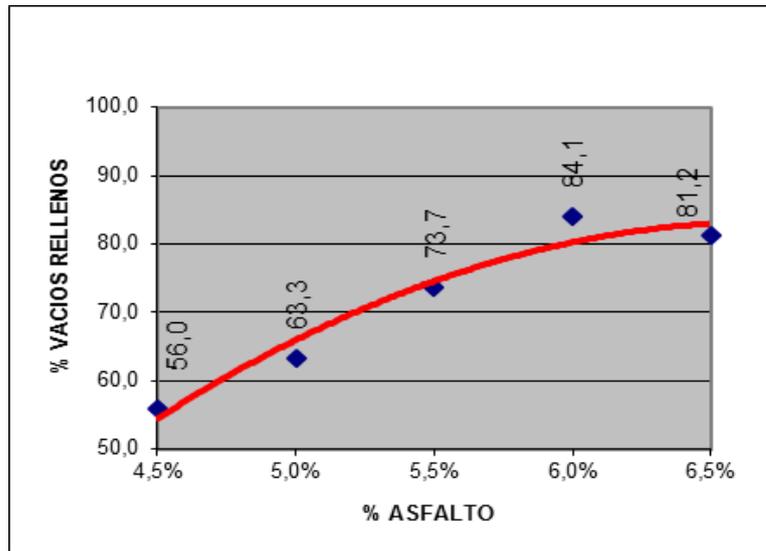


Figura 41. % de vacíos rellenos vs % de asfalto (mezcla 30/50/20)

CURVA GRANULOMÉTRICA DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE

TAMIZ	ESPECIFICACION 1	ESPECIFICACION 2	MEZCLA	FAJA TRABAJO 1	FAJA TRABAJO 2
3/4"	100	100	100	100	100
1/2"	90	100	90	90	97
Nº 4	44	74	58	51	65
Nº 8	28	58	47	41	53
Nº 50	5	21	19	14	24
Nº 200	2	10	6	3	9

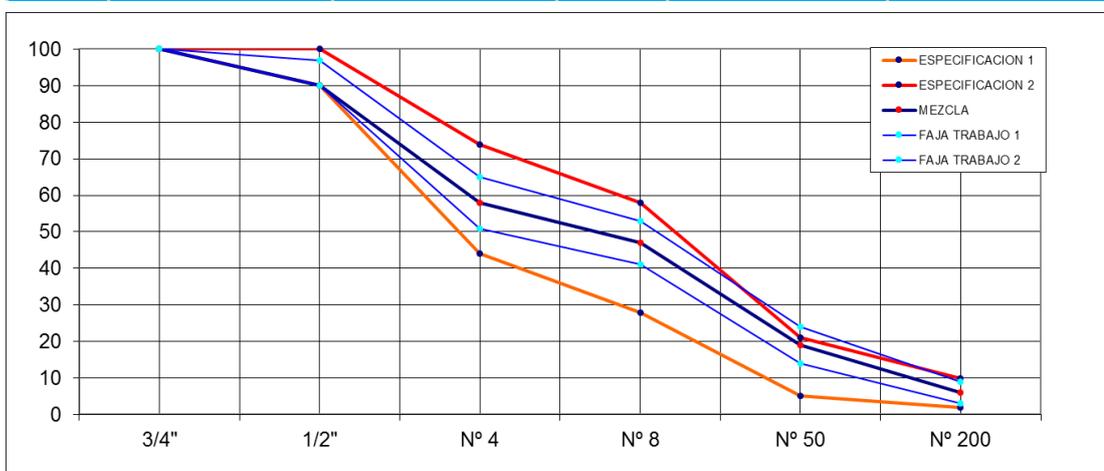


Figura 42. Gráfico de la curva granulométrica de carpeta asfáltica en caliente (mezcla 30/50/20)

5. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLÁSTICAS

5.1 GENERALIDADES

Para esta evaluación se van a aplicar cuatro importantes pruebas a muestras de mezclas fabricadas con los tres contenidos de arena previstos. Estas pruebas son: módulo de rigidez, compresión cíclica uniaxial (creep dinámico), pruebas triaxiales y estabilidad Marshall, que es la prueba convencional que se realiza de manera rutinaria. Para cada tipo de prueba se realizarán tres ensayos.

5.2.- MÓDULO DE RIGIDEZ

Este ensayo se basa en la normativa europea CEN 12697-26: 2006, pruebas de tensión indirecta en probetas cilíndricas. Esta prueba es un método no destructivo, con el cual se puede determinar el módulo de rigidez de las mezclas asfálticas ante la deformación controlada. Esta prueba se realiza con el equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT) empleando el programa "StiffnessMicron". Los datos que se deben ingresar son:

- ☒ Temperatura de ensayo: 20°C
- ☒ Relación de Poisson (μ) = 0.35
- ☒ Plazo deseado para carga total: 120 milisegundos
- ☒ Deformación horizontal deseada: 5 μ m (para diámetros de 102 mm)
- ☒ Número de pulsos de preparación: 5

RESULTADOS

Los resultados de los módulos de rigidez de cada núcleo se muestran en las Tablas 15, 16 y 17. Además, se calcularon los promedios del módulo de rigidez para cada vía, con la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Los valores de cada vía se mostrarán a través de diagramas de barras en las Figuras 43, 44 y 45.

MEZCLA 30 / 70 / 0

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	M. RIGIDEZ (MPa)
1	2 - 0	68	102	3735
2	5 - 0	62	102	3419
3	6 - 0	62	102	3311

PROMEDIO	3488
DESV. EST.	220
COEF. VARIAC.(%)	6.3

Tabla 15. Resultados de los módulos de rigidez para la mezcla 30/70/00

Módulos de Rigidez bajo deformación controlada MEZCLA 30 / 70 / 0

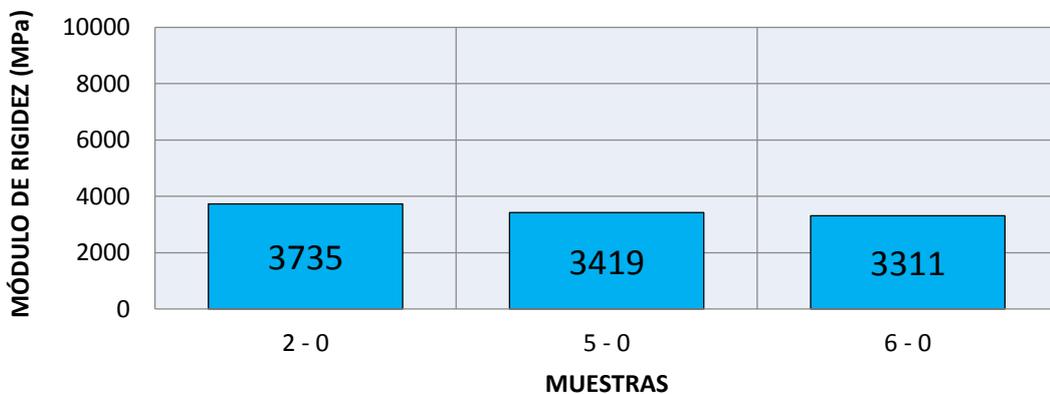


Figura 43. Módulos de rigidez bajo deformación controlada para la mezcla 30/70/00

MEZCLA 30 / 60 / 10

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	M. RIGIDEZ (MPa)
1	2 - 10	66	102	3289
2	3 - 10	67	102	3149
3	6 - 10	67	102	3379

PROMEDIO	3272
DESV. EST.	116
COEF. VARIAC.(%)	3.5

Tabla 16. Resultados de los módulos de rigidez para la mezcla 30/60/10

Módulos de Rigidez bajo deformación controlada MEZCLA 30 / 60 / 10

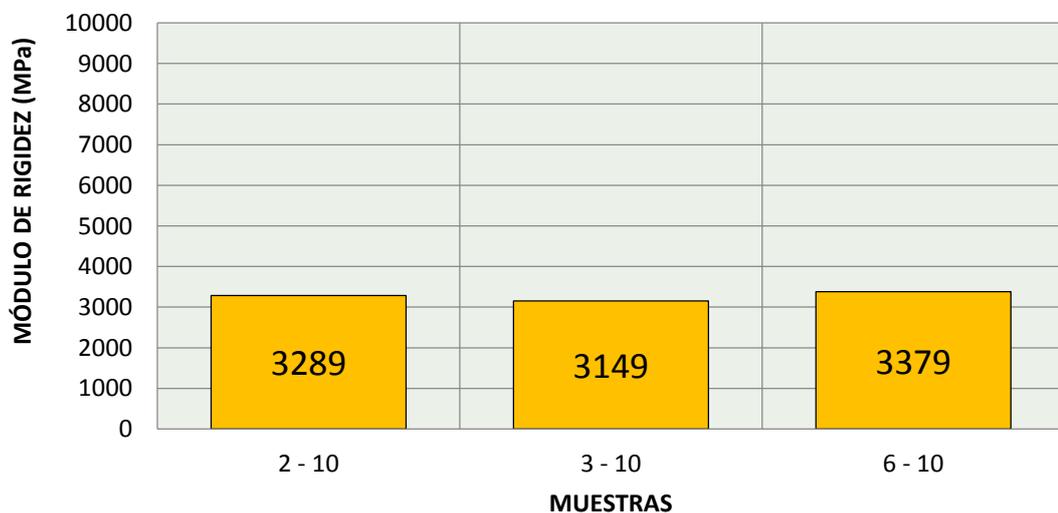


Figura 44. Módulos de rigidez bajo deformación controlada para la mezcla 30/60/10

MEZCLA 30 / 50 / 20

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	M. RIGIDEZ (MPa)
1	1 -20	64	102	2551
2	2 - 20	67	102	2829
3	3 -20	66	102	2973

PROMEDIO	2784
DESV. EST.	215
COEF. VARIAC.(%)	7.7

Tabla 17. Resultados de los módulos de rigidez para la mezcla 30/50/20

Módulos de Rigidez bajo deformación controlada MEZCLA 30 / 50 / 20

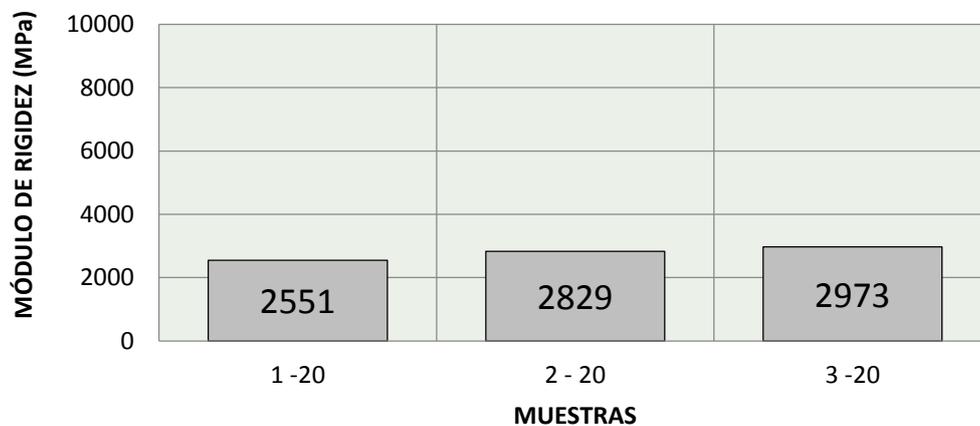


Figura 45. Módulos de rigidez bajo deformación controlada para la mezcla 30/50/20

En la Figura 46 se muestran las variaciones de los promedios de los módulos de rigidez para cada mezcla.

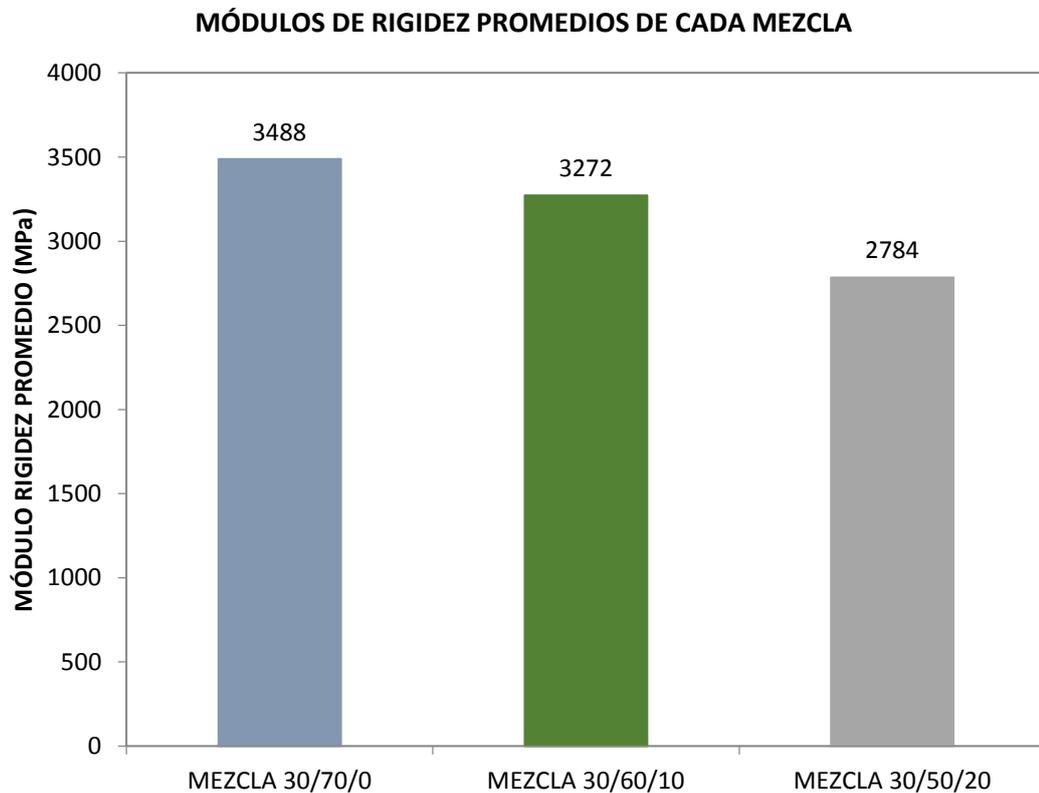


Figura 46. Módulos de rigidez promedios de cada mezcla

5.3.- PRUEBA DE COMPRESIÓN CÍCLICA UNIAxIAL (CREEP DINÁMICO)

En este ensayo un ciclo de carga consiste en la aplicación de un esfuerzo durante 1 segundo seguido por 1 segundo de descanso, es decir, se emplean ondas cuadradas. Se realizará a una temperatura de 40°C, midiendo las deformaciones unitarias provocadas por 3600 repeticiones de cargas de 100 kPa.

A continuación, en las Tablas 18, 19 y 20 y en las Figuras 47, 48 y 49 se detallan los porcentajes de deformación de las 3 muestras correspondientes a cada una de las 3 mezclas diseñadas, con su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

MEZCLA 30 / 70 / 0

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	DEFORMACIÓN (%)
1	2 - 0	68	102	1.05
2	5 - 0	62	102	1.08
3	6 - 0	62	102	1.24

PROMEDIO	1.12
DESV. EST.	0.10
COEF. VARIAC.(%)	9.09

Tabla 18. Deformación por compresión cíclica uniaxial para la mezcla 30/70/

DEFORMACIÓN BAJO COMPRESIÓN CÍCLICA UNIAXIAL MEZCLA 30 / 70 / 0



Figura 47. Deformación bajo compresión cíclica uniaxial para la mezcla 30/70/0

MEZCLA 30 / 60 / 10

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	DEFORMACIÓN (%)
1	2 - 10	66	102	1.52
2	3 - 10	67	102	1.72
3	6 - 10	67	102	1.42

PROMEDIO	1.55
DESV. EST.	0.15
COEF. VARIAC.(%)	9.83

Tabla 19. Deformación por compresión cíclica uniaxial para la mezcla 30/60/10

DEFORMACIÓN BAJO COMPRESIÓN CÍCLICA UNIAxIAL MEZCLA 30 / 60 / 10

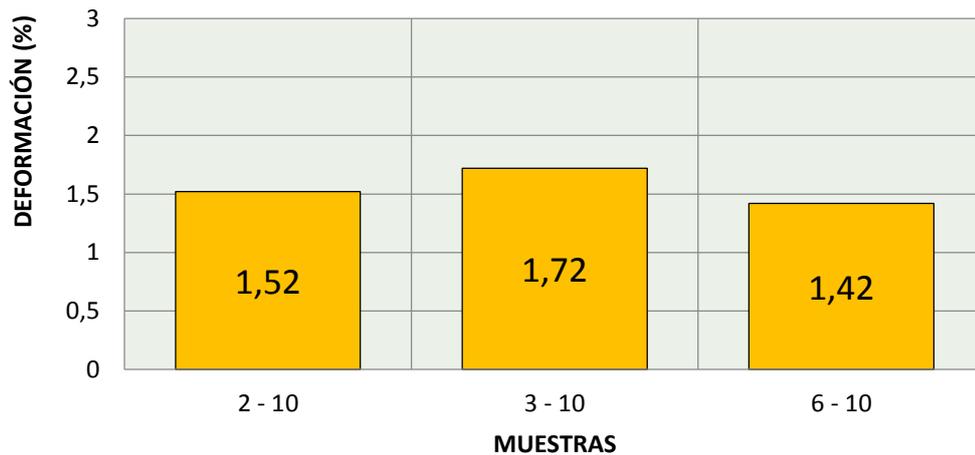


Figura 48. Deformación bajo compresión cíclica uniaxial para la mezcla 30/60/10

MEZCLA 30 / 50 / 20

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	DEFORMACIÓN (%)
1	1 -20	64	102	2.01
2	2 - 20	67	102	1.94
3	3 -20	66	102	1.94

PROMEDIO	1.96
DESV. EST.	0.04
COEF. VARIAC.(%)	2.06

Tabla 20. Deformación por compresión cíclica uniaxial para la mezcla 30/50/20

DEFORMACIÓN BAJO COMPRESIÓN CÍCLICA UNIAXIAL MEZCLA 30 / 50 / 20

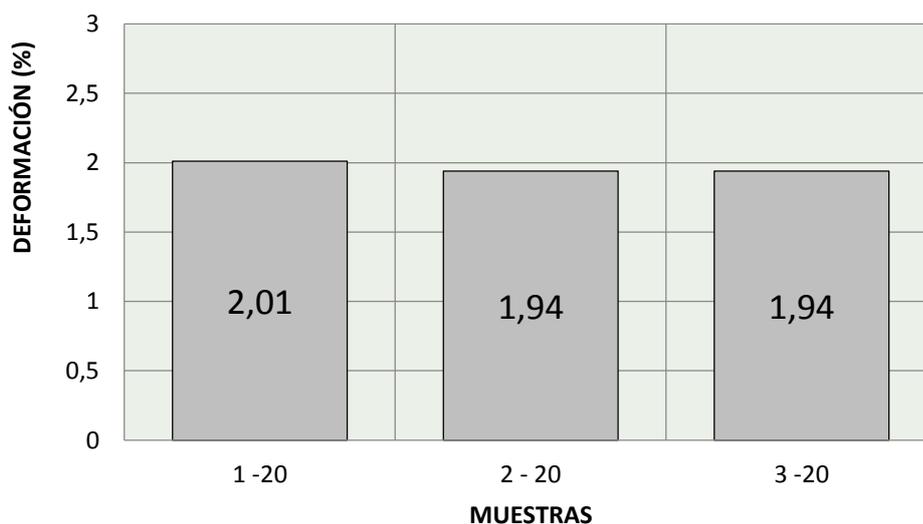


Figura 49. Deformación bajo compresión cíclica uniaxial para la mezcla 30/50/20

En la figura 50 se muestran las variaciones de los promedios de las deformaciones para cada mezcla.

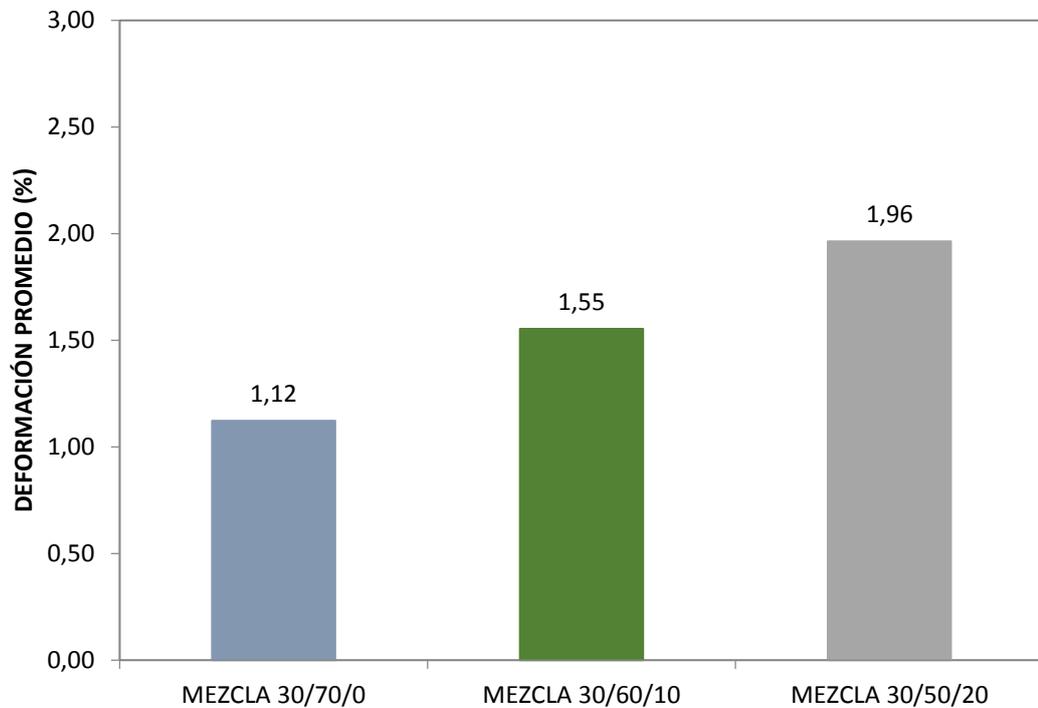


Figura 50. Deformaciones promedios de cada mezcla

5.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN TRIAXIAL

Se calcula de manera similar a la prueba de compresión simple, es decir:

$$R_c = P / A \quad (7)$$

Siendo:

R_c : resistencia a compresión (kPa)

P : carga máxima de rotura a compresión, kN

A : área de la sección circular de la briqueta, m².

En la prueba propiamente se aplican diferentes presiones de confinamiento en la cámara triaxial. Ver Figura 51. Para la determinación de c y ϕ deberá aplicarse el criterio de Mohr-Coulomb, que es un procedimiento gráfico clásico desarrollado para la Mecánica de Suelos, aplicable también en mezclas asfálticas. Las pruebas se realizaron sobre muestras cilíndricas de mezclas asfálticas compactadas en prensa hidráulica de 15 cm de altura y 7,5 cm de diámetro, a una temperatura de 40°C y velocidad de recorrido en la prensa de 0.05 mm/min.mm.



Figura 51. Equipo Marshall

Los resultados obtenidos son:

TEMPERATURA (°C): 40 ÁREA (cm²): 45.60

Mezcla	Pres. cámara (σ_3) kPa	Carga de rotura kN	Esf. Desv. ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa	Esf. Princ. (σ_1) kPa
30 / 70 / 0	0	4.90	1078	1078
	137	5.68	1245	1382
	274	6.28	1382	1656
30 / 60 / 10	0	4.28	941	941
	137	4.92	1078	1215
	274	5.59	1225	1499
30 / 50 / 20	0	3.72	813	813
	137	4.41	970	1107
	274	4.79	1049	1323

Tabla 21. Resultados obtenidos de la prueba de resistencia a la compresión triaxial

MEZCLA	ANGULO DE FRICCION	COHESION (Kpa)
30/70/00	24,2°	350
30/60/10	19,3°	330
30/50/20	15,7°	305

Tabla 22. Resultados que se obtienen dibujando los círculos de Mohr

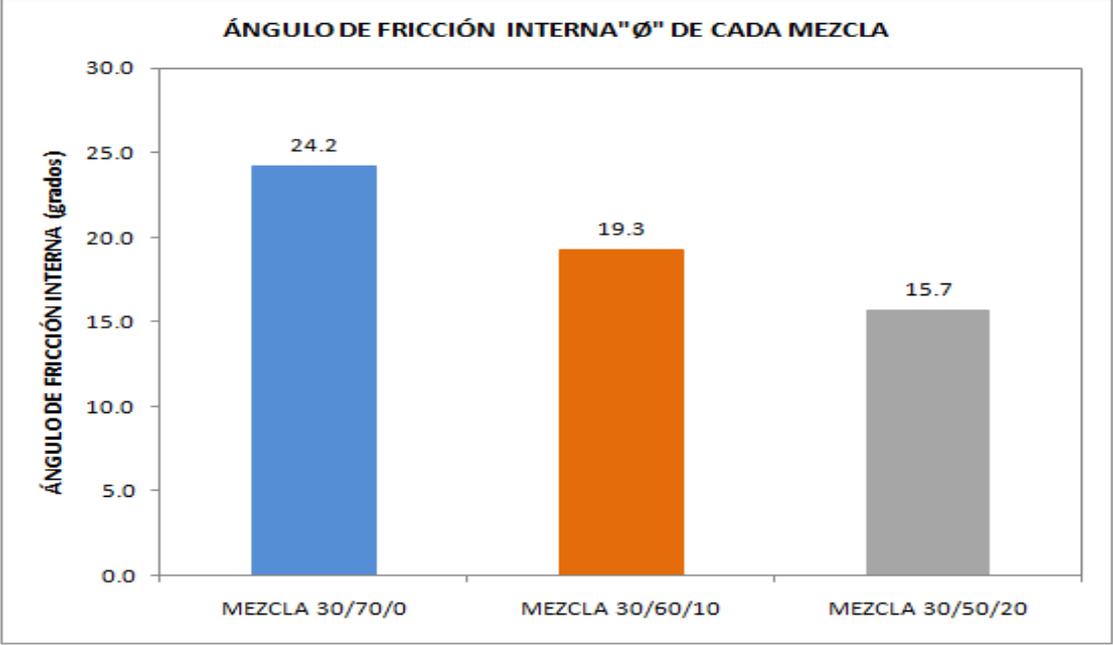


Figura 52. Gráfico de los resultados del ángulo de fricción interna “Ø” de cada mezcla

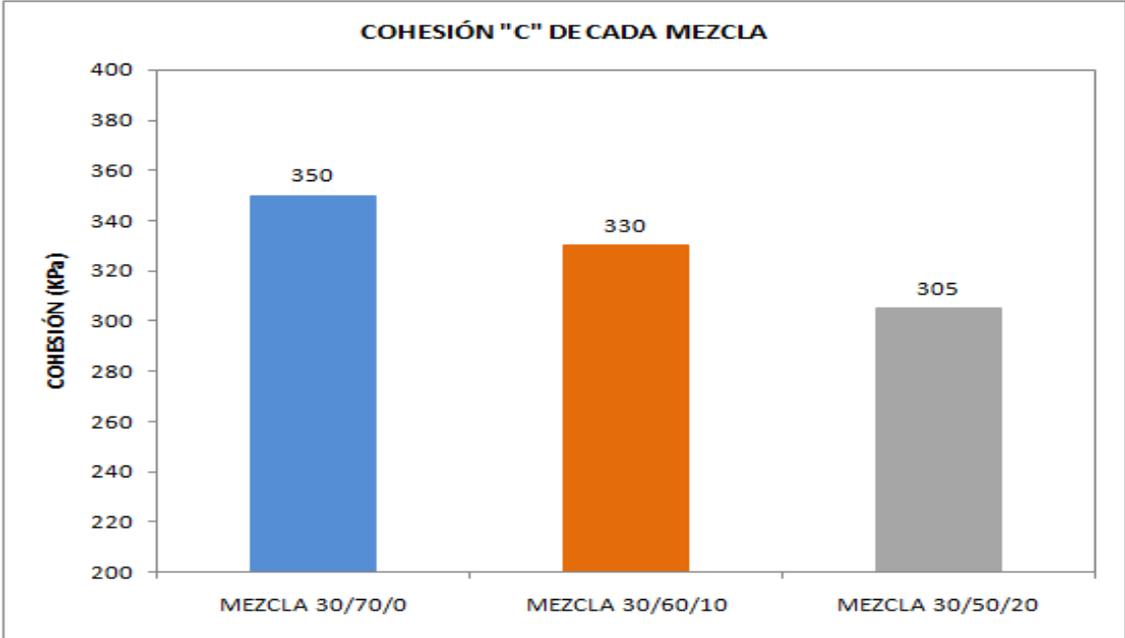


Figura 53. Gráfico de los resultados de la cohesión “C” de cada mezcla

5.5 ESTABILIDAD MARSHALL

Consiste en la rotura de briquetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro y 63,5 mm de altura, mediante la aplicación de una mordaza perimetral que impone una velocidad de deformación constante de 50 mm/min originada en una prensa Marshall. Esta es una prueba común en todos los laboratorios de carreteras. La estabilidad Marshall "EM" se determina por la expresión:

$$EM \text{ (lbs)} = \text{Carga máxima (lbs)} \times \text{factor de corrección}$$

MEZCLA 30 / 70 / 0

MUESTRA	VOLUMEN (cm ²)	LECTURA	F. CORREC.	E M (lbs)	FLUJO (pul/100)
1 - 0	546	420	0,93	2905	13
3 - 0	548	405	0,89	2681	14
4 - 0	516	430	1,00	3198	14

PROMEDIO	2928	13,7
DESV. EST. COEF.	259	0,6
VARIAC.(%)	8,8	4,2

Tabla 23. Datos y resultados de la estabilidad Marshall para la mezcla 30/70/0

Estabilidad Marshall MEZCLA 30 / 70 / 0

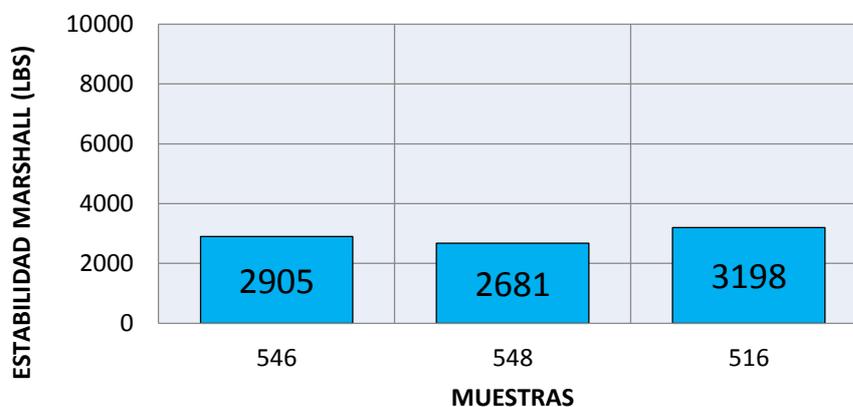


Figura 54. Gráfico de la estabilidad Marshall para la mezcla 30/70/0

MEZCLA 30 / 60 / 10

MUESTRA	VOLUMEN (cm ²)	LECTURA	F. CORREC.	E M (lbs)	FLUJO (pul/100)
1 - 10	523	360	0,96	2572	13
4 - 10	515	370	1,00	2753	13
5 - 10	516	395	1,00	2938	14

PROMEDIO	2754	13,3
DESV. EST.	183	0,6
COEF.		
VARIAC.(%)	6,7	4,3

Tabla 24. Datos y resultados de la estabilidad Marshall para la mezcla 30/60/10

Estabilidad Marshall MEZCLA 30 / 60 / 10

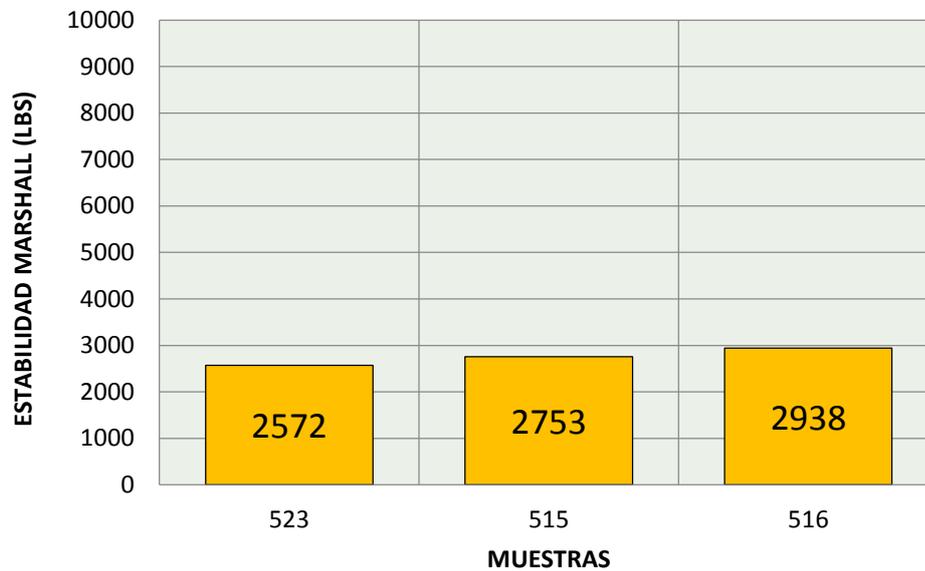


Figura 55. Gráfico de la estabilidad Marshall para la mezcla 30/60/10

MEZCLA 30 / 50 / 20

MUESTRA	VOLUMEN (cm ²)	LECTURA	F. CORREC.	E M (lbs)	FLUJO (pul/100)
4 -20	515	340	1,00	2531	13
5 - 20	528	350	0,96	2501	13
6 -20	548	360	0,89	2384	12

PROMEDIO	2472	12,7
DESV. EST.	77	0,6
COEF.		
VARIAC.(%)	3,1	4,6

Tabla 25. Datos y resultados de la estabilidad Marshall para la mezcla 30/50/20

Estabilidad Marshall MEZCLA 30 / 50 / 20

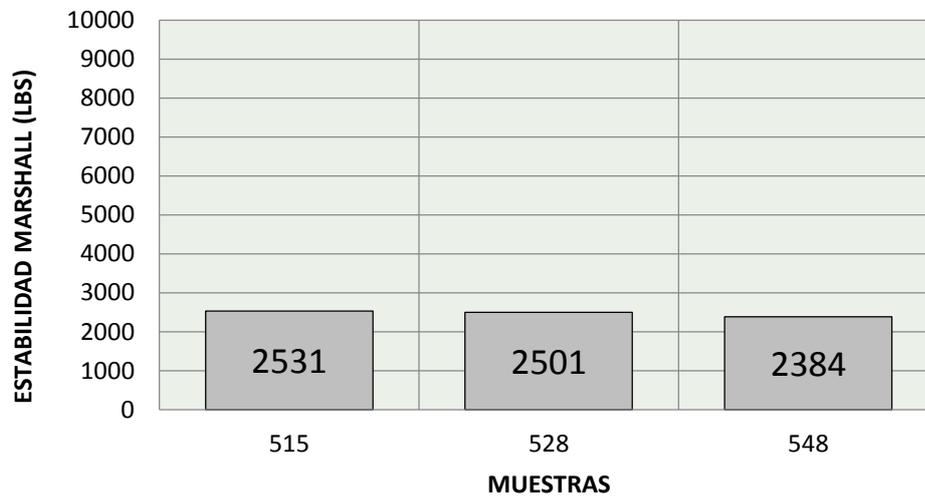


Figura 56. Gráfico de la estabilidad Marshall para la mezcla 30/50/20

En la figura 57 se muestran las variaciones de los promedios de las estabilidades para cada mezcla.

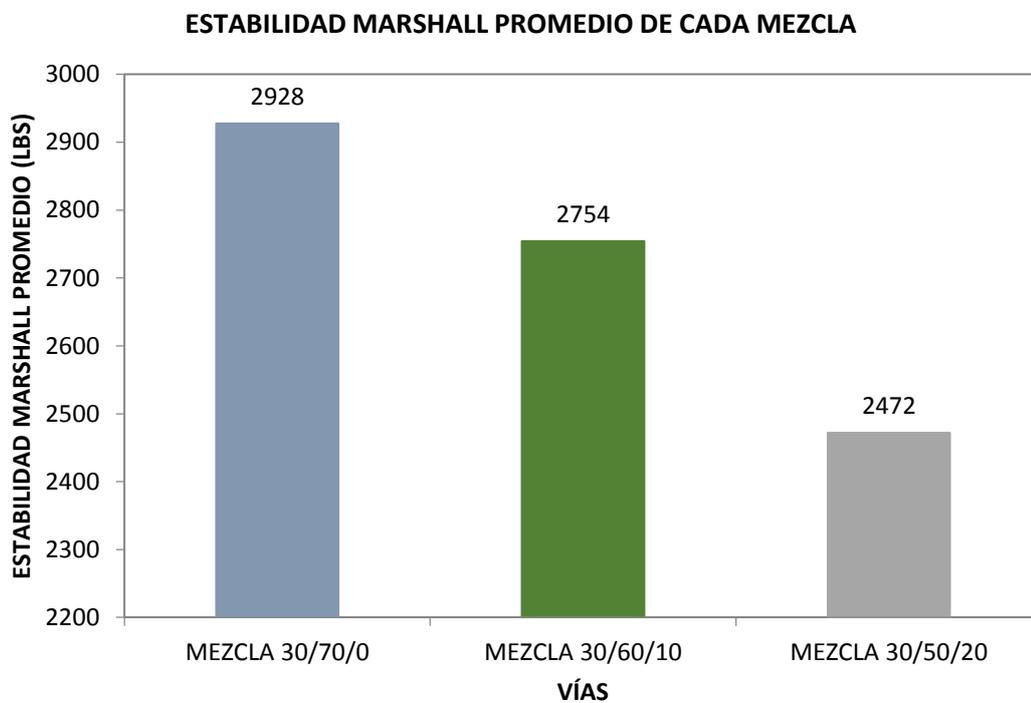


Figura 57. Estabilidad Marshall promedio de cada mezcla

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 MÓDULO DE RIGIDEZ

Como se puede observar en el Figura 46, el módulo de rigidez varía de acuerdo a la cantidad de arena utilizada, esto es, conforme se fue utilizando más cantidad de arena en la mezcla el módulo de rigidez fue disminuyendo, pasando de 3488 MPa en la mezcla 30/70/0, a 3272 MPa en la mezcla 30/60/10 y hasta 2784 MPa en 30/50/20. Se aprecia que el efecto en el módulo de rigidez fue mucho más notable entre 10% y 20% de arena.

Un valor de diseño usual de 3200 MPa empleado para el diseño de pavimentos en el Ecuador (AASHTO, 1993) pudiera cumplirse para este tipo de mezcla y de acuerdo a estos resultados con un contenido de arena aproximado de hasta 10%.

6.2 DEFORMACIÓN BAJO COMPRESIÓN CICLICA UNIAXIAL

Se obtuvo de acuerdo a la Figura 50, que en la medida que se incrementa el porcentaje de arena en las mezclas aumentaron las deformaciones en un 0,40% aproximadamente, variando de una deformación de 1,12% en la mezcla con 0% de arena, a 1,55% en la mezcla con 10% y por último a una deformación del 1,96% con 20%.

Según el criterio británico (Cooper, 2002) para las condiciones de ensayo empleadas una mezcla con un buen comportamiento ante las deformaciones plásticas debe tener porcentajes de deformación por debajo de 1%. Este criterio fue corroborado recientemente en un estudio realizado en la UCSG (Vila, 2013) comparando mediciones en la vía con pruebas creep sobre núcleos. Comparando este criterio con los resultados obtenidos puede apreciarse que las mezclas en ningún caso cumplirían.

6.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL

Los resultados obtenidos (ver Tabla 22) indican una fuerte incidencia del contenido de arena respecto al ángulo de fricción interna " ϕ ", disminuyendo este en la medida que aumenta dicho contenido. Variar de 0% a 20% la arena en la mezcla implicó una disminución del 35% del valor de ϕ inicial.

Respecto a la cohesión también se detectó una disminución con relación al aumento de la arena, pero en una proporción mucho menor a la correspondiente a la fricción.

Para temperaturas entre 40 y 60 °C los valores típicos de cohesión en las mezclas asfálticas convencionales están en el rango de 35 a 245 kPa, encontrándose los valores de fricción entre 35 y 48° (Kaloush et al, 2002). Puede verse que incluso para 0% de arena el valor de fricción obtenido (24,2°) es bajo, siendo por el contrario la cohesión obtenida alta.

6.4 ESTABILIDAD MARSHALL

Puede apreciarse en la Figura 57, que la estabilidad Marshall guarda una buena correlación con el contenido de arena, es decir, la estabilidad Marshall disminuye conforme aumenta dicho contenido, variando entre 2928 libras para la mezcla con 0% de arena hasta 2472 libras para 20%. Llama la atención que una mezcla con 20% de arena aún cumpliría la exigencia de alcanzar una estabilidad por encima de 1800 libras (MTOP, 2002) cuando las restantes propiedades evaluadas dejan mucho que desear.

No se consideró en el análisis los resultados del flujo ya que su variación no tuvo una secuencia lógica razonable.

CONCLUSIONES

- El módulo de rigidez es una propiedad sensible al contenido de arena en una mezcla asfáltica, disminuyendo en la medida que aumenta la cantidad de arena. Para el caso de la mezcla estudiada, el valor usual de 3200 MPa empleado para el diseño de pavimentos en el Ecuador solo pudiera cumplirse con un contenido de arena máximo aproximado de 10%, algo llamativo para nuestro país, donde dichos contenidos pueden llegar fácilmente hasta 20%.
- Las deformaciones bajo compresión cíclica uniaxial tienden a aumentar significativamente con el porcentaje de arena en la mezcla. Tomando como referencia el valor de 1% como límite máximo para un buen comportamiento ante las deformaciones, se observa que ni la mezcla inicial con 0% de arena cumpliría.
- El ángulo de fricción interna “ \emptyset ” disminuye en tanto se aumenta la cantidad de arena en la mezcla, originando la variación entre 0 y 20 % de arena una disminución del 35% del valor de \emptyset . En realidad más interesante que esta variación es el hecho de que todos los valores de \emptyset son muy bajos, incluso para 0% de arena, lo que guarda relación con los resultados obtenidos en las pruebas de compresión cíclica uniaxial.
- La estabilidad Marshall guarda una buena correlación con el contenido de arena, es decir, la estabilidad Marshall disminuye conforme aumenta dicho contenido en las mezclas, sin embargo, los valores exigidos de estabilidad en los diseños, mayores a 1800 libras, se cumplirían holgadamente en todos los porcentajes analizados, incluso para 20%.

RECOMENDACIONES

- Se hace necesario en el país el empleo de pruebas adicionales a las establecidas por el Método Marshall para la evaluación de las deformaciones como la prueba de compresión cíclica uniaxial.
- Estudiar con mayor detenimiento la posibilidad de utilizar pruebas triaxiales para el diseño de mezclas asfálticas porque permitirían evaluar de manera separada el efecto de la fricción interna de los agregados minerales con el efecto de la cohesión del cemento asfáltico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials:
AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures. U.S.A.,
page II-17, 1993.
- American Society for Testing and Materials: Designation: D1559-89 Test
Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures
Using Marshall Apparatus. U.S.A., 2001.
- American Society for Testing and Materials: Designation: D-3381 – 92.
Standard specification for viscosity-graded asphalt cement for use
in pavement construction. Annual Book of ASTM Standards.
Section Four. Volume 04.03. U.S.A., 308-309, 2001.
- Andaluz, A.X. (2013). Estudio de mezclas asfálticas colocadas en vías de
la región costa del Ecuador mediante pruebas de desempeño.
Trabajo de Titulación. Facultad de Ingeniería. U.C.S.G.
- Asphalt Institute. Mix design methods for asphalt concrete. MS-2. Sixth
Edition. 2002.
- Brown, S. F. & Pell, P.S. (1974). Repeated Loading of Bituminous
Materials. CAPSA 74, National Institute for Road Research,
Republic of South Africa, Durban.

Committee European of Normalization – CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts – Part 25: Cyclic compression test. Part A. 2000.

Committee European of Normalization – CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts – Part 26: Stiffness. Annex C. 2000.

Cooper Research Technology Limited. NU-10 & NU- 5. Operation & Maintenance Manual. United Kingdom, 2002.

Eisenmann, J. & Hilmer, A. (1987). Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt-Pavements – Experiments and Theoretical Investigations. In: Proceedings, Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol.I, Ann Arbor, 392-403.

Kaloush, K., Witczak, M., Way G. (2002). Performance evaluation of Arizona asphalt rubber mixtures using advanced dynamic material characterization test. Final Report. Arizona State University.

Kraemer, C.; Del Val, M. A. (1993). *Firmes y Pavimentos*. Universidad Politécnica de Madrid.

Linden, F. & Van der Heide, J. (1987). Some Aspects of the Compaction of Asphalt Mixes and its Influence on Mix Properties. In: Proceedings, The Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 56, 408-426.

- Mahboub, K. & Little, D.N. (1988). Improved Asphalt Concrete Design Procedure. Research Report 474-1F, Texas Transportation Institute.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras y Puentes. MOPT-001-F, Quito - Ecuador, 2002.
- Monismith, C. L., Epps, J. A. & Finn, F.N. (1985). Improved Asphalt Mix Design. *Journal of Asphalt Paving Technologists*, 54, 347-391.
- Rondón, H.A.; Reyes, F.A.; González; L.A.; Vázquez S. E. (2012). *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas*. Bogotá – Colombia: Editorial UD. Primera Edición, pp 31 - 53.
- Sivapatham, P. & Beckedahl, H. J. (2006). Influence of the Compaction Degree of Asphalt on Rutting and Stiffness: Comparison between Conventional and Innovative Asphalt. *Airfield and Highway Pavement: Meeting Today's Challenges with Emerging Technologies Proceedings of 2006 Airfield and Highway Pavements Specialty Conference*, 486-497.
- Uge, P. & Van de Loo, P. J. (1974). Permanent Deformation of Asphalt Mixes. Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam, November 1974.
- Vila, R. (2013). Deformaciones plásticas en la capa asfáltica de una vía principal en la región costa del Ecuador. XVII CILA. Antigua. Guatemala. 2013.