

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Tesis de Grado

Previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

Tema:

**Comparación del comportamiento mecánico de
mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente.**

Realizado por:

MARÍA LORENA GARCÍA CUCALÓN

Director:

ING. PAOLA CARVAJAL AYALA.

Guayaquil – Ecuador

2010

TESIS DE GRADO

Tema:

**Comparación del comportamiento mecánico de
mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente.**

**Presentado a la facultad de ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil de la
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.**

Por:

MARÍA LORENA GARCÍA CUCALÓN

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar

Por el título de:

INGENIERO CIVIL

Tribunal de sustentación

**Ing. Paola Carvajal Ayala. M.Sc.
Director de Trabajo de Grado.**

Ing. Claudio Luque Rivas. M.Sc.

PROFESOR INVITADO

Ing. Federico Von Buchwald de Janon. M.Sc

PROFESOR INVITADO

**Dr. Ing. Walter Mera Ortiz.
DECANO DE LA FACULTAD**

**Ing. Lilia Valarezo de Pareja. M.Sc.
DIRECTORA DE LA ESCUELA**

DEDICATORIA

Para todos mis seres queridos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi familia por la fuerza que me han dado a lo largo de la carrera, a mis amigos, profesores y compañeros por el apoyo incondicional, las horas de estudio y de trabajo que me han acompañado a explorar el camino de la ciencia.

Agradezco también a las instituciones que han hecho posible esta investigación por facilitarme sus laboratorios e insumos para trabajar en esta tesis de grado, La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la compañía constructora Concreto y Prefabricados y la planta de emulsiones asfálticas EMULPAC.



ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.....	9
1.2. Objetivos.....	11
1.2.1. Objetivo General.....	11
1.2.2. Objetivos Específicos.....	11
1.3. Alcance.....	12

CAPÍTULO II MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. Tipos de Mezclas Asfálticas según su Temperatura de Aplicación.....	14
2.1.1. Mezclas Calientes.....	15
2.1.2. Mezclas Frías.....	16
2.1.3. Mezclas Tibias.....	17
2.2. Diseño y Control de Calidad.....	18
2.2.1. Método Marshall.....	18
2.2.2. Superpave.....	20



CAPÍTULO III

EL LIGANTE EN LA MEZCLA ASFALTICA

3.1. Generalidades.....	23
3.2. Composición Química.....	24
3.3. Comportamiento del Ligante Asfáltico.....	26
3.4. Envejecimiento.....	29
3.5. Asfalto Ecuatoriano.....	32
3.5.1. Características Generales.....	32
3.5.2. Envejecimiento del Asfalto Ecuatoriano	33

CAPÍTULO IV

NUEVAS TECNOLOGÍAS

4.1. Modificadores del Asfalto.....	37
4.1.1. Polímeros.....	38
4.1.2. Caucho de Llantas.....	38
4.1.3. Agentes Rejuvenecedores y Mejoradores de Adherencia.....	39
4.1.4. Aditivos de Mezclas Tibias	39
4.2. Nuevas Tecnologías de Mantenimiento.....	41
4.2.1. Reciclado.....	41
4.2.2. Micropavimentos.....	42



CAPÍTULO V

MEZCLAS TIBIAS:

ELABORACION DE BRIQUETAS Y METODOLOGIAS DE ENSAYO

5.1. Diseño de Mezcla de la Compañía Concreto y Prefabricados.....	44
5.2. Selección de Temperaturas de Mezcla y Compactación.....	60
5.2.1. Cobertura del Ligante Asfáltico Sobre el Agregado.....	60
5.2.2. Densidad y Vacíos en las Briquetas.....	61
5.2.3. Módulos a 20 y 40 °C.....	62
5.2.4. Temperaturas de Compactación Escogidas.....	66
5.3. Ensayos al Ligante Modificado con Aditivos de Mezclas Tibias.....	66
5.4. Proceso de Elaboración de Briquetas.....	74
5.4.1. Agregados y Asfalto.....	74
5.4.2. Mezcla y Reposo en Horno.....	75
5.4.3. Compactación Marshall.....	76

CAPÍTULO VI

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

6.1. Medición de Densidades.....	79
6.2. Medición de Módulos.....	81
6.3. Estabilidad Marshall.....	83
6.4. Tracción Indirecta	



CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones.....	89
8.2. Recomendaciones.....	91



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Desde principios de 1800, en Francia, se empezó a utilizar para pisos, puentes y aceras la denominada piedra asfáltica. Luego en Londres, John McAdam empezó a construir pavimentos con piedras compactadas, friccionadas entre sí; esto llegó a tener un gran impacto en el desarrollo de la vialidad. Para el año 1869, se colocó el primer pavimento asfáltico compactado en Londres. Hasta finales de 1800s ya se había esparcido esta nueva tecnología por Europa y Estados Unidos.



A partir de la creación del Instituto del Asfalto en 1919 y unos años más tarde de la AASHTO, no han frenado las investigaciones sobre el Asfalto, su química y mecánica, cómo diseñarlo, lograr durabilidad y economía, etc. Son miles las preguntas que ya se han respondido pero aún falta mucho por avanzar en esta área de la ingeniería, que respecto a las demás es una de las más nuevas. Es importante recalcar que el desarrollo de la vialidad en general, se da únicamente por el desarrollo de los vehículos a motor y por el crecimiento de los mismos, mayor carga es un mayor requerimiento para la estructura de un pavimento.

El experimento vial de AASHTO fue el primer método formal de diseño para la estructura de un pavimento. Este se basó únicamente en encuestas realizadas al conductor, sobre el estado de una pista de prueba que se hizo con varios tramos de pavimentos de diferentes estructuras. Es un método netamente empírico, pero demostró ser efectivo y aún se diseña con esta metodología, por supuesto, con nuevos aportes que las investigaciones proporcionan.

Actualmente está en desarrollo el método Superpave, que busca ser totalmente mecanicista para mayor exactitud y eficiencia en los diseños. Ya hay una metodología de diseño Superpave que actualmente es Empírico-Mecanicista, es decir, una combinación entre datos proporcionados por la prueba y erros y otros datos proporcionados por las características mecánicas de los materiales y el análisis estructural de los esfuerzos en el pavimento.

En busca de nuevas tecnologías que sustituyan para ciertas ocasiones a las mezclas asfálticas calientes se desarrollaron las mezclas frías, luego se vio la necesidad de que una mezcla de reducidas temperaturas tenga mayores aplicaciones. Dentro de las mezclas frías existen muchas



aplicaciones de gran utilidad, pero no hay ningún procedimiento que reemplace para las especificaciones más exigentes a una mezcla caliente.

De esta necesidad de trabajar a menores temperaturas se desarrollaron los diversos tipos de mezclas tibias que existen actualmente y se ha demostrado que se obtienen grandes ventajas por facilidad de trabajo y reducción de la contaminación ambiental.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar, bajo las condiciones de agregados y asfalto ecuatorianos, la aplicabilidad de las mezclas asfálticas tibias que utilizan aditivos a base de ceras para reducir las temperaturas de mezcla y compactación.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar temperaturas de mezcla y compactación para trabajar con los aditivos Sasobit y Rediset, con agregados y asfalto nacionales.
- Comparar el comportamiento mecánico de las mezclas tibias contra el de las mezclas calientes actualmente utilizadas en el país.
- Determinar el cambio producido en el ligante asfáltico por la adhesión de los aditivos mencionados.
- Plantear los beneficios y problemas que se pudieran presentar para trabajar con mezclas asfálticas tibias en nuestro medio.



1.3. Alcance

Definir aplicación y cuidados a tenerse con el uso de mezclas tibias en el Ecuador, recomendaciones técnicas, etc.

Promover la investigación que refiera a la aplicación de tecnologías amigables para el medio ambiente.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS



CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. Tipos de Mezclas Asfálticas según su Temperatura de Aplicación

La viscosidad de un líquido depende de su temperatura, para lograr que el agregado sea cubierto por una película de asfalto, el betún debe tener una viscosidad que se lo permita, por esta razón hay distintas formas de aplicación y mezcla para trabajar con materiales bituminosos, y finalmente lo que se busca es una temperatura con la cual la viscosidad del ligante permita trabajabilidad en la mezcla.



Para reducir temperaturas de trabajo, se han desarrollado técnicas como la de emulsificar los asfaltos o diluirlos en combustibles, así como también espumar los asfaltos o modificarlos con ceras para los cambios de viscosidad deseados.

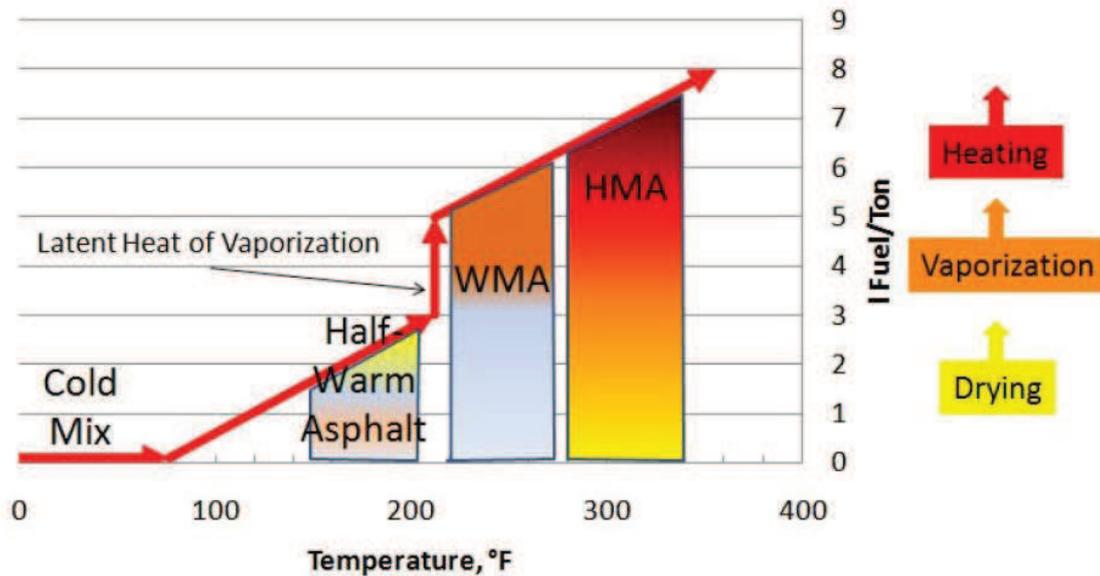


Fig. 1

Este cuadro ilustra las temperaturas de trabajo de los diferentes tipos de mezclas asfálticas.¹

2.1.1. Mezclas Calientes

Se denomina mezcla asfáltica caliente, a la tradicional mezcla de agregados y bitumen que para garantizar un recubrimiento y luego compactación adecuados, se eleva a altas temperaturas, siendo así la temperatura de mezcla de aproximadamente 160 °C y la temperatura de compactación 130°C.

Este fue el primer tipo de mezcla asfáltica en desarrollarse, ser trabajada y ser regularizada por normas internacionales. Y también es la predominante, la mayoría de los proyectos de construcción de vías de mezcla asfáltica en el mundo son construidos con mezcla caliente.

¹ Fig. 1. Presentación, Warm mix Asphalt: Best Practices, NAPA 53er Annual Meeting.



A pesar de estar muy desarrollada la tecnología de mezcla, pavimentación y compactación en la mezcla, sigue siendo un proceso tedioso el de recorrer grandes distancias con la mezcla para llevarla a la obra, controlar que no baje la temperatura para asegurar una buena compactación, e incluso movilizar la planta de asfalto cuando un proyecto fuera de la ciudad así lo requiere. De estas incomodidades nace la idea de cada vez más hacer mezclas que requieran menor temperatura de trabajo para que sean más trabajables y también menos peligrosas para los que están constantemente expuestos a estas mezclas.

2.1.2. Mezclas Frías

Las mezclas frías, como su nombre lo indica, se desarrollaron para poder trabajar con el asfalto a temperaturas bajas, inferiores a los 60 °C, casi siempre a temperatura ambiente. Para lograr recubrimiento del ligante sobre los agregados a tan bajas temperaturas, se trabaja con diluidos o con emulsiones asfálticas.

En general, las mezclas frías no han logrado reemplazar a las calientes, únicamente son una solución para los casos donde la mezcla caliente no es viable económicamente o también puede ser una base estabilizada o un mantenimiento preventivo para evitar el daño de la carpeta que fue colocada como mezcla caliente.

Actualmente las mezclas con diluidos asfálticos están siendo totalmente desplazadas por el uso de la emulsión asfáltica, ya que es una solución técnica y ambientalmente mejor. La emulsión también tiene la ventaja de que puede ser diseñada específicamente para un proyecto considerando mejor adherencia entre el asfalto y el agregado, tiempo de ruptura, tiempo de apertura al tráfico, etc.

La maquinaria para trabajar con mezclas frías no es igual a la que se utiliza para mezclas calientes, ya que no es lo mismo inyectar emulsión asfáltica, que es un líquido poco viscoso, que inyectar asfalto líquido.



2.1.3. Mezclas Tibias

Las mezclas asfálticas tibias son mezclas calientes en las cuales, mediante aditivos o agua, se cambian ciertas propiedades físicas del asfalto permitiendo que este se mezcle y compacte a temperaturas inferiores a las de las mezclas calientes.

Actualmente se habla de que con mezclas tibias se puede reducir la temperatura en unos 30 a 60 grados Celsius, según el aditivo a utilizarse. Los productos para mezclas tibias son en general aditivos químicos u orgánicos que además de las características mecánicas, pueden alterar la química del ligante asfáltico.

Se dice que el asfalto espumante no altera la química del asfalto ya que consiste únicamente en la aplicación de agua inyectada en la línea de asfalto que produce burbujas de aire en medio del asfalto, dejándolo espumado y fácil de mezclarse con los agregados. Es el de aplicación más económica, pero el más complicado de probar en laboratorio y es muy difícil determinar el tiempo que permanecerá espumosa la mezcla como para permitir la compactación. Se sabe también que no todos los asfaltos permiten espumarse por lo que es importante probar los tiempos en laboratorio.

Siendo el asfalto diferente en todo el mundo por su composición química según el crudo del que se obtiene, los aditivos para mezclas tibias son muy variados y pueden obtenerse diferentes resultados según el asfalto con el que se mezclen.

En cuanto a granulometrías y contenido óptimo de asfalto, las mezclas tibias se diseñan bajo los mismos métodos y criterios que una mezcla caliente tradicional. El criterio cambia en cuanto a la selección de temperaturas de mezcla y compactación.

Si se usara el método superpave, el ligante debe ser analizado para conocer si se ha producido un cambio en su grado PG debido a la modificación que produce el aditivo de mezcla tibia.



Una ventaja de las mezclas tibias es poder utilizar sin modificar, las máquinas que se utilizan para trabajar con mezcla caliente, de esta manera es muy sencillo para un construcción considerar la opción de probar esta tecnología innovadora.

2.2. Diseño y Control de Calidad

2.2.1. Método Marshall

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abcisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.²

² Documentos digitales de Consulta, IMT Querétaro. 1. Método Marshall.



Tabla 1.
Graduaciones propuestas para mezclas cerradas (ASTM D3515)

Abertura de malla	Mezclas cerradas									
	2 in (50 mm)	1 ½ in (37,5 mm)	1 in (25,0 mm)	¾ in (19,0 mm)	½ in (12,5 mm)	3/8 in (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)	
	Tamaño máximo nominal del agregado									
	Graduaciones para mezclas de agregados (grueso, fino y filler)									
2 ½ in. (63mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in. (50mm)	90 – 100	100	...	...	...	...	...	...	...	...
1 ½ (37,5mm)	...	90 – 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1 in. (25,0 mm)	60 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...	...	...	...
¾ in. (19,0mm)	...	56 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...	...	...
½ in. (12,5mm)	35 – 65	...	56 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...	...
3/8 in. (9,5mm)	...	...	...	56 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...
No. 4 (4,75mm)	17 – 47	23 – 53	29 – 59	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100	...	100	...
No. 8 (2,36mm)	10 – 36	15 – 41	19 – 45	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100	...	95 – 100	...
No. 16 (1,18mm)	...	...	...	...	...	...	40 – 80	...	85 – 100	...
No. 30 (600 µm)	...	...	...	...	...	...	35 – 65	...	70 – 95	...
No. 50 (300 µm)	3 – 15	4 – 16	5 – 17	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40	...	45 – 75	...
No. 100 (150 µm)	...	...	...	...	...	...	3 – 20	...	20 – 40	...
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	...	9 - 20	...
	Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12	8 - 12



La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas:

- Determinación de la gravedad específica
- Prueba de estabilidad y flujo
- Análisis de densidad y vacíos

2.2.2. Superpave

Iniciando el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement). Representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral, desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento. Incluye una especificación para cementos asfálticos, un diseño y sistema de análisis de mezclas asfálticas en caliente y un software para computadora que integra los componentes del sistema. Las especificaciones del cemento y el sistema de diseño del Superpave incluyen varios equipos y métodos de pruebas, junto con criterios para los mismos.

Grado PG Para Clasificar el Ligante

El comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. El Grado PG permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil. Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos veintidós (-22) grados Celsius. Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de seis (6) grados. Sin embargo, generalmente las temperaturas máximas se consideran de sesenta y cuatro (64) a ochenta y ocho (88) grados Celsius y las mínimas, de menos cuarenta (-40) a menos veintidós (-22) grados Celsius. Los grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registran en un el país.³

³ Norma SCT. Libro, Características de los Materiales, Capítulo 004. Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO III

EL LIGANTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA



CAPÍTULO III

EL LIGANTE EN LA MEZCLA ASFALTICA

3.1. Generalidades

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o bien para estabilizar bases o subbases. También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.



Siendo un material visco-elasto-plástico, el asfalto, a diversas temperaturas tiene diferentes comportamientos. Al momento de la mezcla del asfalto con el agregado, este debe estar a muy altas temperaturas para asegurar el comportamiento de un líquido viscoso fácil de entrelazar con el agregado; formando una muy delgada capa de recubrimiento asfáltico sobre cada partícula de material granular y así asegurar la cohesión que deberá existir en la mezcla compactada.

En el campo, el asfalto tendrá un comportamiento elasto-plástico, de manera que el pavimento, por ser flexible, es capaz de deformarse con la aplicación de una carga y regresar a su posición original luego de esta ser retirada. A veces, en temperaturas muy elevadas, el ligante alcanza su punto de ablandamiento y aún en campo tiene un comportamiento algo viscoso.

3.2. Composición química

Los cementos asfálticos están constituidos fundamentalmente por una mezcla de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos, aunque contienen también pequeñas proporciones de azufre, oxígeno y nitrógeno, así como trazas de algunos metales pesados, aunque estos últimos apenas tienen influencia sobre su comportamiento y propiedades. La presencia de átomos de azufre, oxígeno y nitrógeno en sus moléculas, bien en forma de heteroátomos o de agrupamientos polares, indica la existencia de estructuras condensadas muy complejas de elevado peso molecular.

Sin entrar en la descripción de los numerosos métodos de fraccionamiento existentes, así como en las técnicas de caracterización de las fracciones obtenidas, señalaremos que la mayoría de los procedimientos existentes hacen una primera separación de los betunes asfálticos, mediante precipitación con hidrocarburos saturados de bajo peso molecular (pentano o heptano). A la fracción soluble se le denomina “maltenos” y a la insoluble, “asfaltenos”.



Los asfaltenos están constituidos fundamentalmente por hidrocarburos aromáticos fuertemente condensados, con presencia relativamente alta de heteroátomos, encontrándose ciclos tiofénicos y piridínicos en su estructura, lo que les confiere elevada polaridad. Son los componentes de mayor peso molecular y su valor depende del origen del crudo de partida y del proceso de fabricación; su peso molecular medio suele estar comprendido entre 1.000 y 10.000.

Estos compuestos tienen una notable influencia sobre las características adhesivas y aglomerantes de los betunes asfálticos y juegan un papel determinante sobre su comportamiento reológico, como se verá más adelante.

Los maltenos a su vez se separan en varias fracciones más homogéneas para determinar su composición química. Los métodos empleados para esta separación son muy diferentes, siendo uno de los más clásicos, el de Hubbard y Stanfield, que separa los maltenos en dos fracciones mediante absorción con alumina y posterior elusión. Los componentes más saturados, denominados “aceites”, son eluidos con pentano; mientras que los compuestos más aromáticos y polares, denominados “resinas”, son eluidos con una mezcla de benceno y metanol. Aunque existen métodos para fraccionar los maltenos mucho más selectivos y complejos, se ha descrito este método más simple, porque las fracciones obtenidas sirven de base para interpretar la estructura coloidal de los betunes, y permiten relacionar su composición química con sus propiedades reológicas.

Los aceites son solubles, generalmente, en todos los disolventes orgánicos. Tienen una estructura preponderantemente nafteno-aromática, aunque dependiendo del crudo de procedencia pueden ser de naturaleza más parafínica o más aromática. Son los constituyentes de los betunes de menor peso molecular, y representan entre el 40 y el 60% en peso del betún asfáltico.



*Las resinas tienen un carácter más aromático que los aceites, y presentan un gran número de estructuras aromáticas policondensadas, heteroátomos y algunos grupos funcionales con nitrógeno, oxígeno y azufre. Sus pesos moleculares medios son más altos que los de los aceites y la presencia de heteroátomos en sus moléculas les confieren también una mayor polaridad. Estos compuestos son muy susceptibles a la temperatura, presentando un comportamiento vítreo a bajas temperaturas.*⁴

3.3 Comportamiento del ligante asfáltico

El ligante asfáltico tiene tres características importantes en el desempeño de la mezcla asfáltica: susceptibilidad a la temperatura, visco elasticidad y envejecimiento.

El cemento asfáltico es un material visco elástico, debido a que simultáneamente muestra las características: viscosidad y elasticidad. Para altas temperaturas ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), el cemento asfáltico actúa casi enteramente como un fluido viscoso. A temperaturas muy bajas ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), se comporta mayormente como un sólido elástico.

Para temperaturas intermedias se ha encontrado que en la mayoría de los sistemas de pavimentos, el cemento asfáltico tiene ambas características: fluido viscoso y sólido elástico.

Debido a su naturaleza visco elástica, el comportamiento del ligante asfáltico depende tanto de la temperatura como del porcentaje de carga. En la Figura 2. Se puede observar que el flujo del asfalto puede ser el mismo para una hora a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 10 h a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con esto el efecto del tiempo y de la temperatura se encuentra relacionado; el comportamiento a alta temperatura en un período corto de tiempo, equivale a uno con baja temperatura pero con una duración más larga.

⁴ Dr. Rolando Vila. Curso Internacional de Pavimentos. Guayaquil. Noviembre del 2007. CEMENTOS ASFÁLTICOS. GENERALIDADES. PROPIEDADES. EXIGENCIAS.

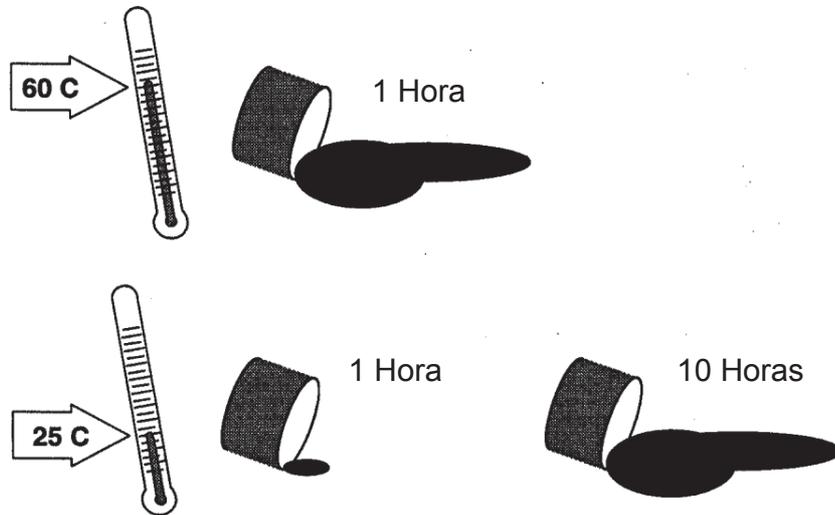


Fig. 2 Comportamiento del ligante asfáltico⁵

Comportamiento a altas temperaturas

A altas temperaturas (desiertos), o bajo cargas sostenidas (camiones a bajas velocidades), el cemento asfáltico actúa como un líquido viscoso y fluye. La viscosidad es la característica que describe la resistencia de los líquidos a fluir. Si pudiera observarse con un poderoso microscopio, un líquido como el asfalto fluir lentamente, se vería el movimiento relativo de las capas adyacentes del líquido, quizá del espesor de una molécula.

⁵ Documentos de Consulta IMT. Antecedentes de la Metodología Superpave.

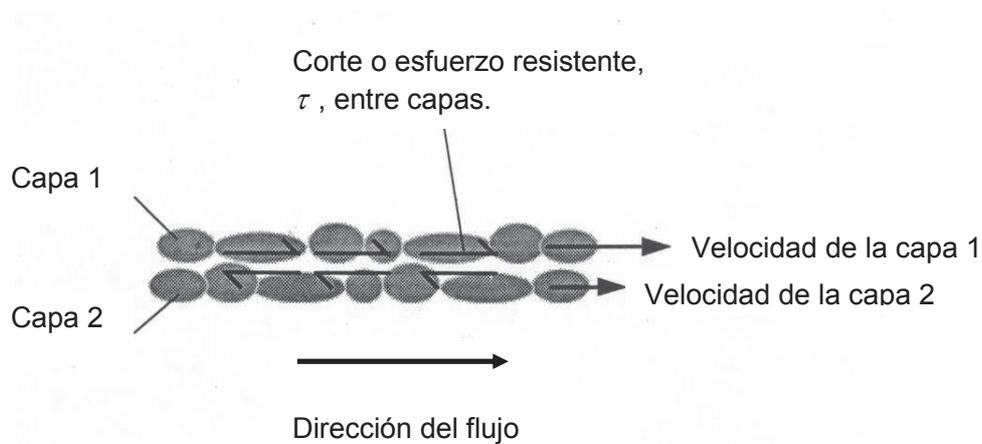


Fig. 3 Comportamiento del Ligante Asfáltico a Altas Temperaturas ⁶

La fuerza de fricción, o resistente, entre estas capas depende de la velocidad relativa a la que se desliza una sobre otra. La fuerza resistente entre las capas se debe a que fluyen a velocidades ligeramente diferentes. La capa superior trata de arrastrar a la inferior, mientras que esta última trata de frenar a aquélla. La relación entre la fuerza resistente y la velocidad relativa puede ser muy diferente en la mayoría de los líquidos.

Líquidos viscosos como el asfalto caliente son a veces llamados plásticos, porque una vez que comienzan a fluir no regresan a su posición original. Por esto, en climas cálidos algunos pavimentos asfálticos fluyen bajo cargas repetidas y forman roderas. Sin embargo, las roderas de los pavimentos asfálticos en climas cálidos son también influidas por las propiedades de los agregados y es probablemente más correcto decir que es la *mezcla asfáltica* la que tiene un comportamiento plástico.

⁶ Documentos de Consulta IMT. Antecedentes de la Metodología Superpave.



Comportamiento a baja temperatura

El asfalto se comporta a baja temperatura (en los días fríos de invierno), o bajo cargas repetidas (camiones a alta velocidad), como un sólido elástico, o sea como bandas de goma que se deforman al ser cargados y retornan a su forma original al ser descargados. La deformación elástica se recobra completamente (Figura 2.3).

Si se aplica una carga excesiva, el sólido elástico puede romperse. Aunque el asfalto es un sólido elástico a baja temperatura, puede volverse demasiado frágil y agrietarse bajo carga excesiva. Por esto el agrietamiento a baja temperatura (low temperature cracking) a veces ocurre en pavimentos asfálticos en climas fríos. En tales casos las “cargas” se deben a esfuerzos internos que se desarrollan en el pavimento cuando el proceso de contracción se restringe (por ejemplo, durante y después de una rápida caída de la temperatura).

3.4. Envejecimiento

Existe otra característica especial de los asfaltos. Debido a que los componen moléculas orgánicas, reaccionan con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se llama oxidación y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto; puede provocar que se haga más duro o frágil, dando origen al término “endurecimiento por oxidación” o “endurecimiento por envejecimiento”.

Este fenómeno ocurre en el pavimento a una velocidad relativamente baja, si bien es mucho más rápido en un clima cálido que en uno frío. Así, el endurecimiento por oxidación es estacional, siendo más marcado en el verano que en el invierno. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos asfálticos nuevos pueden ser propensos a este fenómeno si no se compactan adecuadamente.



En este caso, la falta de compactación origina un alto contenido de vacíos en la mezcla, lo que facilita el ingreso de una mayor cantidad de aire a la mezcla asfáltica, e incrementar el endurecimiento por oxidación.

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación.

Volatilización es otro tipo de endurecimiento ocurre durante el mezclado en caliente y construcción. A altas temperaturas los componentes volátiles del asfalto se evaporan. Estos componentes volátiles livianos del tipo aceites ablandarían al asfalto, de permanecer dentro de él.

Efectos del Envejecimiento del Ligante en la Mezcla

Existe otra característica especial de los asfaltos. Debido a que los componentes moléculas orgánicas, reaccionan con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se llama oxidación y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto; puede provocar que se haga más duro o frágil, dando origen al término “endurecimiento por oxidación” o “endurecimiento por envejecimiento”.

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación.

Volatilización es otro tipo de endurecimiento ocurre durante el mezclado en caliente y construcción. A altas temperaturas los componentes volátiles del asfalto se evaporan. Estos componentes volátiles livianos del tipo aceites ablandarían al asfalto, de permanecer dentro de él.



Durante la vida útil de la estructura de un pavimento flexible se requiere normalmente dar un mantenimiento superficial a la capa de rodadura para evitar el desgaste por oxidación del asfalto expuesto a la intemperie. Siempre hay que tomar en cuenta este factor en cualquier diseño o estudio ya que el endurecimiento en demasía del ligante asfáltico producirá tal rigidización de la capa de rodadura, que esta llega a comportarse como un pavimento rígido y a la vez quebradizo por su reducido espesor.

El proceso de oxidación del asfalto se produce por la exposición constante a los rayos ultravioletas, los cambios de temperatura, exceso de calentamiento, entrada de agua y oxígeno a la mezcla, etc. Ya que se han identificado las causales del problema, se puede con procedimientos sencillos minimizarlos para proteger la inversión que representan las carreteras.

Además de la oxidación producida durante la vida útil de la carpeta, también se produce un envejecimiento bastante acelerado durante el proceso de calentamiento del asfalto para producir la mezcla y por causa de la película delgada que envuelve al agregado a calentado a altas temperaturas. Esta oxidación tan repentina se puede controlar mediante los ensayos TFOT y RTFOT, que simulan la oxidación en planta; y luego se realizan ensayos de viscosidad, ductilidad, penetración y otros al líquido envejecido para asegurar que la carpeta inicial que colocamos no tenga ya el problema de un asfalto demasiado rígido. Por supuesto habrá que tomar en cuenta el rango de temperaturas de la localidad donde se ubica la vía ya que de acuerdo a este la metodología Superpave determina para qué tipo de clima es apto cierto asfalto.



3.5. Asfalto Ecuatoriano

3.5.1. Características Generales

El asfalto en Ecuador se obtiene del proceso de destilación del crudo que se ejecuta en la refinería de Esmeraldas, refinería principal del país y productora única de asfalto y diluidos asfálticos. Actualmente producen un solo tipo de Asfalto que tiene las características de un AC 20.

Teniendo regiones con 2 climas diferentes (Costa y Amazonia de clima caliente, Sierra de clima templado) se podría considerar mejor tener 2 o más clasificaciones PG que se adapten mejor a las necesidades según los climas de las regiones del país. Pero realmente un AC 20 tiene una clasificación PG que lo hace apto para cualquier zona de nuestro país exceptuando las carreteras de la Sierra que están a más de 4000mts de altura, razón por la cual son ligeramente más frías que las demás vías de la Sierra y requerirán de un Asfalto blando.

Tabla 2. Requisitos de Calidad de los Asfaltos Clasificados según su Viscosidad Dinámica a 60 C

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1]), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58



3.5.2. Envejecimiento del Asfalto Ecuatoriano

De hace varios años el asfalto producido en la refinería de Esmeraldas ha tenido la particular característica de envejecerse prematuramente, es decir, un proceso de oxidación acelerado; de manera que no siempre se cumplen las características requeridas según normas internacionales para un asfalto después de pasar por el proceso de envejecimiento en película delgada (TFOT).

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil junto con el Ilustre Municipio de la ciudad, realizaron un estudio de las mezclas asfálticas que se estaban colocando en la ciudad, dentro del estudio se hicieron varios análisis al ligante asfáltico y se demostró que existía un problema de envejecimiento prematuro.

Luego de esta iniciativa, se están tomando políticas correctivas en la refinería para producir un asfalto AC 20 de calidad internacional, pero como todo proceso, puede tardar. A continuación se presentan mediciones hechas por una empresa Guayaquileña de los asfaltos que recibió durante el año 2009 proveniente de la refinería de Esmeraldas.

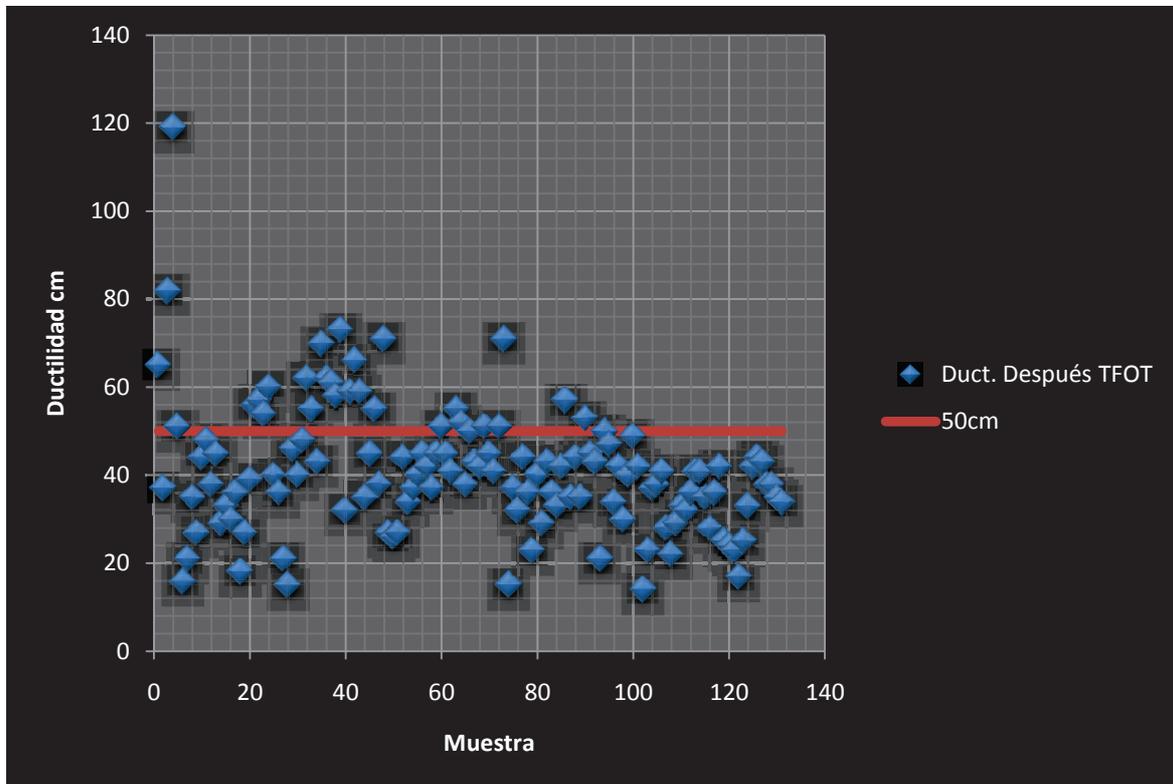


Fig. 4 Asfalto Ecuatoriano del 2009.

Ductilidad después de TFOT⁷

De la figura 4 se observa que hubo muestras que cumplieron con la normativa y otras, que aunque no cumplieron estaban muy cerca de cumplirla. Aunque aún hay muestras que están completamente alejadas de cumplir esta norma de ductilidad después de TFOT mayor a 50cm.

⁷ Datos Laboratorio de EMULPAC S.A.

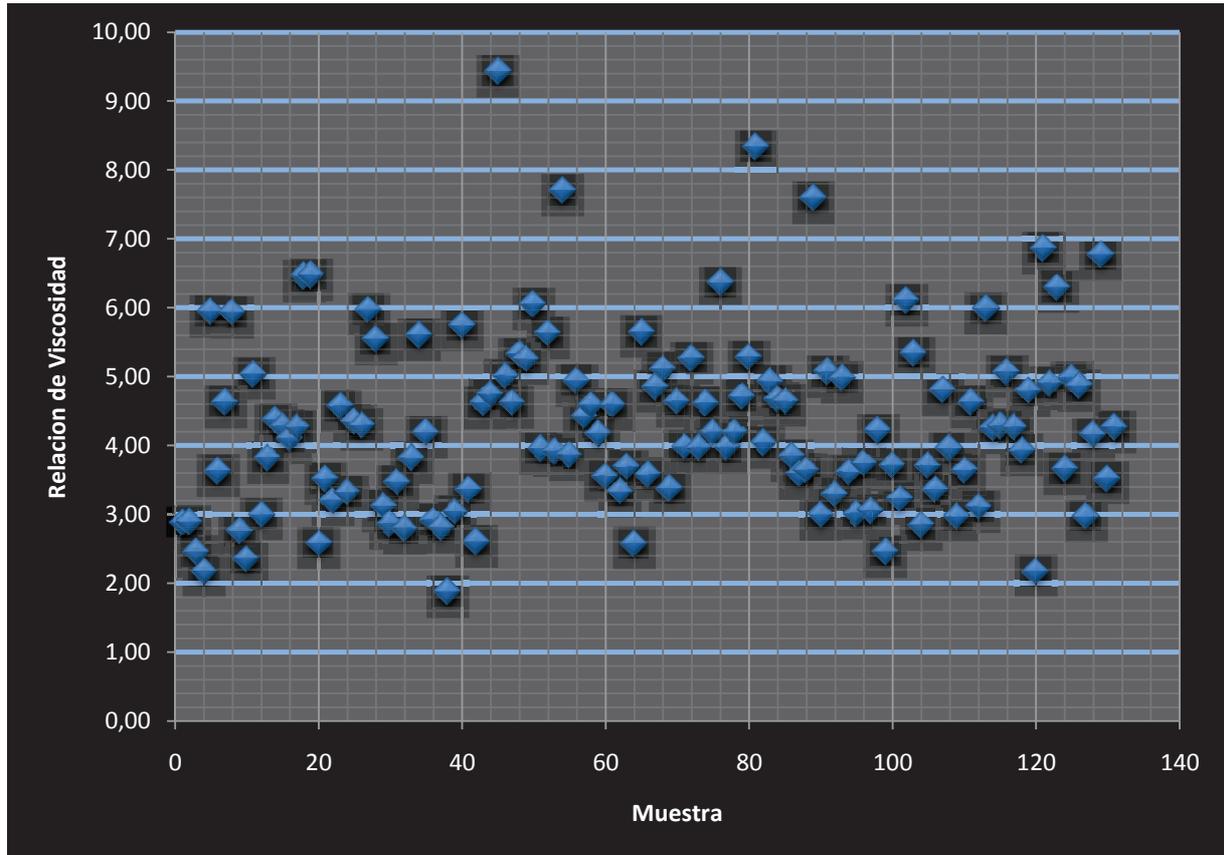


Fig. 5 Asfalto Ecuatoriano del 2009

Relación de Viscosidad⁸

La relación de viscosidad consiste en la división de la viscosidad a 60 grados Celsius después del TFOT dividida para la misma antes del TFOT, de manera que esta es un indicador de cuanto se envejece el asfalto durante el TFOT. Algunas normas indican que esta relación debe ser menor a 5, lo cual si se cumple para más del 50% de las muestras analizadas; sin embargo, lo que indica la norma Argentina es que esta relación debe ser menor a 3 para garantizar un asfalto que no tenga envejecimiento acelerado.

Conociendo los problemas del asfalto en el Ecuador, se debe buscar soluciones en las cuales no haya tanta agresividad hacia el asfalto durante las etapas iniciales de mezcla y compactación. Además de buscar siempre diseños de mezclas densas que no estén expuestas a tanta oxidación. Y esta es una de las razones más importantes para considerar el uso de mezclas tibias.

⁸ Datos Laboratorio de EMULPAC S.A.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO IV

NUEVAS TECNOLOGÍAS



CAPÍTULO IV

NUEVAS TECNOLOGÍAS

4.1. Modificadores del Asfalto

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de una sustancia estable en el tiempo y a cambios de temperatura, que se añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y mecánicas, y disminuir también su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.



4.1.1. Polímeros

Los Polímeros son sustancias de gran elasticidad, que se mezclan con el asfalto para darle mayor resistencia y elasticidad. La incorporación de polímeros en mezclas asfálticas es una solución muy costosa pero también de larga durabilidad, es ideal en casos de vías con fuertes exigencias climáticas y donde los pavimentos soportan fuertes cargas de tráfico pesado. Una carpeta con polímero permite reducir en gran manera el espesor de la misma, respecto a lo que sería una carpeta de mezcla sin modificar que deba resistir los mismos esfuerzos.

El polímero incorporado al ligante, le da una propiedad que el asfalto no tiene por sí solo, que es la de volver a su posición original como un elástico que se estira por la aplicación de una fuerza y luego se recoge hasta su posición original. El efecto del polímero sobre el ligante se mide básicamente con los ensayos de viscosidad, penetración y restitución elástica. Tanto la viscosidad como la penetración indicaran un endurecimiento en el ligante por acción del polímero y la restitución elástica determina la capacidad del asfalto de volver a su posición original luego de aplicársele una fuerza de tensión.

4.1.2. Caucho de Llantas

Ante la gran cantidad de llantas usadas que no son dispuestas de una manera ambientalmente correcta luego de su uso en vehículos, se ha encontrado que se le puede dar una excelente aplicación al caucho de las llantas dentro de las mezclas asfálticas.

Molido adecuadamente es posible desintegrar este caucho dentro del ligante asfáltico para darle características similares a las del asfalto modificado con polímeros. Y aplicado en tamaños más grandes directamente a la mezcla, actúa como agregado y por ser caucho, absorbe el ruido, de manera que el funcionamiento de la vía sea menos contaminante a la comunidad que la rodea.



4.1.3. Agentes Rejuvenecedores y Mejoradores de Adherencia

Para incrementar la fuerza de atracción entre las moléculas de piedra y asfalto y evitar su desplazamiento por acción del agua, existen aditivos químicos mejoradores de adherencia. Estos van a dar como resultado un mejor desempeño de la mezcla a lo largo de su vida útil ya que los daños causados por la exposición al agua y al ambiente serán menores y tomarán más tiempo en aparecer. Es de gran importancia utilizar esta clase de aditivos cuando se habla de emulsiones asfálticas, asfalto espumante, o cualquier otro tipo de mezcla en el que se incorpore agua durante su proceso de mezclado y compactación.

En cuanto a los aditivos rejuvenecedores, buscan rejuvenecer al asfalto como su nombre lo indica. De manera que el efecto principal de estos aditivos es el de reblandecer el asfalto que ha sido endurecido por el tiempo. Su aplicación principal es en reciclado de carpetas asfálticas.

4.1.4. Aditivos de Mezclas Tibias

Los aditivos para mezclas tibias son modificadores químicos u orgánicos que se incorporan al asfalto buscando reducir su viscosidad a altas temperaturas de manera que se pueda mezclar y compactar a temperaturas más bajas.

Actualmente existen una gama de productos para mezclas tibias, de diversas características y en la búsqueda de acaparar un mercado regido por la técnica y la busca de lo más durable; las compañías productoras de estos químicos les han incorporado mejoradores de adherencia y agentes rejuvenecedores para que además



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

de los beneficios ambientales, el desempeño de la mezcla sea mejor y con menor envejecimiento del ligante.

Rediset

- Aditivo de mezcla tibia, reduce temperaturas de mezcla y compactación por lo menos en 30 °C.
- Mejorador de Adherencia, retrasa el proceso de peladura en la carpeta.
- Incrementa la Fuerza de Cohesión de la Mezcla, disminuye el ahuellamiento.

Sasobit

Parafina de cadenas de carbono largas, no es de igual comportamiento que las parafinas que se encuentran en el asfalto normalmente. Su efecto es de facilitar el flujo y el recubrimiento del asfalto sobre el agregado a altas temperaturas, y rigidiza también al ligante a temperaturas bajas para evitar el ahuellamiento. Su aplicación permite la mezcla y compactación de la carpeta asfáltica a temperaturas menores.

Evotherm

Reduce de 50 a 75 °C las temperaturas de trabajo de la mezcla asfáltica. No altera el grado PG del asfalto ya que es un aditivo a base de agua que permite hacer del asfalto una emulsión inversa, esto quiere decir una dispersión de agua en asfalto. Al no alterar el grado PG del asfalto y utilizando los mismos diseños que para la mezcla caliente, Evotherm no afecta a las propiedades mecánicas de la mezcla, sino que facilita en gran manera el procedimiento constructivo.



4.2. Nuevas Técnicas de Mantenimiento

La ciencia avanza en busca de tecnologías que no alteren más el planeta o lo afecte lo menos posible, y por esto toda la tecnología de construcción vial se está desarrollando en torno al reciclado y la poca contaminación del ambiente.

4.2.1. Reciclado

El reciclado de un pavimento asfáltico consiste de la reutilización del agregado de una mezcla antigua y del asfalto residual que aún esté activo en dicha mezcla. Para lograr este fin se han desarrollado ya varias metodologías de reciclado in situ y en planta para profundidad total o parcial.

- Reciclado con incorporación de asfalto en caliente, este se procesa en planta móvil o fija, se inyecta asfalto en la mezcla que ha sido removida y se vuelve a tender y compactar.
- Reciclado con asfalto espumado, en una planta móvil se inyecta el asfalto junto con agua para espumar el asfalto y recubrir el agregado de manera más sencilla.
- Reciclado con aditivos de mezcla tibia, mismo procedimiento que el del asfalto caliente, se reducen las temperaturas de trabajo por la utilización de los aditivos para mezcla tibia.
- Reciclado con Emulsión Asfáltica, se trabaja a temperatura ambiente en planta o in situ, con tren de reciclaje o simplemente con fresa y motoniveladora. Es un trabajo sencillo de muy buenos resultados.

Cualquier tipo de reciclado tiene la ventaja económica de evitar distancias de acarreo, evitar que se consuman mas cerros para producción de agregados y reduce el consumo de ligante asfáltico.



4.2.2. Micropavimentos

Esta tecnología consiste en tratamientos superficiales de alta especificación capaces de detener el proceso de envejecimiento de la superficie de la vía por exposición al clima, devolver la textura adecuada al pavimento y alargar la vida útil del mismo.

Un micropavimento consiste una carpeta de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulg. Una mezcla de arena y emulsión asfáltica modificada con polímero, de gran resistencia a la abrasión y que se adhiere totalmente a la carpeta antigua.

Se trabaja en obra con muy pocos equipos, no requiere compactación y está listo para abrirse al tráfico en menos de una hora luego de su aplicación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO V

MEZCLAS TIBIAS:

DISEÑO Y ENSAYOS



CAPÍTULO V

MEZCLAS TIBIAS: DISEÑO Y ENSAYOS

5.1. Diseño de Mezcla de la Compañía Concreto y Prefabricados

Para este estudio se aplicó en todas las briquetas realizadas el diseño de mezcla y los agregados de la Compañía Concreto y Prefabricados. Las figuras en las siguientes páginas corresponden al mencionado diseño.



LABORATORIO DE SUELOS Y MEZCLAS ASFALTICAS

PROYECTO : _____

PLANTA : UDM - 600 CAT

FECHA : ENERO 2010

1.- CARACTERISTICAS DE DISEÑO

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

A) Tipo de Material

Agregados 1/2"	18%
Agregados 3/8"	24%
Arena # 1	30%
Arena Natural	28%

B) Combinada de Mezcla

Tamices	% Pasante	Faja de Control
3/4"	99,9	100,0
1/2"	90,2	82,2 - 98,2
3/8"	82,5	75,5 - 89,5
4	59,7	52,7 - 66,7
8	45,9	39,9 - 51,9
16	34,6	28,6 - 40,6
30	28,8	23,8 - 33,8
50	17,7	12,7 - 22,7
100	8,2	4,2 - 12,2
200	5,7	2,7 - 8,7

Gravedad Especifica de Masa	=	2,292
Gravedad Especifica Efectiva	=	2,384
Gravedad Especifica Aparente	=	2,508
Porcentaje de Asfalto Absorbido	=	1,71%

C) Control de Diseño

Propiedad	Valor Obtenido	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
Vacios (%)	4,00	3,00	5,00
V.M.A. (%)	15,40	15,00	----
Estabilidad (Lbs.)	2.460	1.800	----
Flujo	11,70	8,00	14,00

Contenido Optimo Asfalto : 7,20%

2.- ADITIVO

Magnabond 2700 - Komin - 14

Ensayo ASTM D - 3625 > 95% Aceptable

Ensayo ASTM D - 4867 = 87,50% Aceptable

Dosificación en peso 0,2% optimo de asfalto utilizado en diseño.

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

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

Fig. 6 Hoja 1, Diseño de Mezcla C y P



EVALUACION POR DAÑO DE HUMEDAD - HOJA DE DATOS DE LABORATORIO

Proyecto : _____	Dosificación <u>0.2%</u>
Aditivo : <u>KAOMIN - 14</u>	Esfuerzo <u>45 golpes c/lado</u>
Método de compactación : <u>Marshall - Diseño T/M - 1/2"</u>	Fecha de rotura : <u>Enero 07-10</u>
Fecha de prueba : <u>Enero 05 - 2010</u>	

Identificación de muestra		1	2	3	4	5	6
Diámetro (mm)	D	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Espesor (mm)	i	6,62	6,64	6,38	6,58	6,40	6,52
Masa seca en el aire (g)	A	1139	1118	1102	1136	1110	1130
Masa superficialmente seca (g)	B	1144	1124	1108	1143	1116	1137
Masa en el agua (g)	C	584	573	565	584	570	581
Volumen cc (B-C)	E	560	551	543	559	546	556
Gravedad esp. de masa (A/E)	F	2034	2029	2029	2032	2033	2032
Gravedad esp. Máxima	G	2179	2179	2179	2179	2179	2179
Vacios de aire (100(G-F)/G)	H	6,65	6,88	6,88	6,75	6,70	6,75
Volumen vacios de aire H*E/100	I	37,24	37,91	37,36	37,73	36,58	37,53
Carga (Kg)	P	471		454		429	

Saturación	15	Min.	30	" Hg.
------------	----	------	----	-------

		2	4	6
Masa superficialmente seca (g)	B'	1141	1160	1153
Masa en el agua (g)	C'	583	592	587
Volumen cc (B' - C')	E'	558	568	566
Volumen agua absorbida cc (B'-A)	J'	23,0	24,0	23,0
% Saturación (100*J'/I)		60,67	63,61	61,28
% Hinchamiento 100 (E' - E)/E		1,27	1,61	1,80

Condicionada 24 hora a 60° C en Agua

		2	4	6	
Espesor	I''	6,47	6,58	6,54	
Masa saturada superficialmen. seca	B''	1152	1169	1168	
Masa en el agua (g)	C''	588	595	594	
Volumen cc (B'' - C'')	E''	564	574	574	
Volumen agua absorbida cc (B'' - A)	J''	34,00	33,00	38,00	
% Saturación (100*J''/ I)		89,69	87,46	101,25	
% Hinchamiento 100 (E'' - E)/ E		2,36	2,68	3,24	
Carga (Kg)	P''	402	398	398	
Resistencia seca 2P/iD *pi	Std	4,40	4,40	4,15	4,32
Resistencia humedad 2P''/ E''D *pi	Stm	3,84	3,74	3,76	3,78
TSR 100 Stm / Std					87,50%
Evaluación de daño por humedad					
Grieta/Rotura agregado					

Fig. 7 Hoja 2 Diseño de Mezcla C y P



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:

DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"

FUENTE : CANTERA DURAN

FECHA : ENERO 2010

AGREGADOS 1/2"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"			100,0
3/4"	24,0	0,7	99,3
1/2"	1976,0	54,3	45,7
3/8"	3294,0	90,6	9,4
No. 4	3566,0	98,0	2,0
PASA No. 4			
No.8	3608,0	99,2	0,8
No. 16	3637,0	100,0	
No. 30			
No. 50			
No. 100			
No. 200			
PASA No. 200			
TOTAL	3637,0		

Fig. 8 Hoja 3 Diseño de Mezcla C y P



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010
AGREGADOS 3/8"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"			
3/4"			
1/2"			100,0
3/8"	114,0	3,6	96,4
No. 4	2645,0	84,6	15,4
PASA No. 4			
No.8	3016,0	96,5	3,5
No. 16	3087,0	98,8	1,2
No. 30	3126,0	100,0	
No. 50			
No. 100			
No. 200			
PASA No. 200			
TOTAL	3126,0		

Fig. 9 Hoja 4 Diseño C y P



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:

DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"

FUENTE : CANTERA DURAN

FECHA : ENERO 2010

ARENA # 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			100,0
No. 4	20,0	2,50	97,5
PASA No. 4			
No.8	266,0	33,7	66,3
No. 16	478,0	60,5	39,5
No. 30	527,0	66,7	33,3
No. 50	608,0	77,0	23,0
No. 100	646,0	81,8	18,2
No. 200	678,0	85,8	14,2
PASA No. 200	790,0	100,0	
TOTAL	790,0		

Fig. 10. Hoja 5 Diseño C y P



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:

DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"

FUENTE : CANTERA DURAN

FECHA : ENERO 2010

ARENA NATURAL

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS.

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"			
3/4"			
1/2"			100,0
3/8"	8,0	1,1	98,9
No. 4	45,0	6,0	94,0
PASA No. 4			
No.8	78,0	10,5	89,5
No. 16	149,0	20,0	80,0
No. 30	246,0	33,0	67,0
No. 50	458,0	61,4	38,6
No. 100	673,0	90,2	9,8
No. 200	708,0	94,9	5,1
PASA No. 200	746,0	100,0	
TOTAL	746,0		

Fig. 11 Hoja 6 Diseño C y P



PROYECTO: _____		DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"										FECHA : ENERO 2010	
TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA													
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	1	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
			99,3	45,7	9,4	2,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			100,0	100,0	96,4	15,4	3,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
			100,0	100,0	100,0	97,5	66,3	39,5	33,3	23,0	18,2	14,2	
			100,0	100,0	98,9	94,0	89,5	80,0	67,0	38,6	9,8	5,1	
Especificaciones Deseadas			100	90-100		44-74	28-58			5-21		2-10	
GRADUACION COMBINADA PARA MEZCLAS - PRUEBA No.													
TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA													
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	1	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
Aridos 3/4"	18%		17,9	8,2	1,7	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Aridos 3/8"	24%		24,0	24,0	23,1	3,7	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
Arena 1	30%		30,0	30,0	30,0	29,3	19,9	11,9	10,0	6,9	5,5	4,3	
Arena Natural	28%		28,0	28,0	27,7	26,3	25,1	22,4	18,8	10,8	2,7	1,4	
Especificaciones Deseadas			99,9	90,2	82,5	59,7	45,9	34,6	28,8	17,7	8,2	5,7	
GRADUACION COMBINADA PARA MEZCLAS - PRUEBA No.													
TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA													
Tamaño del Tamiz	Porcentaje Usado	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
Especificaciones Deseadas													

Fig. 12 Hoja 7 Diseño C y P

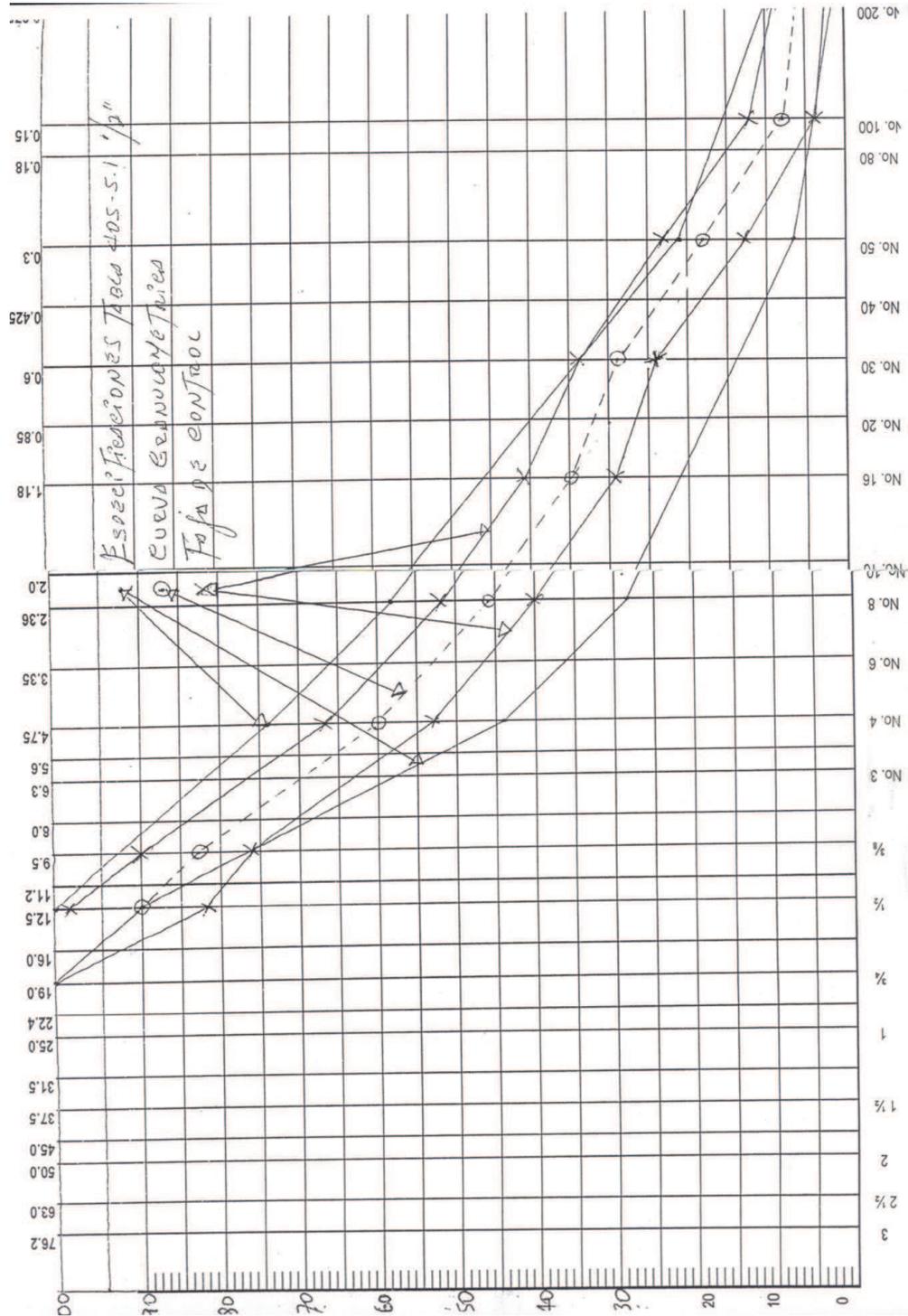


Fig. 13 Hoja 8 Diseño C y P



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010

GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Material Pasa Tamiz 3/4" retiene Tamiz No. 4			
Peso Secado al horno	=		4614
Peso Saturado seco	=		4816
Peso en Agua material saturado	=		2790
Gravedad BULK	=	$\frac{4614}{4816 - 2790}$	= 2,277
Gravedad S.S.S.	=	$\frac{4816}{4816 - 2790}$	= 2,377
Gravedad Aparente	=	$\frac{4614}{4614 - 2790}$	= 2,530
Absorción	=	$\frac{4816 - 4614}{4614}$	= 4,38%

Fig. 14 Hoja 9 Diseño C y P



PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010

GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Material que pasa tamiz No. 4 y retiene tamiz No.200 (3/8")			
Peso Secado al horno	=	4469,0	
Volumen del Picnómetro	=	4682,0	
Agua Añadida	=	2710,0	
Gravedad BULK	=	$\frac{4469}{4682 - 2710}$	= 2,266
Gravedad S.S.S.	=	$\frac{4682}{4682 - 2710}$	= 2,374
Gravedad Aparente	=	$\frac{4469}{4469 - 2710}$	= 2,541
Absorción	=	$\frac{4682 - 4469}{4469}$	= 4,77%

Fig. 15 Hoja 10 Diseño C y P



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010

GRAVEDADES ESPECIFICAS				
Material que pasa tamiz No. 4 y retiene tamiz No.200 (Arena # 1)				
Peso Secado al horno	=		=	484,4
Volumen del Picnómetro	=		=	500,0
Agua Añadida	=		=	287,9
Gravedad BULK	=	$\frac{484}{500 - 287,9}$	=	2,284
Gravedad S.S.S.	=	$\frac{500}{500 - 287,9}$	=	2,357
Gravedad Aparente	=	$\frac{484}{484,4 - 287,9}$	=	2,465
Absorción	=	$\frac{500 - 484,4}{484,4}$	=	3,22%

Fig. 16 Hoja 11 Diseño C y P



PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010

GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Material Pasa Tamiz No. 4 retiene Tamiz No.200 (Arena Natural)			
Peso Secado al horno	=	485,0	
Volumen del Picnómetro	=	500,0	
Agua Añadida	=	292,0	
Gravedad BULK	=	$\frac{485}{500-292}$	= 2.332
Gravedad S.S.S.	=	$\frac{500}{500-292}$	= 2.404
Gravedad Aparente	=	$\frac{485}{485-292}$	= 2.513
Absorción	=	$\frac{500-485}{485}$	= 3.09%

Fig. 17 Hoja 12 Diseño C y P



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010

<u>RICE: 7,0% ASFALTO</u>			
	P. E. Asfalto	=	1,016
	P. Asfalto	=	70
	Peso del material		1000,0
	Peso del Picnómetro + Agua		6886,0
	Peso Picnómetro + Agua + Material		7427,0
RICE:	$\frac{1000}{1000 + 6886 - 7427}$	=	2,179
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	$\frac{93}{\frac{100}{2,179} - \frac{7}{1,016}}$	=	2,384
MASA	$\frac{100}{\frac{18,0}{2,277} + \frac{24,0}{2,266} + \frac{30,0}{2,284} + \frac{28,0}{2,332}}$	=	2,292
GRAVEDAD APARENTE	$\frac{100}{\frac{18,0}{2,530} + \frac{24,0}{2,541} + \frac{30,0}{2,465} + \frac{28,0}{2,513}}$	=	2,508
PORCENTAJE DE ABSORCION	$100 \times \frac{2,384 - 2,292}{2,384 \times 2,292} \times 1,016$	=	1,71%

Fig. 18 Hoja 13 Diseño C y P



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL															
Número de golpes por lado <u>75</u> Constante <u>6,360</u> Gravedad Específica BULK promedio de agregados <u>2,292</u>															
Gravedad Específica del C.A. <u>1,016</u> C.A. Absorbido por el agregado seco <u>1,71%</u>															
MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC %	PESO MUESTRA			VOLUMEN c.c.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			FACTOR CORREC	ESTABILIDAD		FLUJO
			AIRE SECO	AGUA	AIRE S.S.S.		BULK PROBETA	RICE	AGREG.	VACIOS	C.A.		DIAL	CORREG.	
1			1139	587	1144	557						0,89	2340	2083	8
2			1172	603	1177	574	2,045					0,83	2466	2047	8
3			1119	568	1123	555	2,016					0,89	2326	2070	8
	% C.A.	6,0													
	Promedio						2,034	2,206	83,42	7,80	8,78			2067	8,0
4			1143	596	1148	552	2,071					0,89	2600	2314	9
5			1122	582	1126	544	2,063					0,93	2500	2325	9
6			1153	598	1157	559	2,063					0,89	2560	2278	11
	% C.A.	6,5													
	Promedio						2,066	2,192	84,28	5,75	9,97			2306	9,7
7			1162	609	1166	557	2,086					0,89	2760	2456	11
8			1133	594	1137	543	2,087					0,93	2630	2446	12
9			1147	602	1151	549	2,089					0,89	2800	2492	11
	% C.A.	7,0													
	Promedio						2,087	2,179	84,68	4,22	11,10			2465	11,3
10			1129	592	1133	541	2,087					0,93	2590	2409	13
11			1157	604	1161	557	2,077					0,89	2655	2363	13
12			1144	599	1148	549	2,084					0,89	2808	2499	12
	% C.A.	7,5													
	Promedio						2,083	2,165	84,07	3,79	12,15			2424	12,7
13			1136	592	1139	547	2,077					0,89	2500	2225	14
14			1169	608	1172	564	2,073					0,86	2490	2141	14
15			1124	587	1128	541	2,078					0,93	2370	2204	15
	% C.A.	8,0													
	Promedio						2,076	2,152	83,33	3,53	13,14			2190	14,3



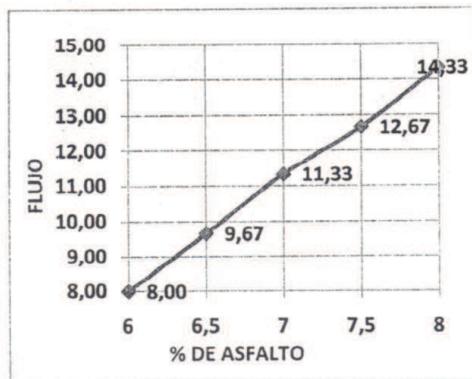
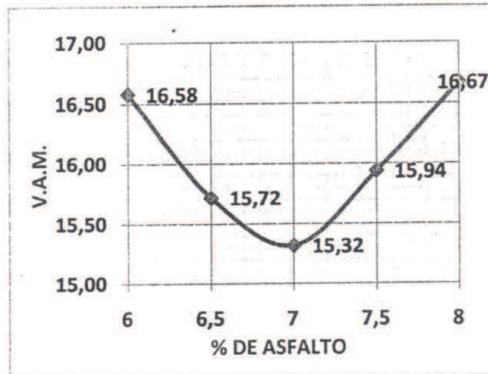
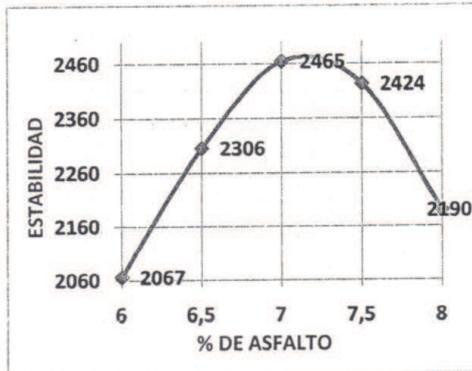
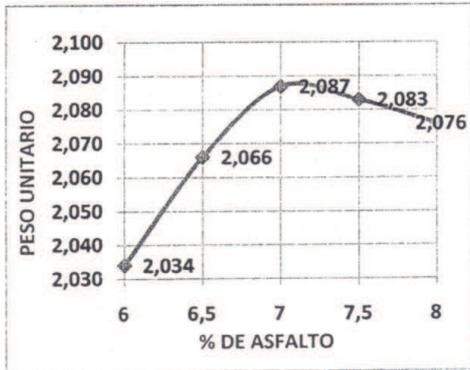
PROYECTO :
DESCRIPCIÓN DE LA MEZCLA : DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FECHA : ENERO.2010

[Handwritten signature]

Fig. 19 Hoja 14 Diseño C y P



PROYECTO:
DISEÑO TAMAÑO NOMINAL 1/2"
FUENTE : CANTERA DURAN
FECHA : ENERO 2010



PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO
7,20%



Fig. 20 Hoja 15 Diseño C y P



5.2. Selección de Temperaturas de Mezcla y Compactación

Guía de Diseño NCHRP- 9-43

(Ver http://76.12.53.242/submissions/56_20080101_Ray%20Bonaquist%20-%20Mix%20Design%20for%20WMA.pdf)

5.2.1. Cobertura del Ligante Asfáltico sobre el Agregado

Según lo indicado en la primera fase de la guía de diseño para mezclas tibias, se debe escoger la temperatura de mezcla según la cobertura que se aprecie sobre el agregado. De manera que cualquiera que fuere la temperatura mínima de mezcla a la que un agregado se encuentre 100% cubierto por el ligante, es una temperatura adecuada tomando en cuenta un rango de trabajo.

Aplicando este concepto a este proyecto se obtuvo lo siguiente:

	Ligante Asfáltico	Temperatura de Mezcla
	AC 20	
1	Esmeraldas	150-160 °C
2	2% Rediset	120-130 °C
3	2% Sasobit	140-150 °C

Tabla 2. Temperatura de Mezcla según el aditivo a utilizarse

De estos resultados se entiende que toda mezcla a mencionarse a lo largo de este proyecto es elaborada en laboratorio dentro de estos rangos de temperatura.



5.2.2. Densidad y Vacíos en las Briquetas

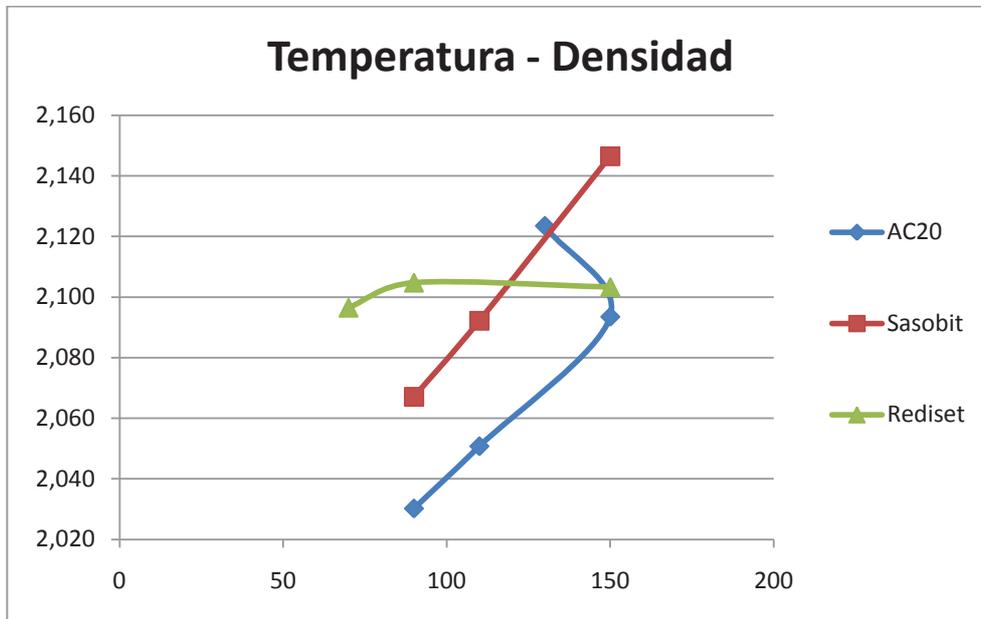


Fig. 21 Variación de la Densidad según la Temperatura de Compactación

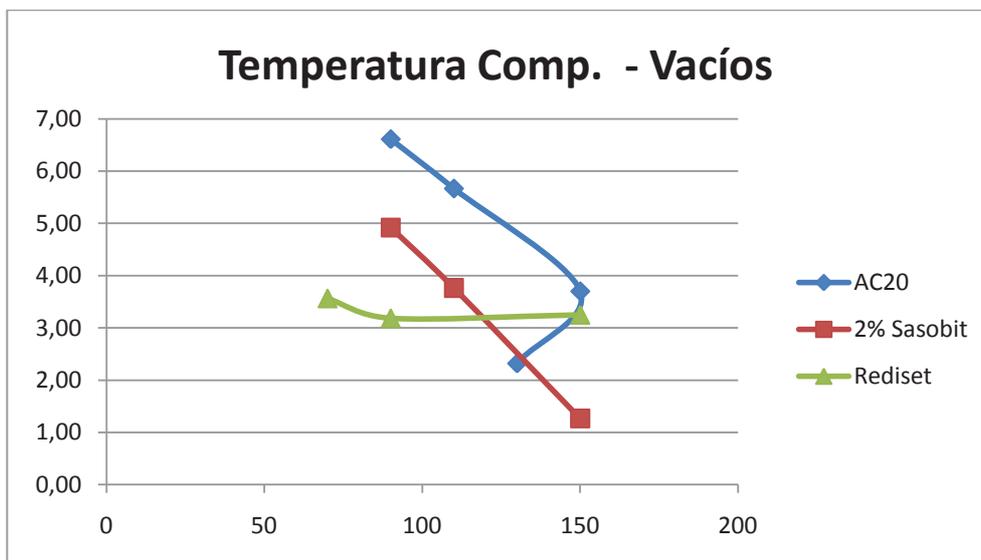


Fig. 22 Variación del porcentaje de vacíos según la temperatura de compactación



Buscando que el porcentaje de vacíos sea menor al 4%, se puede estimar que las temperaturas mínimas de compactación para las respectivas mezclas sean las siguientes:

- Asfalto Original compactado a 130 °C
- 2% REDISET compactado a 70 °C
- 2% SASOBIT compactado a 110 °C

5.2.3. Módulos a 20 y 40 °C

Se observa en la figura 23 a continuación que las mezclas con rediset y sasobit tienen mayores módulos que el de la mezcla con el asfalto original, esto puede ser debido al endurecimiento del asfalto provocado por los aditivos antes mencionados. El endurecimiento puede ser favorable en climas calientes ya que se supone las mezclas deben ser menos susceptibles al ahuellamiento, sin embargo pueden fallar por fatiga. Siendo solo suposiciones a esta etapa del estudio, se explica mejor el efecto que se obtuvo en el Capítulo de Resultados.

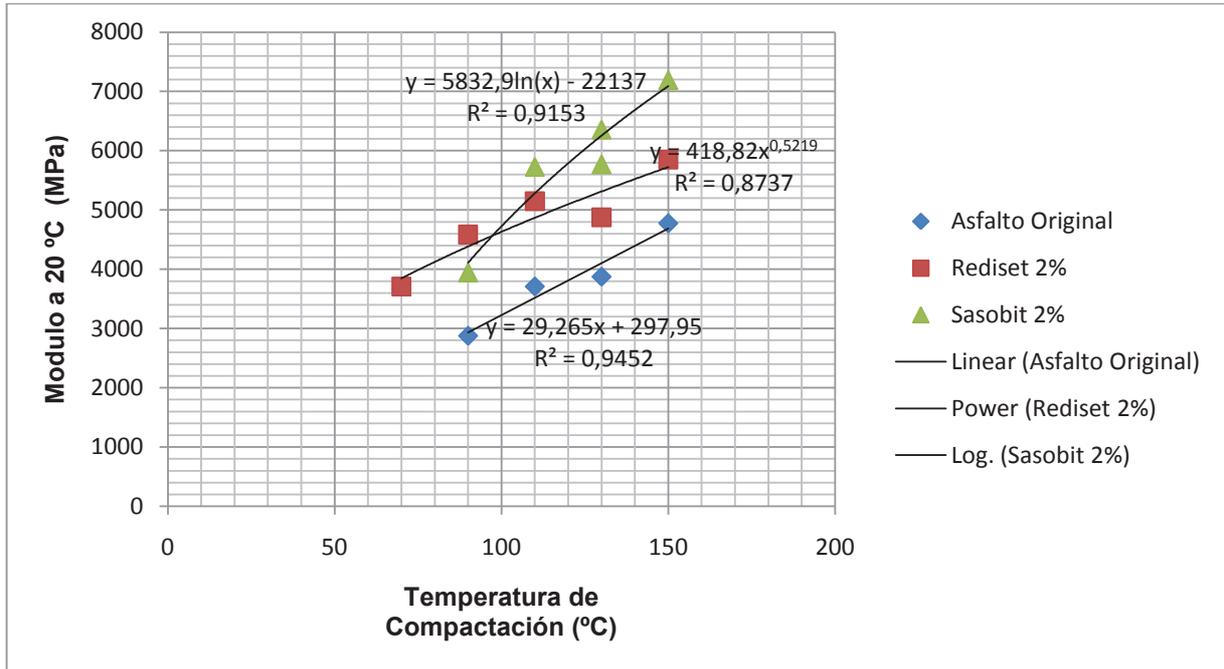


Fig. 23 Módulo vs Temperatura de Compactación

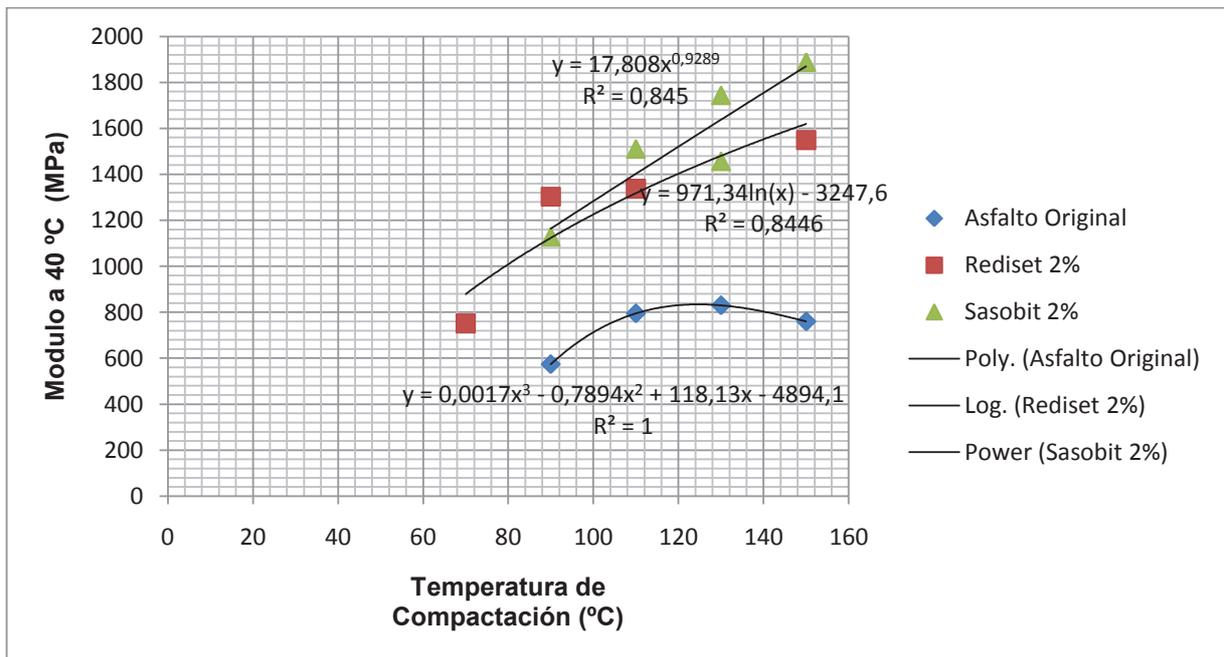


Fig. 24 Módulo vs Temperatura de Compactación



Tabla 3. Asfalto Original				
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Vacíos	Módulo 40 °C
90	2879	4	6,61	574
110	3710	3	5,67	795
130	3875	1	2,32	830
150	4775	2	3,70	760

Tabla 4. Sasobit 2%				
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Vacíos	Módulo 40 °C
90	3946	8	4,93	1129
110	5728	7	3,76	1511
130	5771	6	6,03	1457
130	6356	13	0,79	1744
150	7190	5	1,27	1888

Tabla 5. Rediset 2%				
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Vacíos	Módulo 40 °C
70	3707	14	3,57	751
90	4586	10	3,19	1303
110	5149	9	0,2	1337
130	4877	12	4,09	736
150	5849	11	3,25	1549



A continuación se observa que no hay una tendencia clara del módulo en función del porcentaje de vacíos para todos los casos, pero si es función de la temperatura de compactación (figura 24). Siendo así, se define por criterios independientes, cumplir un determinado módulo, además de un porcentaje de vacíos máximo.

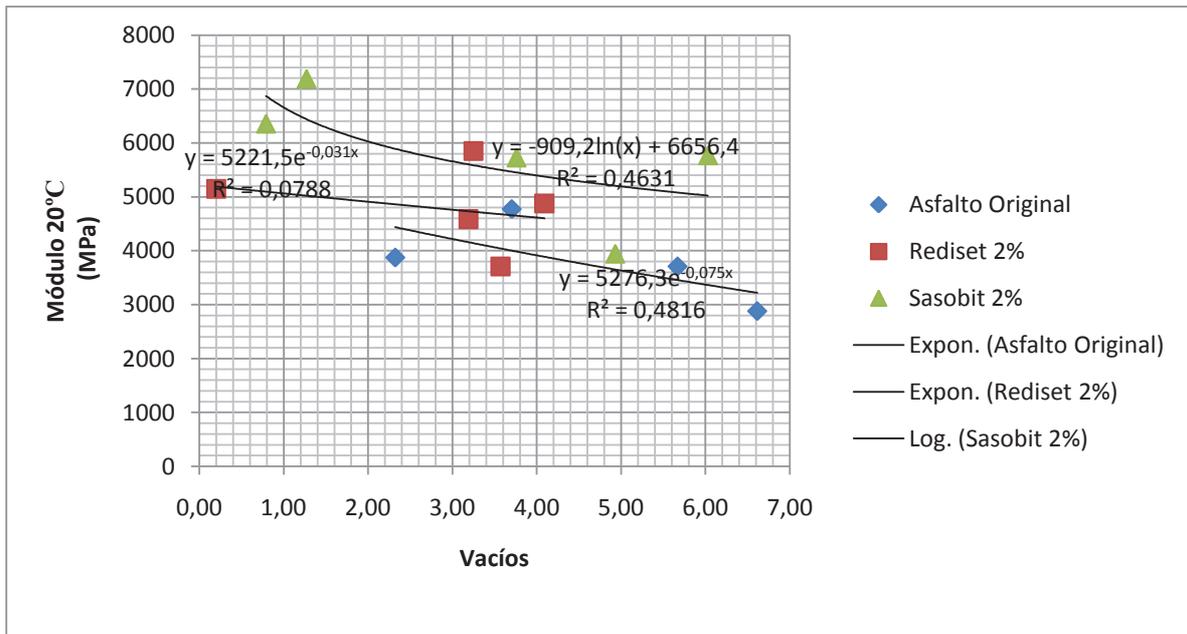


Figura 25. Módulo vs Porcentaje de Vacíos

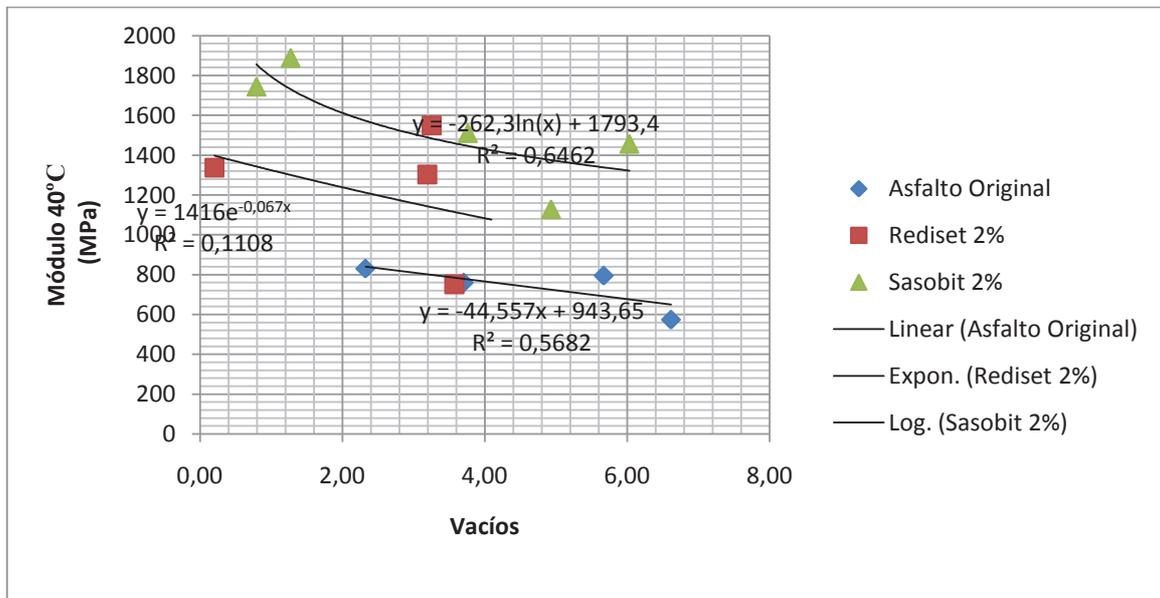


Fig. 26 Módulo vs Porcentaje de Vacíos



5.2.4. Temperaturas de Compactación escogidas

En los gráficos de la sección anterior se observa que el módulo a la temperatura regular de compactación de una mezcla caliente, siendo igual el diseño de mezcla de las 3 mezclas en agregados y contenido de ligante, es de alrededor de 4000MPa. De manera que cualquier temperatura de compactación que se escoja para las mezclas tibias debe resultar en un módulo igual o mayor a 4000MPa.

Partiendo de los resultados obtenidos en el análisis de la densidad y vacíos de las mezclas, se determina para cada caso que:

- Asfalto Original, Compactar a 130 °C
- 2% Rediset, Cumple los vacíos a 70 °C pero no el módulo, así que se escoge 80 °C como temperatura de compactación.
- 2% Sasobit, Compactar a 110 °C

5.3. Ensayos al Ligante Modificado con Aditivos de Mezclas Tibias

Para la elaboración de todas las briquetas, independientemente del aditivo utilizado, se tomó asfalto AC 20 de la refinería de Esmeraldas. Para evitar variabilidad en las propiedades del asfalto, se extrajo de un mismo tanquero todo el asfalto a utilizarse a lo largo de la investigación.



Viscosidad Dinámica ASTM D 4402



Fig. 27 Viscosímetro Brookfield

Curva de Viscosidad Asfalto Nuevo

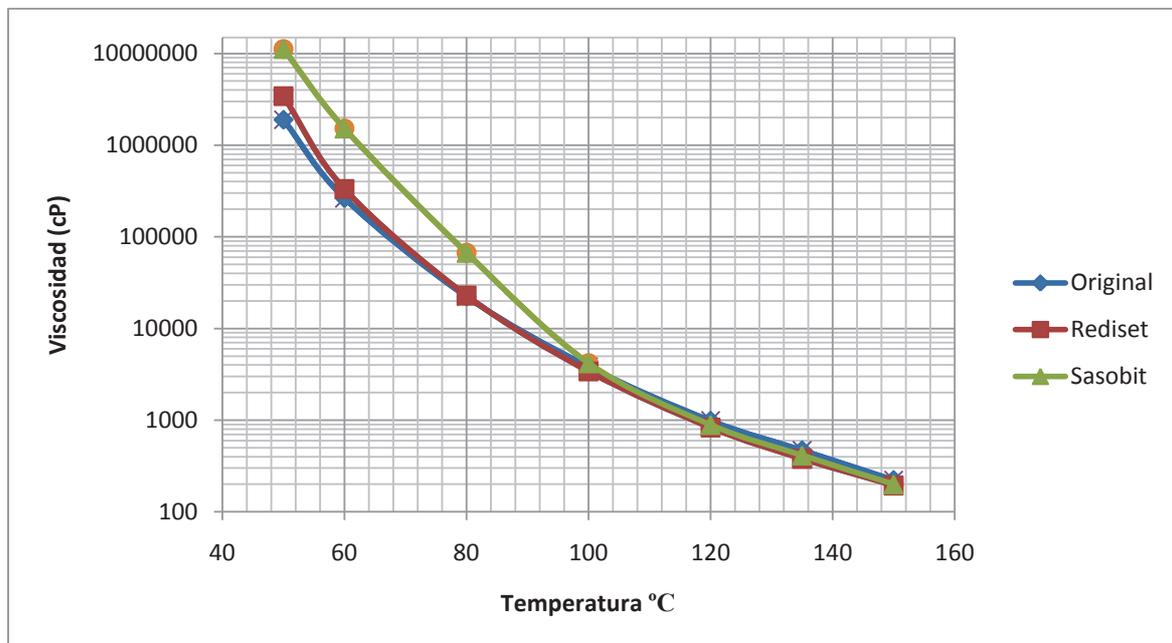


Fig. 28 Curva Temperatura vs Viscosidad



De acuerdo al criterio de diseño del Instituto del Asfalto, para cualquier metodología de diseño, las temperaturas de mezcla y compactación se definen por la viscosidad del ligante. De manera que se traza la curva y se escoge las temperaturas de acuerdo al rango de viscosidades en el que se quiere trabajar.

De esta grafica se tiene un primer indicio de cómo se van a comportar las mezclas de los diferentes aditivos a lo largo del estudio. Se observa como las mezclas con rediset y sasobit son mas viscosas bajo los 100 grados Celsius y menos viscosas a temperaturas mayores.

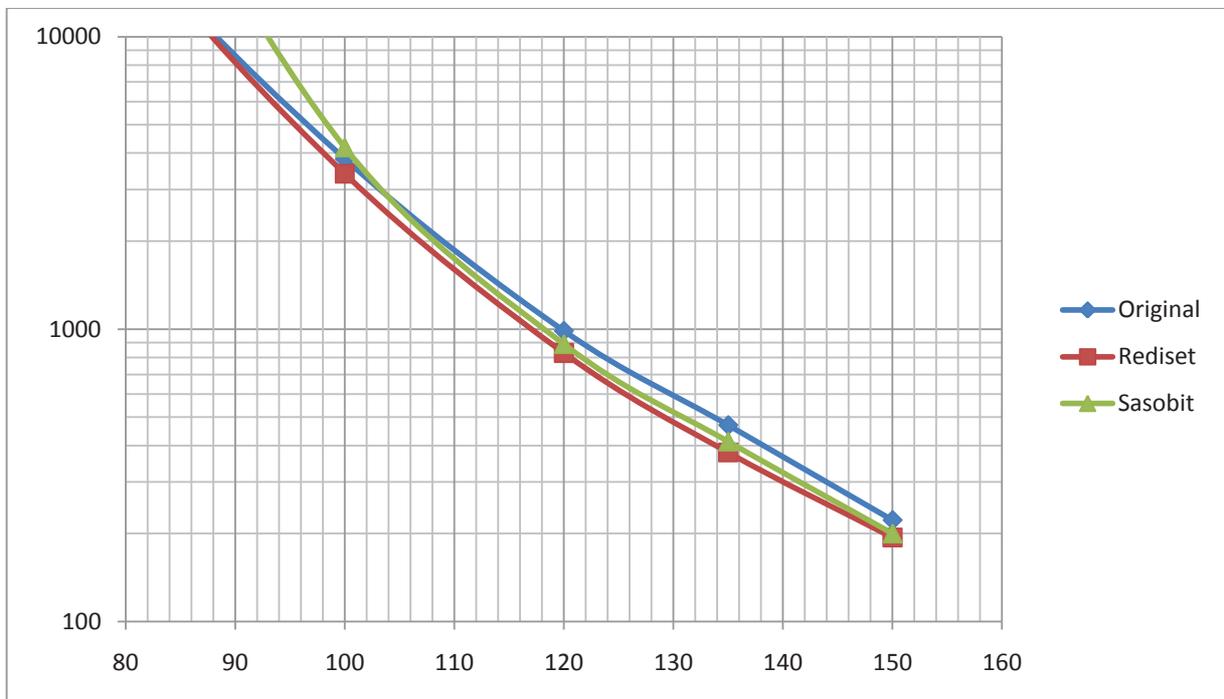


Fig. 29 Ampliación de la curva después de los 100 grados Celsius

De acuerdo al criterio del instituto de asfalto, si se quisiera una viscosidad de 200cP, el cambio de temperatura no va a ser mayor a 5 grados, de manera que no sería representativo. Pero los criterios de mezcla y compactación para mezclas asfálticas tibias son diferentes, se toma en cuenta para la temperatura de mezcla, una temperatura a la que el ligante pueda recubrir al agregado en su totalidad.



Fig. 30 Penetrómetro



Fig. 31 Ductilímetro

	Original	Rediset 2%	Sasobit 2%
Penetración	55	49	42
Ductilidad	113	89	57

Tabla 6. Propiedad del Asfalto antes de TFOT

Se observa un cambio de estas propiedades por efecto de la incorporación de estos aditivos tipo ceras al ligante asfáltico. Aparentemente fueran características negativas, pero esto solo se puede determinar con las propiedades después del TFOT.



Envejecimiento en TFOT



Fig. 32 Horno TFOT

La norma ASTM D 1754 especifica que el envejecimiento por película delgada se debe probar con una muestra de 50 gramos, esparcida a un espesor constante sobre el recipiente de norma. El ensayo se realiza a 163 grados Celsius durante 5 horas, en este proceso se registra una pérdida de masa en el asfalto y se analizan las propiedades del asfalto que ha sido deteriorado por el TFOT.

Siendo el objetivo del TFOT la simulación de lo que ocurre en una planta durante la producción de la mezcla asfáltica, por el recubrimiento de una película delgada de asfalto sobre la piedra a altas temperaturas y por circulación de aire, se concluye que no sería representativo probar una mezcla tibia con este mismo concepto porque no será sometida al mismo proceso de deterioro durante su elaboración en planta.



Para efectos comparativos de este estudio, así como 163 grados Celsius es una temperatura aproximada a la de mezcla en una mezcla asfáltica caliente, tradicional, se escogen como temperaturas de ensayo en TFOT las mismas escogidas para temperatura de mezcla con cada aditivo de mezcla tibia. En el capítulo siguiente se detalla la forma en la que se escogieron estas temperaturas de mezcla.

Para el asfalto con rediset la temperatura de ensayo fue 120 grados Celsius y para el asfalto con sasobit fue de 140.

Tabla 7. Propiedades Después de TFOT		AC 20 Esmeraldas		
Ensayo	Unidad	Rediset	Sasobit	Original
Pérdida de Masa	%	0	0,05	0,07
Ductilidad	cm	64	24	54
Penetración	decimas de mm	39	26	41
Viscosidad 60 C	cP	542000	3010000	889000
Rel. Viscosidad 60 C	-	1,63	1,98	3,37

Cambio en la Viscosidad Por Efecto del TFOT

La viscosidad es la propiedad física que hace más notorio el cambio de un asfalto por acción del envejecimiento o por la modificación mediante químicos del mismo. Además siendo un ensayo de poca probabilidad de error ya que no da lugar a falla humana, se la considera una medida bastante representativa y confiable.

En los cuadros presentados a continuación, toda viscosidad que hace referencia al ensayo TFOT, debe considerarse que para cada aditivo se cambio la temperatura de ensayo TFOT como está especificado en la sección anterior que describe el ensayo.



Gráficos Temperatura vs Viscosidad

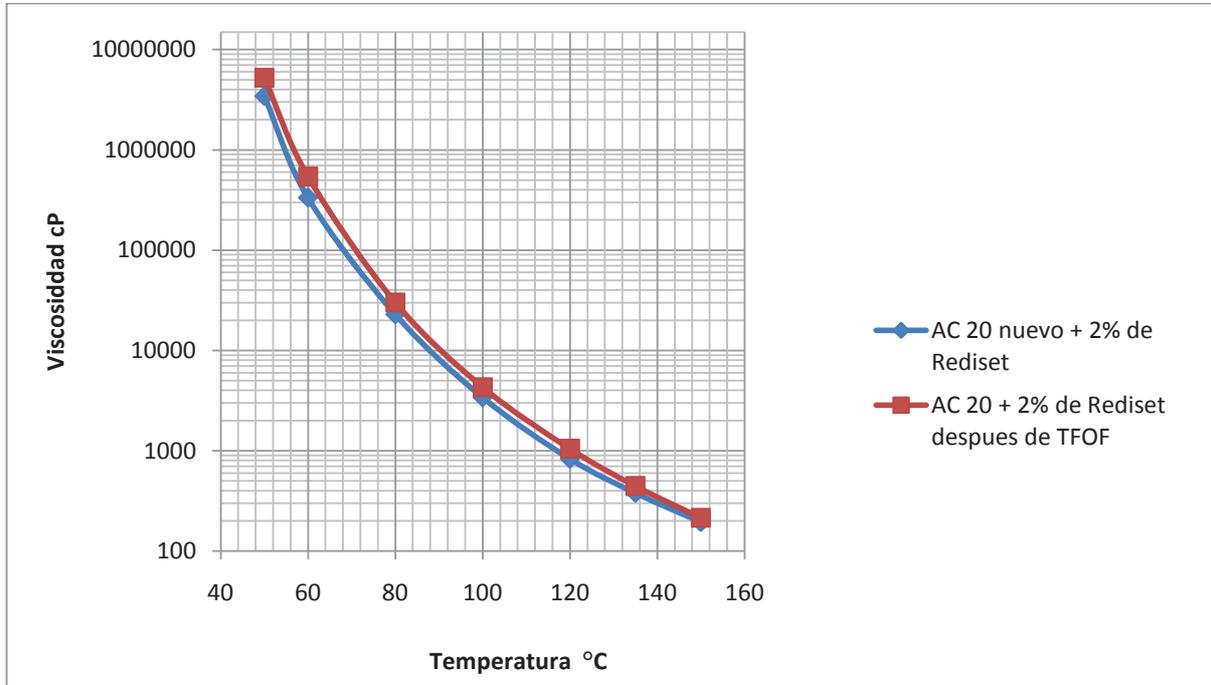


Fig. 33 Envejecimiento del Asfalto con Rediset

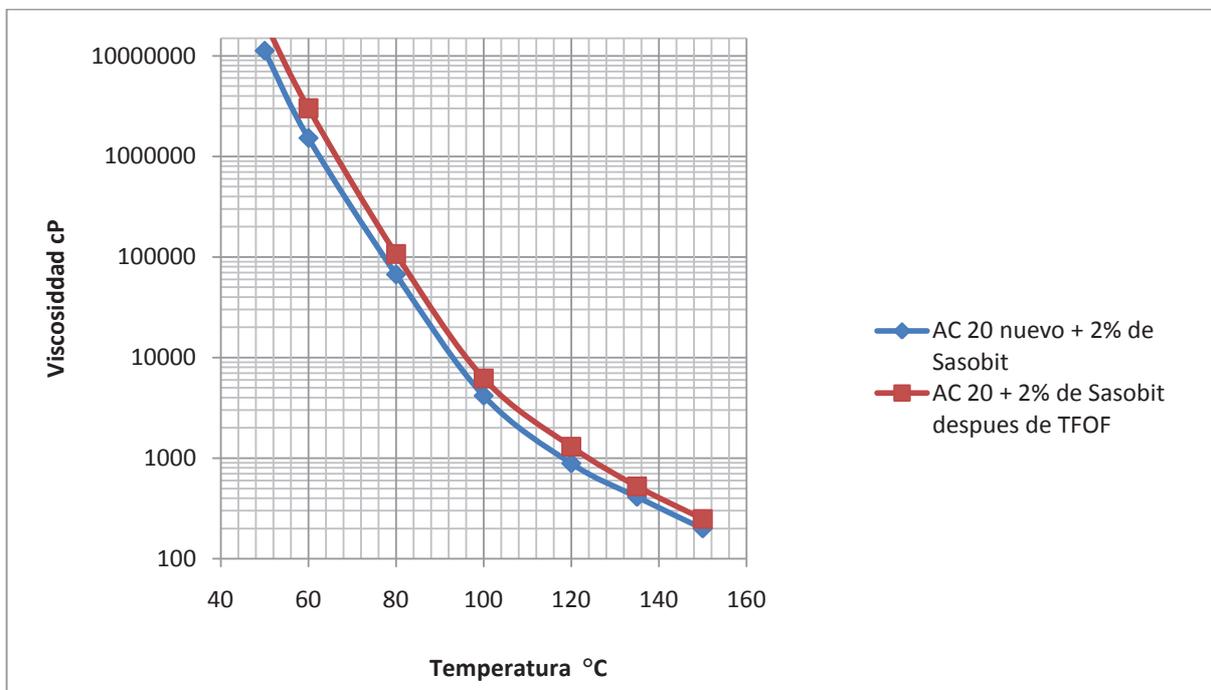


Fig. 34 Envejecimiento del Asfalto con 2% de Sasobit

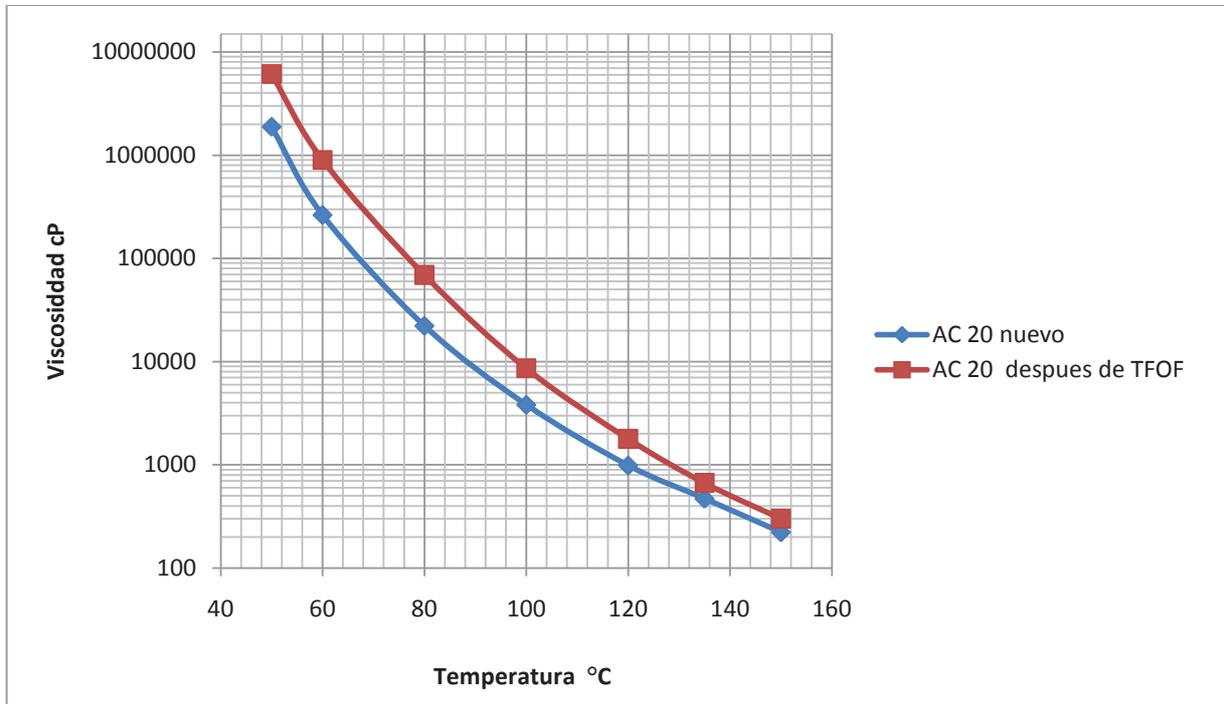


Fig. 35 Envejecimiento del AC 20 sin aditivos

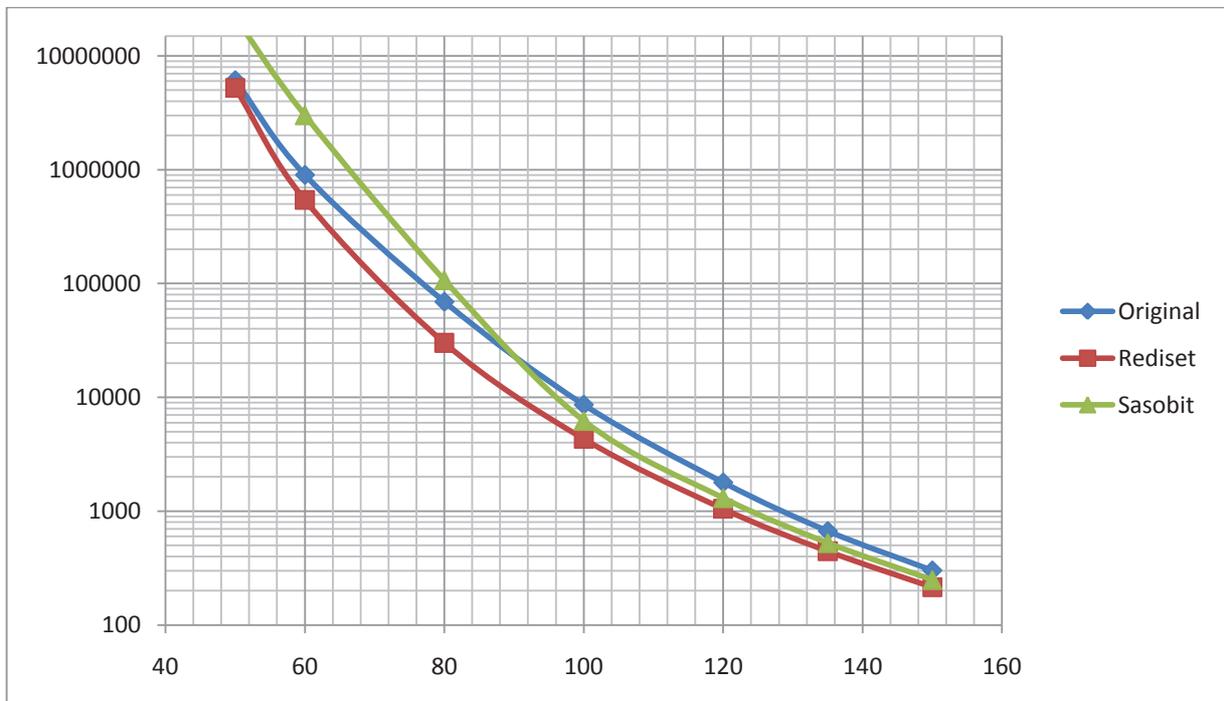


Fig. 36 Temperatura vs Viscosidad después de TFOT



De las figuras 33, 34 y 35 se observa como el asfalto original ha sido el más afectado por el envejecimiento en relación a su estado inicial. En la figura 36 es notorio que aún después de 5 horas de TFOT sigue notándose la acción de los aditivos de mezcla tibia en el cambio de viscosidad del asfalto. Siendo mucho más viscoso a temperaturas bajas el sasobit, en temperaturas altas llega a tener una viscosidad cercana a la del asfalto con rediset.

5.4. Proceso de Elaboración de Briquetas

5.4.1. Agregados y Asfalto

Los agregados a utilizarse durante todas las pruebas de esta investigación son los de la cantera de la compañía Concreto y Prefabricados, cuyo diseño de mezcla esta detallado previamente.

Previo a la elaboración de las briquetas, se seco los agregados en horno para evitar que la humedad altere las cantidades y resultados de dichos especímenes. Sabiendo que el agrado estaba seco se procedía a elevar su temperatura a 10 grados Celsius por encima de las temperaturas de mezcla determinadas por los resultados anteriores.

El ligante asfáltico empleado fue el AC 20 de la refinería de Esmeraldas, previo a la mezcla con el agregado se modifico el asfalto con los aditivos de mezclas tibias.

Antes de mezclar el asfalto es calentado a la temperatura determinada previamente como la temperatura de mezcla.



Fig. 37 Sasobit



Fig. 38 Rediset



5.4.2. Mezcla y Reposo en Horno

Todas las mezclas se hicieron en la mezcladora automática del laboratorio de asfaltos de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, todos los agregados, recipiente donde se mezcla, utensilios de mezclado y asfalto de la mezcla, se calientan hasta la temperatura definida para mezclado previo a proceder al mezclado.



Fig. 39 Mezcladora Automática

En planta, luego de mezclar el asfalto con la piedra, esta mezcla asfáltica pasa algún tiempo en un silo de almacenamiento o en una volqueta a una temperatura elevada. Durante este tiempo ocurre un endurecimiento en el asfalto y también el árido absorbe parte del asfalto de la mezcla. Para simular esto se dejó reposar la mezcla durante 3 horas en horno luego de mezclada previo a la compactación, a la temperatura de compactación definida.



5.4.3. Compactación Marshall

Para la elaboración de briquetas según el método Marshall, se compacta mediante una fuerza constante de impacto. Se deja caer por caída libre a una altura específica, una masa específica que ocasiona un impacto sobre la muestra y la empieza a compactar. Cada uno de estos impactos es un golpe.

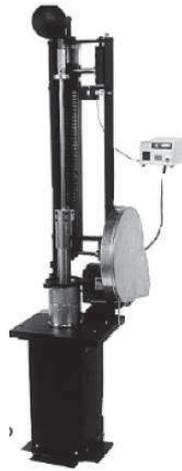


Fig. 40 Compactador Automático

Todas las muestras fueron compactadas con el martillo Marshall a 50 golpes por cara.

Para garantizar la temperatura de compactación, los moldes, la mezcla y el martillo se calentaron previamente hasta la temperatura de compactación.



Fig. 41 Briquetas Elaboradas Para las Pruebas



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO VI

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO



CAPÍTULO VI

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

6.1. Medición de Densidad y Vacíos

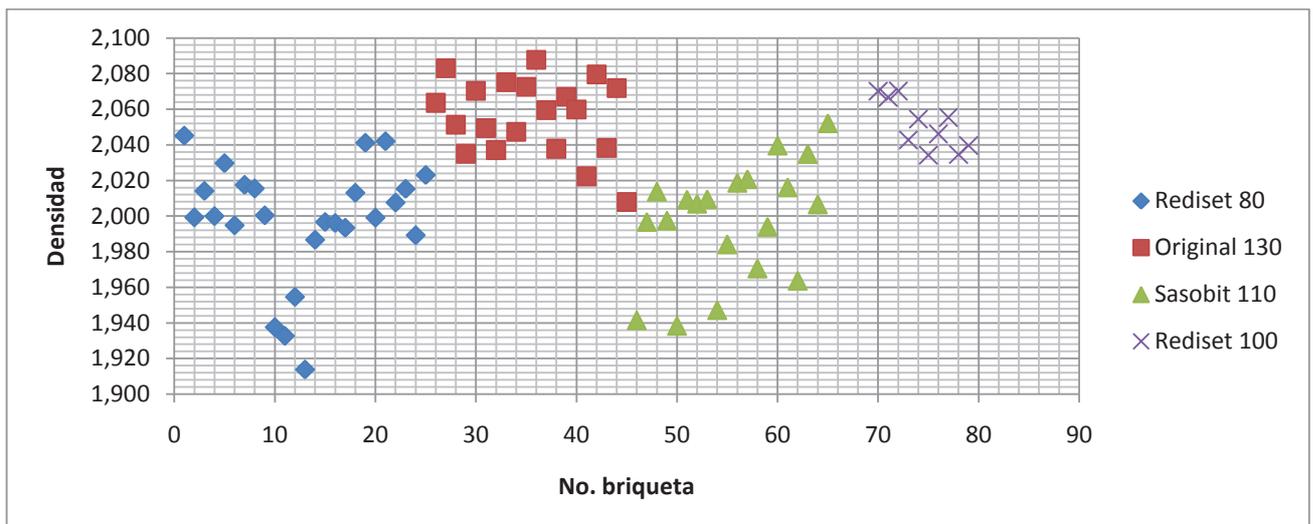


Fig. 42 Densidad de las Briquetas

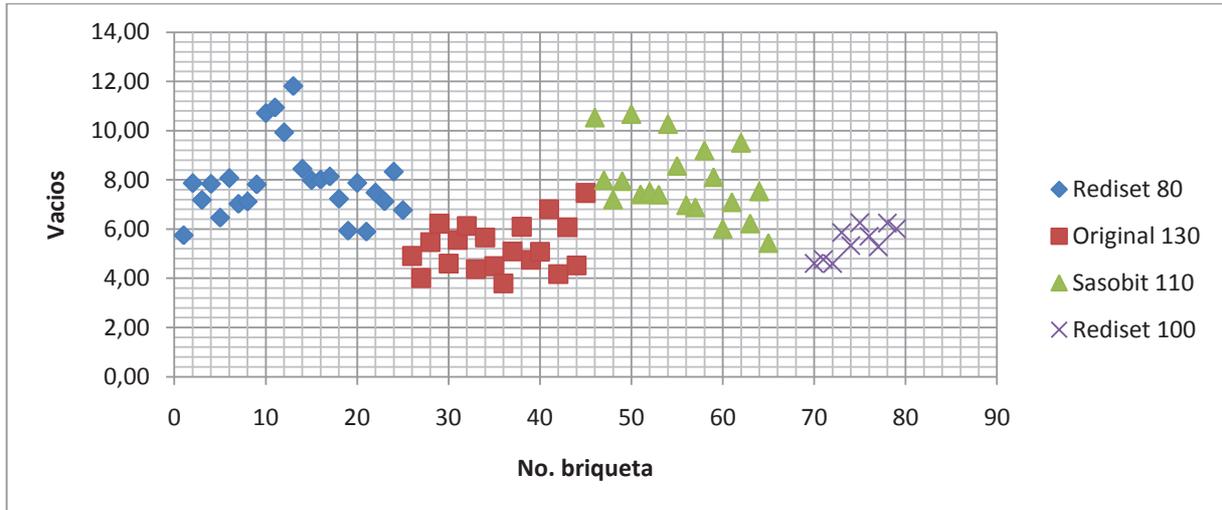


Fig. 43 Vacíos en las Briquetas

Viendo los datos de la figura 42, se nota que ningún tipo de mezcla realmente tiene vacíos menores al 4%, que fue lo que se estimó en los ensayos de la primera fase. La gran variante de esta segunda etapa fue la consideración de mantener en horno la mezcla durante 3 horas a la temperatura de compactación, en este tiempo el asfalto tuvo tiempo de ser absorbido por el agregado y además endurecerse, de manera que con menos asfalto y siendo este más viscoso sería también más duro de compactar.

La mezcla con el asfalto original resultó entre 4 y 6% de vacíos, lo cual es aceptable sabiendo que fueron compactadas únicamente a 50 golpes por cara. Por el contrario, las mezclas con sasobit compactadas a 110 grados y las de rediset compactadas a 80 grados resultaron con vacíos muy elevados.

Por estos resultados se decidió compactar las briquetas con 2% de rediset a 100 grados Celsius, que tuvieron densidades similares a las del asfalto sin modificar compactado a 130 grados.



6.2. Medición de Módulos

Los módulos fueron medidos en el NAT (Nottingham Asphalt Tester) en el Laboratorio de Asfaltos de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Se realizó la medición bajo el criterio de deformación controlada de 5 micrones, a temperaturas de 20 y 40 grados Celsius.



Fig. 44 Nottingham Asphalt Tester (NAT)



Tabla 8. Módulos Asfalto Original			
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Módulo 40 °C
130	5821	41	1916
130	6535	31	1740
130	4837	45	1205
130	5251	38	1365
130	5073	29	1473
Promedio	5503.4		1539.8

Tabla 9. Módulos Sasobit 2%			
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Módulo 40 °C
110	5253	58	1201
110	5668	62	1281
110	4892	46	1123
110	6192	54	1386
110	4849	50	1195
Promedio	5370.8		1237.2

Tabla 10. Módulos Rediset 2%			
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Módulo 40 °C
80	3112	11	718
80	4299	24	1167
80	3891	12	1197
80	4578	4	1450
80	3164	10	888
Promedio	3808.8		1084

Tabla 11. Módulos Rediset 2%			
Temp. Comp.	Módulo 20 °C	Briqueta No.	Módulo 40 °C
100	5219	70	1244
100	4431	72	1110
100	4776	74	957
100	3950	76	854
100	4502	78	1081
Promedio	4575.6		1049.2



De los resultados expuestos en las tablas 9, 10, 11 y 12, se observa que los valores promedio difieren de lo que se asumió al decidir temperaturas de mezcla y compactación, que se podría obtener. Existen dos factores que pudieron alterar los módulos, primeramente la variación respecto a las densidades esperadas (siendo las densidades menores, los módulos se espera sean menores) y también está la opción de que el asfalto sufra un envejecimiento o endurecimiento en las horas de reposo en el horno. De las mezclas con sasobit y rediset las densidades son menores y también los módulos caen, respecto a lo esperado en pequeña proporción. De la mezcla con asfalto original, los módulos aumentan en gran proporción, de manera que teniendo menor densidad que las mezclas anteriores, se asume que el alto módulo de la mezcla se debe a la viscosidad elevada del asfalto envejecido. Los resultados expuestos anteriormente en la sección 5.3. corroboran que el asfalto original sufrió mayor envejecimiento debido a las altas temperaturas a las que es sometido en el proceso de mezcla y compactación.

6.3. Estabilidad Marshall

Como indica la norma de diseño Marshall, el ensayo se lo realiza después de sumergir en agua por 30 minutos a 60 grados Celsius las briquetas. Se mide la fuerza que se aplica hasta que la biqueta falla y el flujo medido hasta el momento de la falla.

De acuerdo al volumen de la muestra, se aplica un factor de corrección para obtener el valor de la estabilidad.



Fig. 45 Equipo de medición de Estabilidad Marshall

Tabla 12. Estabilidad Marshall 60 C

Briqueta	Aditivo	Temp. Comp.	Volumen (cm ³)	Factor Corr.	Estabilidad (Kg)	Flujo	Est. Corr. (Kg)	Est. Corr. (Lb)	Rigidez Marshall (Kg/mm)
4	Rediset	80	475	1.14	1511	16	1722.54	3799.92	2062.65
7	Rediset	80	438.6	1.32	1117	16	1474.44	3252.61	1765.56
18	Rediset	80	503.8	1.04	1320	14	1372.8	3028.4	1878.69
20	Rediset	80	470.6	1.14	798	16	909.72	2006.84	1089.34
24	Rediset	80	466	1.19	934	13	1111.46	2451.88	1638.04
						Promedio	1318.19	2907.93	1686.86



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

34	Ninguno	130	516.1	1	1462	15	1462	3225.17	1867.37
35	Ninguno	130	479.8	1.14	1694	16	1931.16	4260.14	2312.46
36	Ninguno	130	502.6	1.04	2357	20	2451.28	5407.52	2348.22
39	Ninguno	130	527.1	0.96	2618	14	2513.28	5544.3	3439.44
40	Ninguno	130	486.4	1.09	1411	13	1537.99	3392.81	2266.66
						Promedio	1979.14	4365.99	2446.83
49	Sasobit	110	533.1	0.96	1498	16	1438.08	3172.4	1722.02
52	Sasobit	110	469.7	1.19	1207	20	1436.33	3168.54	1375.94
53	Sasobit	110	494.4	1.09	1244	16	1355.96	2991.25	1623.69
54	Sasobit	110	588	0.81	1314	14	1064.34	2347.93	1456.56
56	Sasobit	110	564	0.86	1485	12	1277.1	2817.28	2039.01
						Promedio	1314.36	2899.48	1643.44
70	Rediset	100	470.9	1.14	1505	12	1715.7	3784.83	2739.27
72	Rediset	100	468.7	1.19	1438	12	1711.22	3774.95	2732.12
74	Rediset	100	490.9	1.09	1518	14	1654.62	3650.09	2264.36
76	Rediset	100	468.3	1.19	1194	14	1420.86	3134.42	1944.46
78	Rediset	100	524.2	0.96	1462	13	1403.52	3096.17	2068.48
						Promedio	1581.18	3488.09	2349.74

El mínimo de estabilidad Marshall requerido en pavimentos para aeropuertos, que son los más exigentes, es de 2200 lbs. Todas las muestras superan ese valor, de manera que se la estabilidad Marshall de todas las muestras es aceptable. Se observa que las dos muestras de mejor estabilidad son las compactadas con rediset a 100 °C y las mezclas calientes compactadas a 130°C y ambas tienen rigideces similares. Se considera también que la rigidez Marshall deberá ser mayor a 2000Kg/mm. En este caso solo las muestras del asfalto original y las de Rediset compactadas a 100°C cumplen con la especificación.



6.4. Tracción Indirecta

El ensayo de tracción indirecta consiste en transmitir un esfuerzo de tracción a la briqueta mediante una compresión diametral del espécimen. Como se observa en la figura 46.



Fig. 46 Ensayo de Tracción Indirecta

El ensayo se lo realizo a 10 grados Celsius, dejando las briquetas a esa temperatura durante 24horas. Los resultados obtenidos fueron los descritos en la tabla 13 a continuación.

**Tabla 13. Resultados de Ensayo Tracción Indirecta**

Briqueta	Aditivo	Temp. Comp.	Altura (cm)	Diametro (cm)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
2	Rediset	80	5.6	10	773	8.79
3	Rediset	80	5.8	10	782	8.58
10	Rediset	80	5.9	10	742	8.01
12	Rediset	80	5.9	10	901	9.72
17	Rediset	80	5.6	10	728	8.28
Promedio						8.68
27	Ninguno	130	5.9	10	1373	14.81
29	Ninguno	130	5.6	10	1256	14.28
31	Ninguno	130	6.4	10	1568	15.60
41	Ninguno	130	6.5	10	1373	13.45
44	Ninguno	130	5.6	10	1219	13.86
Promedio						14.40
46	Sasobit	110	5.9	10	768	8.29
47	Sasobit	110	7	10	890	8.09
50	Sasobit	110	6.5	10	678	6.64
51	Sasobit	110	5.8	10	449	4.93
60	Sasobit	110	6.4	10	1132	11.26
Promedio						7.84
71	Rediset	100	6.2	10	1461	15.00
73	Rediset	100	6.5	10	1229	12.04
75	Rediset	100	6.1	10	1196	12.48
77	Rediset	100	5.9	10	1183	12.76
79	Rediset	100	6.5	10	1303	12.76
Promedio						13.01

Ver Anexos, tablas que relacionan las propiedades mecánicas medidas con los vacíos de las briquetas.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El asfalto Ecuatoriano trabaja bien con aditivos de mezclas tibias y mecánicamente da buenos resultados.
- Solo con revisar la temperatura de mezcla y el envejecimiento del asfalto, se puede determinar si un asfalto trabaja bien con determinado aditivo. Una vez confirmado ese dato se procede a buscar temperatura de compactación y comprobar estabilidad, modulo y demás factores importantes para el diseño.



- Se puede trabajar conociendo que da un buen desempeño con el aditivo Rediset, de la compañía Akzo nobel.
- En nuestro medio no se cumplen adecuadamente las temperaturas de compactación en campo para muchos casos, es importante promover el uso de aditivos que garanticen que a 100°C o menos se puede compactar sin perder la calidad de la carpeta asfáltica.
- Sabiendo que la temperatura de producción de la mezcla se la puede reducir de 160 a 120 grados Celsius, y que con un caldero a diesel que consume 20 galones de diesel por hora, se demora aproximadamente 8 horas en aumentar de 120 a 160 grados la temperatura de 40 toneladas de asfalto almacenadas en un tanque. Esto implica que se ahorrarían 160 galones de combustible para 40 toneladas de asfalto líquido, tal que serían 4 galones de diesel por tonelada de asfalto. Una tonelada de asfalto líquido, siendo el 7% de una mezcla asfáltica, alcanza para producir 14,29 toneladas de mezcla asfáltica. El precio unitario de la tonelada de mezcla asfáltica se reduciría en 29 centavos de dólar únicamente por la reducción del consumo de combustible.
- El costo del diesel de elevar la temperatura de la piedra de 120 a 160°C, según la experiencia de la compañía Concreto y Prefabricados, puede variar entre uno y 2 galones menos por metro cúbico, lo que implica una reducción en costo de 0,65 a 1,30 dólares por tonelada de mezcla asfáltica.
- En el calentamiento para la producción de la mezcla se ahorra entre 1 y 1,60 dólares.
- Los precios de aditivos de adherencia son de \$2,80 el kg, aproximadamente. En el país las compañías constructoras utilizan aproximadamente 0,2% de estos aditivos sobre el asfalto de la mezcla. Lo que implica un gasto de 40ctvs por tonelada de mezcla asfáltica que también se ahorrarían.
- Tomando en cuenta los aprox. \$2 que se ahorran por tonelada en el proceso de mezcla tibia y aumentándole los \$7 que sería el máximo incremento por tonelada por el uso de aditivos de mezcla tibia, entonces la mezcla tibia sería \$5 más costosa de producir.



- Analizando la durabilidad, de la siguiente tabla se explica cómo si la mezcla tibia por su baja oxidación durante el proceso de producción duraría sólo un año más que la mezcla convencional, ya es totalmente justificado el precio para una carpeta de 2 pulg o más. Y Si fueran más años de vida útil, cosa que daría la experiencia, sería bastante más rentable analizando el costo de carril por año.

\$/m ³	Ton/m ³	\$/ton	Espesor carpeta (cm)	Ton/km-carril	Duracion	\$/km-carril por año
130,00	2,40	54,17	5,00	438,00	5,00	4745,00
	2,40	59,17	5,00	438,00	6,00	4319,17

\$/m ³	Ton/m ³	\$/ton	Espesor carpeta (cm)	Ton/km-carril	Duracion	\$/km-carril por año
130,00	2,40	54,17	5,00	438,00	5,00	4745,00
	2,40	59,17	5,00	438,00	8,00	3239,38

- No es descabellado pensar que la durabilidad se puede extender de 5 hasta 8 o incluso 10 años sólo por prevenir el envejecimiento del ligante, los pavimentos en países donde no tienen asfaltos con problemas de envejecimiento duran de 8 a 10 años o incluso más con mantenimientos mínimos, los pavimentos de grandes espesores duran 20 años en EEUU.
- Todo se reduce a análisis de precios cuando depende de las entidades públicas contratar una determinada obra, es bueno demostrar técnicamente que hay ventajas por las que es importante pagar, como en este caso las tecnologías amigables al medio ambiente.

7.2. Recomendaciones

- Es importante hacer un estudio previo a la selección de cualquier aditivo para mezclas tibias para un proyecto determinado, principalmente la reducción de temperaturas al momento de la mezcla y el envejecimiento del ligante a la temperatura que se escoge como de mezcla.
- Un mayor módulo en la mezcla asfáltica puede no ser indicador de una buena característica, siempre es importante analizar de donde proviene ese incremento. Por modificaciones mediante polímeros y aditivos es bueno y recomendable, pero un aumento de módulo provocado por la oxidación del asfalto es un indicio de que la durabilidad de ese pavimento será menor y que tendrá a corto plazo problemas de peladura y fisuras de arriba hacia abajo.



- Si se fuera a ejecutar una obra que requiera de mezcla asfáltica caliente en cualquier lugar que por sus condiciones naturales se quiere minimizar el impacto ambiental, es recomendable trabajar con un aditivo de mezclas tibias que permita las mayores bajas de temperatura para asegurar la reducción de gases. Hay casos en los que se aumenta el porcentaje de aditivo para lograr esto, pero siempre se debe verificar, sobre todo en los aditivos tipo ceras, que no se exceda en rigidizar el asfalto.
- Toda tecnología que por sus materiales o métodos constructivos sea amigable para el medio ambiente, o le cause menor daño que la tecnología actual y además sea técnicamente igual o superior, debe ser considerada a pesar del precio, el cuidado del planeta es complicado de medir y no se le da el valor que merece.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Bibliografía



Textos:

- Asphalt Institute, THE ASPHALT HANDBOOK. Manual Series No. 4 (MS-4)
- NCHRP 9-43 Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt
Ramon Bonaquist, P.E.
Chief Operating Officer
Advanced Asphalt Technologies, LLC
- Larry L. Michael. Warm Mix Asphalt. California Pavement Preservation Conference. 2008 (PDF)
- SCT, México. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales. Parte 4, Materiales Para Pavimentos.
- Young S. Doh. Evaluation of selected warm-mix additives for asphalt recycle
- Presentación, Warm mix Asphalt: Best Practices, NAPA 53rd Annual Meeting
- Norma SCT. Libro, Características de los Materiales, Capítulo 004. Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG.
- Documentos de Consulta, IMT, Querétaro.

Metodologías de Ensayos:

- ASTM D – 113. Ductilidad
- ASTM D – 4402. Viscosidad Dinámica
- ASTM D – 1754. Envejecimiento en Horno de Película delgada (TFOT)
- ASTM D – 1559. Estabilidad Marshall
- ASTM D – 5. Penetración



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Páginas Electrónicas:

- <http://www.surfactants.akzonobel.com/asphalt/newwarmmixsystem.cfm>
- <http://www.meadwestvaco.com/SpecialtyChemicals/AsphaltAdditives/MWV002106>
- <http://www.sasolwax.us.com/sasobit.html>
- http://www.terreroadalliance.org/documents/terrafactsheet_wma_05.pdf
- http://76.12.53.242/submissions/56_20080101_Ray%20Bonaquist%20-%20Mix%20Design%20for%20WMA.pdf



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANEXOS



Gráficos

La tendencia generalmente en las mezclas asfálticas es que al aumentarse los vacíos, caigan las propiedades mecánicas de la mezcla. En algunos casos de los datos obtenidos en la investigación hay buena correlación con este hecho, pero ya que no ocurre en todos los casos, no hay conclusiones relevantes que obtener a partir de los siguientes datos.

