

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA CIVIL ARQUITECTURA Y DISEÑO

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

MEZCLAS ASFALTICAS CON POLIMEROS DE DOS CLASES

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

CRISTOBAL ADRIAN CAMPOS MORENO

Director: Ing. Luis Mario Almache

2015

DECLARACIÓN

Yo, Cristóbal Adrián Campos Moreno, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Cristóbal Adrián Campos Moreno

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cristóbal Adrián Campos Moreno, bajo mi supervisión.

Ing. Mario Almache

DIRECTOR

DEDICATORIA

A las personas que más amo en esta vida y que representan mi realización, mis padres Francisco y Gelma.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), centro educativo que me transmitió el conocimiento intelectual y la importante base de los valores humanos, logrando que yo pueda alimentarme mental y espiritualmente.

A los docentes de la UCACUE que me impartieron sus conocimientos; de manera especial a mi tutor de Tesis Ing. Mario Almache por su atinada dirección y entereza.

Finalmente agradezco a todas las personas que estuvieron atentas a lo que pudiera necesitar para poder llevar adelante con éxito este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE CUADROS	viii
RESUMEN	- 1 -
ABSTRACT	- 2 -
INTRODUCCIÓN	- 3 -
TEMA	- 4 -
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 4 -
JUSTIFICACIÓN	- 5 -
OBJETIVOS	- 6 -
FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	- 6 -
HIPÓTESIS	- 6 -
METODOLOGÍA	- 7 -
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	- 8 -
1.1 AGREGADOS PÉTREOS.	- 8 -
1.1.1 Características de agregados pétreos para pavimentos.	- 8 -
1.1.1.1 Forma y angulosidad.	- 8 -
1.1.1.2 Resistencia al desgaste.	- 9 -
1.1.1.3 Adhesividad y resistencia al desplazamiento.	- 9 -
1.1.1.4 Plasticidad y limpieza.	- 10 -
1.1.2 CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO SEGÚN SU PROCEDENCIA.	- 11 -
1.1.2.1 Agregados Naturales:	- 11 -
1.1.2.2 Agregados de Trituración:	- 11 -
1.1.2.3 Agregados Artificiales:	- 11 -
1.1.2.4 Agregados Marginales:	- 11 -
1.1.3 CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO SEGÚN SU NATURALEZA.	- 12 -
1.1.3.1 Agregados calizos.	- 12 -
1.1.3.2 Agregados Silíceos.	- 12 -
1.1.3.3 Agregados Ígneos y Metamórficos.	- 12 -
1.1.4 CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO DE ACUERDO A SU TAMAÑO.	- 12 -
1.1.4.1 Agregado grueso.	- 12 -
1.1.4.2 Agregado fino.	- 14 -

1.1.4.3 Polvo mineral (Filler).	_____	- 16 -
1.2 TRITURADORAS.	_____	- 19 -
1.2.1 Tamaños de Partículas.	_____	- 19 -
1.2.2 Características de las Rocas.	_____	- 21 -
1.3 ASFALTO.	_____	- 21 -
1.3.1 Cemento asfáltico (AC).	_____	- 27 -
1.3.2 Asfaltos líquidos o Asfaltos Diluidos.	_____	- 29 -
1.3.3 Emulsiones.	_____	- 29 -
1.3.4 Asfaltos oxidados O SOPLADOS.	_____	- 30 -
1.3.5 Propiedades de los materiales asfálticos como parte del pavimento.	_____	- 30 -
1.3.5.1 Propiedades que definen el tipo de asfalto y su adecuación para cualquier uso.	_____	- 30 -
1.4 Polímeros.	_____	36
1.4.1 Clasificación según su origen.	_____	38
1.4.2 Clasificación según su comportamiento en los cambios de temperatura.	_____	39
1.5 Aditivos.	_____	40
1.5.1 Aditivo adherente.	_____	41
1.5.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS.	_____	41
1.6 Cemento asfáltico modificado	_____	41
1.6.1 Estructura de los asfaltos modificados.	_____	43
1.7 MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	_____	45
1.7.1 TIPOS DE CLASIFICACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.	_____	48
1.7.2 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTOS DE LOS AGREGADOS INDIVIDUALES PARA SU MEZCLA.	_____	49
CAPITULO II TRABAJO DE INVESTIGACION.	_____	53
2.1 ENSAYO DE AGREGADOS	_____	53
2.1.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO NORMA ASTM C128	_____	53
2.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C127.	_____	57
2.1.3 EQUIVALENTE DE ARENA NORMA ASTM D 2419.	_____	60
2.1.4 DETERMINACIÓN DE PARTICULAS LARGAS Y ACHATADAS ASTM d 47-91	_____	63
2.1.5 RECUBRIMIENTO Y PELADURA DE MATERIAL BITUMINOSOS AASHTO T 182-02 ASTM D 1664-80	_____	65
2.1.6 DETERMINACIÓN DE LA ABRASIÓN NORMA AASHTO T 96-02 ASTM C131.	_____	68
2.2 ENSAYO DE BETÓN ASFÁLTICO	_____	69
2.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN ASTM D5 - AASHTO T49-97	_____	69
2.3 ENSAYOS Y APLICACIONES A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	_____	75
2.3.1 MÉTODO MARSHALL	_____	75
2.3.1.1 ENSAYO UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97)	_____	75
2.3.1.2 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL	_____	88
2.3.2 DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA CON EL PICNÓMETRO DE VACÍO (ENSAYO RICE) NORMA ASTM D 2041	_____	92
2.3.3 PESO ESPECÍFICO BULK DE LAS BRIQUETAS Norma ASTM D 1188	_____	95
CAPITULO III. RESULTADOS	_____	97
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	_____	- 118 -
4.1 CONCLUSIONES	_____	- 118 -
4.1.1 áRIDOS	_____	- 118 -
4.1.2 LIGANTE	_____	- 119 -
4.1.3 MEZCLA	_____	- 119 -

4.2 Recomendaciones.	- 124 -
GLOSARIO DE TERMINOS	- 125 -
BIBLIOGRAFIA	- 131 -

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1: Forma de partículas de Agregados Pétreos	- 9 -
Fig. 2 Curvas granulométricas de los áridos	- 13 -
Fig. 3 Mina La Virginia cantón Paute Prov. Azuay. Roca Basáltica	- 15 -
Fig. 4 Trituradora ASFALTAR E.P	- 20 -
Fig. 5 Esquema coloidal de Pfeiffer	- 22 -
Figura 6 Relaciones viscosidad/temperatura para asfaltos	- 23 -
Fig. 7 Diagrama de flujo para asfalto de petróleo	- 25 -
Fig. 8 Destilación de Crudo de Petróleo	- 26 -
Fig. 9 Curva Temperatura – Viscosidad.	- 28 -
Fig. 10 Microfotografías emulsiones asfálticas	42
Fig. 11 . Polímeros modificadores.	44
Fig. 12 Relación módulo de rigidez – tiempo de cargo de un material asfáltico sometido a una tensión axial.	46
Fig. 13 Influencia de la temperatura en el módulo de rigidez.	47
Fig. 14 Método del Picnómetro	54
Fig. 15 Saturación de Materiales 24 h	55
Fig. 16 Prueba del Cono	56
Fig. 17 Diferentes estados del proceso de peladura de la mezcla asfáltica	67
Fig. 18 Penetrómetro	70
Fig. 19 Aguja para ensayo de penetración	71
Fig. 20 Baño María con muestras a 60°C	72
Fig. 21 Proceso de penetración	74
Fig. 22 Prensa Marshall	77
Fig. 23 Temperatura de Mezclado	78
Fig 24 Compactación de probetas con los accesorios normados.	80
Fig. 25 Molde de compactación	85
Fig. 26 Martillo de compactación	86
Fig. 27 Mordaza	87
Fig. 28 Picnómetro de Vacío	92

LISTA DE CUADROS

TABLA 1 Petrología de pavimentos	- 11 -
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DEL ASFALTO	- 27 -
TABLA 3 NORMAS VIGENTES DE ENSAYOS DE PRODUCTOS ASFALTICOS	- 29 -
TABLA 4 PENETRACION RECOMENDABLE PARA DIVERSOS TIPOS DE BETUNES ASFALTICOS	- 31 -

TABLA 5 PRINCIPALES EMPLEOS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS	33
TABLA 6 ESPECIFICACIONES PARA BETUNES ASFÁLTICOS.	36
TABLA 7 GRANULOMETRIAS SIMPLIFICADAS	50
TABLA 8 LÍMITES SUGERIDOS PARA LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	52
TABLA 9 CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO	59
TABLA 10 VALORES RECOMENDADOS DE EQUIVALENTE DE ARENA	63
TABLA 11 TIPOS DE TERMÓMETROS	73
TABLA 12 MÁXIMA ENTRE MEDICIONES	75
TABLA 13 FACTORES DE CORRECCIÓN POR ALTURA PARA ESTABILIDAD	82

CUADROS DE RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO

<i>Resultado 1 ENSAYO DE GRANULOMETRIA</i>	98
<i>Resultado 2 ENSAYO DE GRANULOMETRIA 3/8</i>	99
<i>Resultado 3 ENSAYO DE GRANULOMETRIA 3/16</i>	100
<i>Resultado 4 ENSAYO DE GRANULOMETRIA 3/4</i>	101
<i>Resultado 5 GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA DE RIO</i>	102
<i>Resultado 6 GRAVEDAD ESPECIFICA 3/8</i>	103
<i>Resultado 7 GRAVEDAD ESPECIFICA 3/16</i>	104
<i>Resultado 8 GRAVEDAD ESPECIFICA 3/4</i>	105
<i>Resultado 9 FORMULA MAESTRA DE OBRA</i>	106
<i>Resultado 10 EQUIVALENTE DE ARENA</i>	107
<i>Resultado 11 EQUIVALENTE DE ARENA Nº4</i>	108
<i>Resultado 12 ENSAYO DE PARTICULAS ALARGADAS Y APLANADAS</i>	109
<i>Resultado 13 ENSAYO DE PELADURA</i>	110
<i>Resultado 14 ENSAYO DE ABRASION</i>	111
<i>Resultado 15 ENSAYO DE PENETRACION</i>	112
<i>Resultado 16 ENSAYO DE PENETRACION AC20 + ADHERENTE+POLIMERO</i>	113

RESUMEN

Es importante que el diseño de pavimento utilizado para una vía cumpla su periodo proyectado de diseño, por esto, se ha realizado un análisis de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con polímeros, y de sus componentes.

Se describe los elementos que conforman la mezcla y los ensayos respectivos que dan una idea de las mejoras necesarias que se debe implementar para producir una mezcla asfáltica que cumpla las normas exigidas. Se estudian las características y la conveniencia de los áridos existentes para mezclas asfálticas en caliente con un tamaño máximo de árido de $\frac{3}{4}$ de pulgada. La producción de asfalto con polímero, objeto de este trabajo, se efectúa en laboratorio, calentando el asfalto convencional AC-20 producido en la refinería de Esmeraldas "Petroecuador", a la cual se le añade el polímero para mejorar sus cualidades reológicas. Se exponen los conceptos que debemos introducir en nuestro medio como son polímeros, A.M.P., especificaciones, etc., así mismo en la parte experimental relacionada con el desarrollo de los ensayos para caracterizar los elementos que intervienen en la mezcla, se describen los procedimientos de obtención, elaboración y cálculos para posteriormente producir el diseño óptimo que podría colocarse en una vía.

Palabras clave: AGREGADOS TRITURADOS, ADITIVOS ADHERENTES, DOSIFICACION DE MATERIALES, DISEÑO DE MEZCLA.

ABSTRACT

It is important that the design of pavement used for a road meets its projected design, under this an analysis of hot mix asphalt modified with polymers period, and its components has been made. A description of the elements that conform the mix and the corresponding tests that give an idea of the improvements needed to be deployed to produce a mix asphalt that meets the required standards. A study of the features and convenience of the existing aggregates for the hot mix asphalt with a maximum aggregate size of $\frac{3}{4}$. The production of asphalt polymer object of this study carried out in the laboratory by heating conventional AC-20 asphalt produced in the refinery of Esmeraldas "Petroecuador", to which it is added the polymer to improve its rheological properties. Concepts that we introduce into our environment such as polymers, AMP, specifications, etc., also in the experimental part related to the development of tests to characterize the components involved in the mixture is exposed, the procedures for obtaining are described , processing and subsequent calculations to produce the optimum design that could be placed in a route.

Keywords: CRUSHED AGGREGATES, ADHERENT ADDITIVES, DOSING MATERIAL, MIX

INTRODUCCIÓN

Los caminos son la base de la conexión entre diferentes localidades geográficas desde épocas milenarias, incluso antes de que existan los seres humanos, los únicos seres vivientes que se trasladaban eran los animales los cuales formaban diferentes trazados de forma instintiva, tal que determinaban la ruta más corta y menos peligrosa hacia los lugares que necesitaban ir. En terrenos montañosos determinaron trazados de forma sinuosa para evitar las grandes pendientes. De aquí proviene el nombre de Rodillo Pata de Cabra que hemos adoptado en base a las grandes pisadas de los animales que marcaban sus caminos.

Cuando el hombre empezó a copiar estos caminos en la antigua Roma, comenzaron las primeras pruebas para determinar qué materiales eran los más adecuados para crear una estructura sobre la cual transitar.

Así nació “el firme” sobre el cual se coloca la carpeta asfáltica o el pavimento flexible que consiste en una mezcla de agregados con cemento asfáltico, esta estructura en conjunto soporta todo el tráfico, ya sea liviano o pesado, está compuesto de material granular pétreo debido a que mejora la estabilidad mecánica y resistencia del mismo, por lo que resulta el mejor cimiento para la calzada, cada capa del firme reparte cargas con un coeficiente de reparto tal que la siguiente capa (BASE – SUBBASE - MEJORAMIENTO) soporte las cargas transmitidas, estas capas también cumplen la función de dren, protección contra la subida de arcilla o heladas, etc.

Es por esto que gracias a los adelantos tecnológicos se goza de caminos que con el tiempo adoptaron nombres según su calidad de servicio, siendo las de mejor calidad las carreteras y autopistas las cuales son las mejores explainadas para la movilización terrestre.

En la actualidad el tráfico liviano y pesado combinado con los agentes climáticos, que han variado mucho en los últimos años, hace que el asfalto convencional se deteriore a corto plazo; lo cual obliga a mejorar cada vez más la resistencia de las vías y la tecnología actual permite que se pueda trabajar con asfaltos modificados con polímeros, es decir añadir o incorporar elementos al cemento asfáltico que se establecen como una estructura en este; aportando o mejorando las propiedades físicas, químicas y reológicas del asfalto logrando con esto mayores ventajas que desventajas.

Países vecinos como Perú y Colombia trabajan con asfaltos modificados con polímeros con gran éxito, lo cual se debe tomar como un incentivo y motivación para añadir y ampliar nuestra tecnología en pavimentos.

TEMA

Se tratará directamente las características que presenta el asfalto convencional AC20 + aditivo y el asfalto convencional AC20+aditivo +polímero, ya que sería redundar al tratar el asfalto convencional AC20 sólo, debido a que ya es demostrado en varios países que los polímeros y aditivos mejoran notablemente al betún asfáltico. Los hechos que se van a investigar tratan desde la calidad de los agregados o áridos usados, pasando por las diferentes proporciones que se usan de cada uno de ellos para reproducir la mejor mezcla, y los diferentes porcentajes de asfalto que concedan el óptimo de cada mezcla. El presente trabajo está sujeto a una variable causante del problema que es concretamente la falta de resistencia de las mezclas asfálticas convencionales frente a esfuerzos de fatiga y deformación de cargas vehiculares, y otra variable de efecto que causa esta falta de resistencia y produce cada vez intervenciones más inmediatas en todos los sectores de la región. También hay que aclarar que existe un estancamiento por deficiencia de pavimentos, problema que podría solucionarse con la modificación del asfalto para producir mezclas más resistentes.

El trabajo se delimita en las instalaciones de la Empresa ASFALTAR EP la cual ha concedido el permiso respectivo para realizar todas las actividades pertinentes, y también ha permitido el acceso para el muestreo de los materiales y la investigación de datos necesarios.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contextualización

El problema se origina desde que el hombre existe, ya que la necesidad de movilizarse para su sobrevivencia lo hizo evolucionar de tal forma que crearon diversas formas de transportarse, con esto surgieron las carreteras y el tráfico liviano y pesado de automotores; así, estas carreteras cada vez demandaban mayor confort para la movilización y empezaron a explotar los recursos naturales de propiedades aglomerantes para construcción de carreteras. De esta forma se fueron desarrollando cada vez más hasta que aparecieron las autopistas que demandan aún más confort de los usuarios; los aglomerantes como tal ya no son suficientes para soportar todas las cargas que cada vez crecen en volumen. Es por esto que se propone una investigación de cómo puede mejorar las propiedades del aglomerante asfáltico con una integración o adición de aditivos y polímeros que son capaces de mejorar las características reológicas de este.

Análisis crítico

El cuestionamiento nace de los ejemplos que se está viviendo actualmente en el Ecuador, más concretamente en la región Austral. A menudo se pueden encontrar con calles pavimentadas con carpeta asfáltica que se están interviniendo, ya sea que están

parchando las calles (bacheo) o que están colocando nuevas capas sobre los asfaltos dañados que no llegan ni a la cuarta parte de su vida útil proyectada. Las causas a esto son diversas, pero en la que se enfoca el presente trabajo es en el hecho de que el asfalto convencional no es suficientemente visco-elástico para soportar las cargas vehiculares, por lo que existe la necesidad de mejorar esta característica con la adición de aditivos y polímeros, y así no solo mejorar en el ámbito tecnológico sino también económico, ya que asfaltos convencionales que se dan mantenimiento en la mitad de su vida útil, modificándolos con polímeros, ese mismo mantenimiento se daría en intervalos de tiempo más grande.

Prognosis

Este problema afecta a toda la población ya sean usuarios de transporte o no, ya que vías en mal estado causan estrés por inconformidad, ruido, polvo y diversos factores que afectan a toda la población, también afecta la economía del pueblo ya que inversiones que podrían realizarse en muchas otras obras necesarias, cada vez se vuelve a invertir en los mismos daños. De mantenerse este problema, los factores antes mencionados se podrían volver crónicos y peor aún la economía de todo el pueblo se vería afectada.

Formulación del problema

Al no ser los asfaltos convencionales lo suficientemente resistentes para soportar los esfuerzos diversos de cargas de tránsito, y al no estar capacitados para aplicar estos métodos de modificación que ya son usados en otros países, cabe preguntarse a causa de qué se están suscitando estos problemas y cuáles podrían ser las soluciones.

Interrogantes

¿Qué factores influyen en la degradación acelerada de los asfaltos?

¿Cómo trabajan los asfaltos modificados?

¿Qué asfalto es más conveniente, AC20+aditivo ó AC20+aditivo+polimero?

Delimitación del objeto de investigación

El objeto de esta investigación se centra en el desarrollo de los pavimentos que compete a todas las empresas productoras de asfalto, ya que actualmente no basta con los ligantes asfálticos convencionales.

JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación se justifica por la realidad que se vive la región Austral y debido a que los polímeros son un medio que proporciona mejoras en los pavimentos

flexibles. También se justifica porque se aportan alternativas de construcción que además incluye nuevos conceptos y tecnologías que pueden dar pie para investigaciones en este sentido. Además de ser un trabajo explicativo, también puede ser aplicado en las vías y para que este proyecto llegue a ser factible se necesita la comprensión e inversión del gobierno y de las grandes empresas capaces de introducirse en los cambios que de alguna forma se exige por las deficiencias en los pavimentos.

OBJETIVOS

Objetivo General

1. Realizar mezclas asfálticas en laboratorio con los aditivos y polímeros propuestos, usando materiales de la empresa pública ASFALTAR EP que den una idea clara de las posibles mejoras que se pueden presentar.

Objetivos específicos

1. Realizar un proceso de estandarización en lo concerniente a la toma de muestras de asfalto en plantas asfálticas de propiedad de empresas constructoras dedicadas a la construcción de carreteras con capas de rodadura de pavimento flexible.
2. Determinar los agentes que degradan los asfaltos.
3. Presentar los resultados de las mezclas modificadas con polímeros.
4. Realizar los ensayos, analizar el asfalto y verificar si las normas son las adecuadas para nuestro medio.

FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque que orienta esta investigación principalmente es detener el problema que se tiene con los pavimentos flexibles que actualmente ya no son garantía de que las vías van a estar en buen estado.

Para enfocar este problema se utilizara la “nueva” tecnología que nos proporcionan los polímeros para modificar el asfalto. Conceptos en base a investigaciones del asfalto indican que éste es más flexible cuando está expuesto a la fatiga y más rígido cuando está expuesto a la susceptibilidad térmica que provocan las altas temperaturas, estos criterios inclinan a pensar que lo más adecuado es optar por las iniciativas indicadas para mejorar la calidad y durabilidad de las vías.

HIPÓTESIS

Las mezclas asfálticas con aditivo o polímero presentan altas resistencias para soportar el tráfico y los agentes climáticos garantizando mayor durabilidad.

METODOLOGÍA

Las herramientas teórico-prácticas utilizadas como método científico para la solución del problema en cuestión se basan en un diseño de investigación experimental a nivel cualitativo, descriptivo y explicativo; debido a que se analiza todos los materiales que componen una mezcla asfáltica y se los dispone de acuerdo a sus características físicas y de aporte mecánico para la mezcla objeto del trabajo. El sustento teórico se obtiene de variadas fuentes bibliográficas, y la demostración empírica por medio de estudios de campo y laboratorio para explicar la obtención de resultados y sustentar la aplicabilidad de vías pavimentadas con asfaltos modificados, mismo que tendría grandes posibilidades con el apoyo del gobierno. Así mismo la población y muestras se limitan al ámbito de la empresa ASFALTAR EP.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 AGREGADOS PÉTREOS.

(Padilla, 2004, págs. 5-16) Cita a (Smith M. R. and L. Collins, 1994) quienes enuncian que los agregados pétreos son materiales granulares sólidos inertes empleados para las estructuras de carreteras, si es necesario con aditivos; que están regidos a una normativa impuesta ya sea en pesos como en tamaños y formas. También se utilizan los agregados pétreos en los pavimentos ya sean rígidos de hormigón, o flexibles de asfalto o algún aglomerante de activación hidráulica para su conformación.

Las propiedades físicas de los agregados en forma individual son: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc., asimismo presentan sus propiedades químicas que son: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc. Y, las propiedades de conjunto se refieren a la resistencia del esqueleto mineral para soportar cambios granulométricos por acción de la compactación por el tráfico.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE AGREGADOS PÉTREOS PARA PAVIMENTOS.

1.1.1.1 Forma y angulosidad.

Se trata de los cambios granulométricos debido a los rozamientos y desgaste que existe entre las partículas, así como se ve en la figura 1, existen partículas redondeadas (i), irregulares (ii), angulares (iii), lajeadas (iv), alargadas (v) y alargadas-lajeadas (vi). Mientras más angulosa sea la partícula, incrementa la resistencia al corte, pero también tiende a fracturarse (Padilla, 2004).

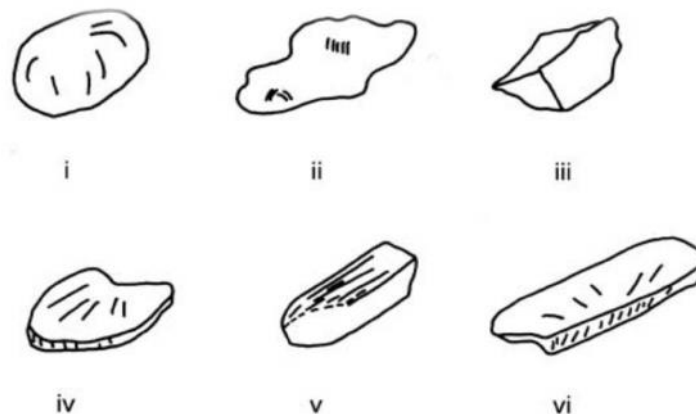


Fig. 1: Forma de partículas de Agregados Pétreos

Fuente: Padilla, 2004

Mientras las partículas de los agregados pétreos sean más próximos a formas cuboides aportarán mayor resistencia al pulimento que las partículas alargadas y proporcionan mayor estabilidad. Los factores intrínsecos como la composición de la roca afectan a la forma de los agregados durante los procesos de trituración.

1.1.1.2 Resistencia al desgaste.

Las capas de la estructura se comportan de acuerdo a su resistencia mecánica y para evaluar este comportamiento se realizan una serie de ensayos que pretenden ser los más ajustados a la realidad que luego tendrán los agregados en servicio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste. El ensayo al desgaste denominado de Los Ángeles es la prueba más común en la región Austral que consiste en dar una carga abrasiva al material a una cierta velocidad y tiempo, el cual proporciona información de la resistencia mecánica del material.

1.1.1.3 Adhesividad y resistencia al desplazamiento.

La adhesividad está relacionada directamente con los factores físicos y químicos tanto de los agregados como del ligante y de la reacción que se obtiene al mezclarlos.

Si la humedad de los agregados no es óptima, es decir hay un exceso, la adhesividad disminuye, así la superficie del agregado se polariza con un signo u otro dependiendo de su naturaleza ya sea en un caso ácida o silíceo donde no es buena la adhesividad por su hidrofilia o si son de naturaleza básica que son menos hidrófilos cargándose positivamente en presencia del agua. El agua es el principal perturbador de la adhesividad desplazando el ligante asfáltico de la superficie del agregado que quedará de nuevo descubierta o lavada. La adhesividad pasiva o también llamada

resistencia al desplazamiento del ligante dependerá de factores químicos y físicos como son afinidad polar por el ligante, espesor de la película y viscosidad del mismo, tensión superficial (ángulo de contacto) y textura superficial (Padilla, 2004).

Las rocas basálticas son las más usadas en la región Austral y empíricamente se establece que la afinidad ligante-agregado es aceptable, pero para todos los casos se debería realizar ensayos químicos indicativos de que esta afinidad existe y es apropiada.

1.1.1.4 Plasticidad y limpieza.

Todos los finos deben tener reducida su plasticidad e incluso que no sean plásticos (NP) en la mayoría de los casos es decir los agregados que pasan el tamiz N°40 debe tener un índice de plasticidad menor a 4 según las normas INEN 691 y 692.. Las fracciones gruesas deben estar exentas de polvo, fijando los límites admisibles a través del denominado coeficiente de limpieza o mediante el ensayo de los deletéreos que determina los terrones de arcilla y partículas friables en los agregados.

En ocasiones aunque el agregado fino no sea plástico, puede estar contaminado por partículas no arcillosas, que no se hayan podido detectar mediante los límites de Atterberg, pero igualmente nocivas. Un ensayo muy utilizado para caracterizar desde este punto de vista el agregado fino (realmente todo el material inferior a 5 mm., es decir, se incluye parte del agregado grueso y el polvo mineral) es el denominado Equivalente de Arena (Ministerio de Obras Publicas, 2002).

De todas estas características de los agregados se obtiene la aptitud para contribuir a la resistencia mecánica y a la deformación de la mezcla y se puede realizar un análisis petrográfico de los agregados basados la Tabla 1.

TABLA 1 Petrología de pavimentos

Petrología de pavimentos: características de las partículas			
Características de interés		Petrología	Ensayos
Forma	Planaridad- elongación	Textura y fábrica	Índices al-ap
	Angularidad(redondez)		
Textura Superficial	Rugosidad	Textura Desgaste natural	Descripción física
Gradación	Tamaño	Litología	Descripción física
	Distribución de tamaños	Procesos de trituración	Especificaciones
	Presencia de finos plásticos	Métodos constructivos	

Fuente: (Montero, 2006)

1.1.2 CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO SEGÚN SU PROCEDENCIA.

(Padilla, 2004) Manifiesta que se puede clasificar de acuerdo a su procedencia y técnica empleada para su aprovechamiento, de la siguiente manera:

1.1.2.1 Agregados Naturales:

Según las exigencias se adoptan los tamaños más adecuados.

1.1.2.2 Agregados de Trituración:

Su obtención proviene de la trituración de las rocas de cantera o granulometrías de rechazo de agregados naturales.

1.1.2.3 Agregados Artificiales:

Como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones que se pueden aprovechar.

1.1.2.4 Agregados Marginales:

Son aquellos que están fuera de los rangos de especificaciones.

1.1.3 CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO SEGÚN SU NATURALEZA.

(Padilla, 2004) Clasifica los agregados por su naturaleza petrológica en:

1.1.3.1 Agregados calizos.

Son rocas sedimentarias, se utilizan en la estructura de los firmes pero no es muy común como agregado grueso en los pavimentos, ya que fácilmente se deterioran o se pulimentan en condiciones de servicio, su naturaleza es básica por lo que es más afín al ligante asfáltico, en mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).

1.1.3.2 Agregados Silíceos.

Provenientes de las rocas sedimentarias, contienen óxido de silicio y se los obtiene a partir de la trituración de gravas naturales que al igual que los agregados calizos se utilizan en las estructuras de los firmes. Los materiales se caracterizan por ser granulares y su preparación consiste en separar las partículas más grandes a través de cribas, y el pasante se tritura sucesivamente presentando mayor angulosidad cuanto mayor caras de fractura se obtenga. Si el esqueleto mineral presenta alto contenido de sílice y de caras de fractura, puede aportar una suficiente adhesividad con el asfalto para así aplicarlo en mezclas asfálticas.

1.1.3.3 Agregados Ígneos y Metamórficos.

Son los más adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de pavimento. Los basaltos, gabros, pórfidos, granitos son las rocas ígneas más utilizadas y en las metamórficas las cuarcitas. El basalto es la roca más usada en la región Austral, la cual conserva su textura superficial ya que tiene una excelente resistencia al pulimento. En este grupo los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, en el caso de mezclas asfálticas esta característica se mejora con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

1.1.4 CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO DE ACUERDO A SU TAMAÑO.

1.1.4.1 Agregado grueso.

“Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4” (Padilla, 2004, pág. 11)

(Padilla, 2004) Las características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas dependen de:

a) *Granulometría.*

Los diferentes tamaños de áridos se obtienen por la trituración en planta, así la granulometría se la realiza mediante el tamizado de una muestra representativa de cada uno de estos y se determina las proporciones de agregados a mezclar según el “huso” granulométrico como se muestra en la figura 2 para obtener la resistencia requerida. Generalmente se usan mezclas de tipo continua.

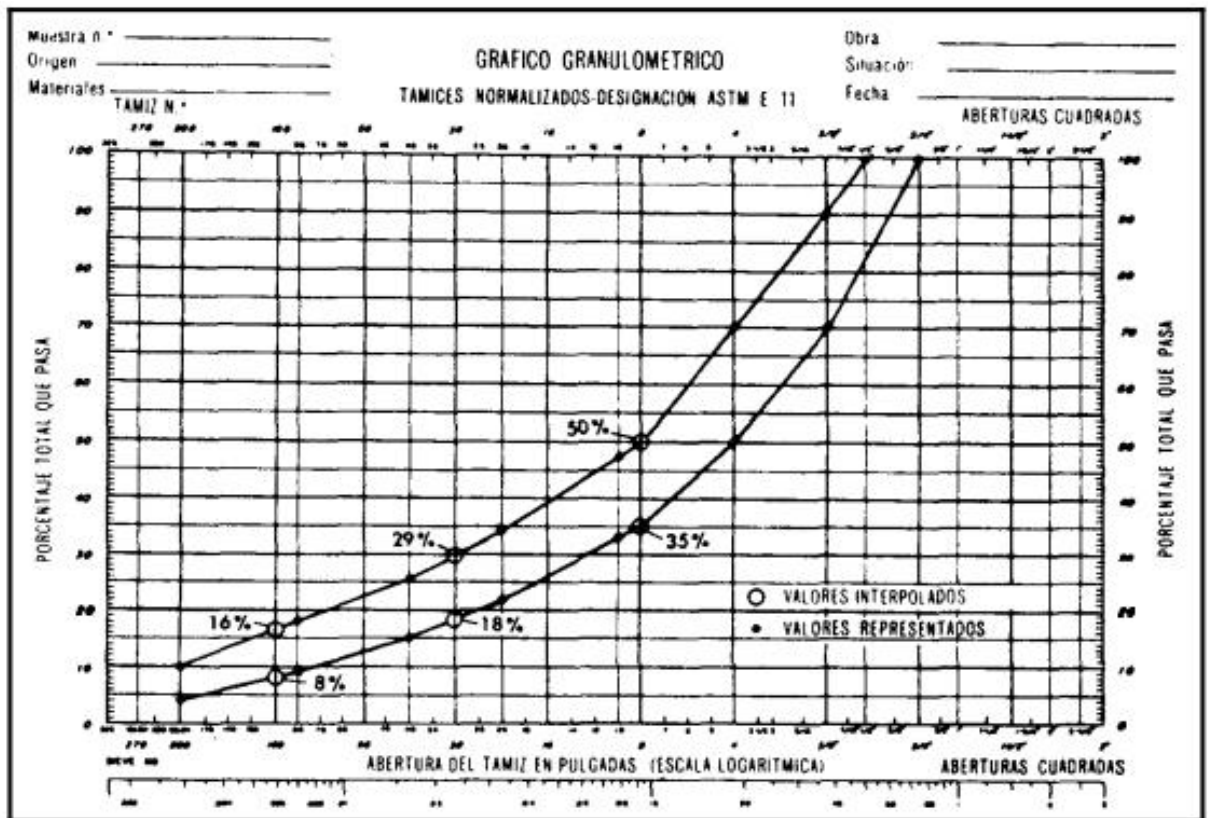


Fig. 2 Curvas granulométricas de los áridos

Fuente: Instituto del asfalto.

“El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a 63µm, llamada, polvo mineral o fíller, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico”.

b) Rozamiento interno.

Los agregados triturados por su angulosidad y su textura contribuyen a una buena capacidad de soporte por rozamiento interno y junto a una compactación adecuada la cohesión de los agregados dependen del ligante asfáltico.

c) Forma del agregado grueso.

Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides evitando las formas planas, alargadas y en forma de lajas, que son susceptibles a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Existen restricciones en las normativas del MTOP de materiales para pavimentos en donde se restringe el uso de partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lajas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso detallado más adelante en el ensayo de la sección 2.1.4. Las partículas ideales son en forma de cuboides.

d) Limpieza del agregado grueso.

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo muy aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación. (Padilla, 2004, págs. 12-13)

1.1.4.2 Agregado fino.

“Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200” (Padilla, 2004, pág. 13)

(Padilla, 2004) Las características y propiedades deseables de los Agregados Finos para su utilización en las mezclas asfálticas dependen de:

a) Procedencia.

El agregado fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad, o en parte de yacimientos naturales. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas. Regularmente se emplea arena natural en la elaboración de mezclas asfálticas que van a ser empleadas en pavimentos con una baja intensidad de tráfico y a bajos niveles de cargas, se deberá señalar la proporción máxima de arena natural no triturada, a emplear en la mezcla, la cual regularmente no será superior al 10% de la masa total del agregado

combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta. Hay autores y administraciones que consideran que una proporción del orden del 10% puede mejorar al tiempo la manejabilidad, la compactación e incluso la estabilidad de la mezcla (Padilla, 2004, págs. 13-14).

En la figura 3 se muestra la mina La Virginia de donde se extraen los materiales para triturarlos



Fig. 3 Mina La Virginia cantón Paute Prov. Azuay. Roca Basáltica

Fuente: www.elmercurio.com.ec

b) Limpieza del agregado fino.

Al igual que el agregado grueso, “el fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas, para evitar que se

presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad de la mezcla, entre otros” (Padilla, 2004, pág. 14).

c) Resistencia a la fragmentación del agregado fino.

El material que se triture para obtener agregado fino deberá cumplir las condiciones exigidas al agregado grueso sobre el coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Se recomienda usar agregado fino de otra naturaleza, que mejore alguna característica, especialmente la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de agregado grueso con coeficiente de desgaste de Los Ángeles inferior a 25 para capas de rodadura e intermedias y a 30 para capas de base. (Padilla, 2004, pág. 14)

1.1.4.3 Polvo mineral (Fíller).

De acuerdo con el (Instituto del Asfalto, 1962) la granulometría del filler deja pasar el 90% del tamiz #100 y el 65% del #200. El 65% se lo considera como polvo mineral. El polvo mineral según los métodos AASHO T89, T90 y T91 resultará no plástico.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200.

El filler o polvo mineral de aportación es un material pulverulento (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas (Padilla, 2004).

(Padilla, 2004) Las propiedades de los filleres tienen un efecto muy importante en la durabilidad potencial de las mezclas asfálticas, el efecto del filler, si es activo, suele mantener resistencia por más tiempo que si no lo es. La durabilidad potencial de la mezcla asfáltica suele mejorar con un incremento en el contenido de asfalto por encima del óptimo básico, es decir las condiciones óptimas de durabilidad se obtienen para contenidos de asfalto superiores al óptimo convencional, en este caso las muestras con filleres no activos resultan ser más sensibles al contenido de asfalto que en aquellas que contienen filleres activos.

(Sampedro, Val, Gallego, Querol, & Pozo, 2012) Un filler es activo cuando son producidos en centrales térmicas y dan como resultado sales hidratadas que suelen mantener su resistencia en periodos de tiempo largos a altas temperaturas en condiciones de contenido óptimo de asfalto, mientras que los filleres no activos como basaltos y areniscas que son los filleres que se recupera de la trituración de los aridos

suelen deteriorarse rápidamente, también bajo condiciones de contenido óptimo de asfalto.

(Padilla, 2004) Cita como características deseables del polvo mineral a las siguientes:

a) Finura.

Reduce el volumen de vacíos de la mezcla compactada evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico.

La densidad aparente del polvo mineral en Tolueno es una medida relativa del grado de finura del polvo, cualidad muy importante para las características finales de las mezclas. La densidad aparente del polvo mineral, en algunas normas aparece comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm³) (pág. 15).

El tolueno es un líquido incoloro con un olor característico. El tolueno ocurre en forma natural en el petróleo crudo y en el árbol tolú. También se produce durante la manufactura de gasolina y de otros combustibles a partir de petróleo crudo y en la manufactura de coque a partir de carbón (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2015)

O como lo describe (Geuffroy, 1977) es un hidrocarburo líquido que constituye una fracción ligera del alquitrán, de gran utilidad para disolver materiales viscosos virtualmente no volátiles como el asfalto; sirve para la determinación de la finura de un filler colocándolo en éste y midiéndolo por sedimentación del mismo.

b) Modificación del comportamiento reológico.

El polvo mineral (filler) aumenta la resistencia de la mezcla asfáltica, es decir, fluye con cargas más elevadas que una mezcla con menos polvo, por lo tanto aumenta también la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.

c) Acción estabilizante frente al agua.

El filler suele tener mayor afinidad con el ligante asfáltico por lo que mejora la resistencia al desplazamiento por efecto del agua y reduce la porosidad de la estructura granular.

d) Procedencia del polvo mineral.

El polvo mineral podrá proceder del material triturado, llamado filler de recuperación. También puede aportarse a la mezcla como un producto comercial o especialmente preparado.

El polvo mineral que quede adherido a los agregados luego de la disecación en la planta de asfalto no debiera exceder un valor del dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla. Si se asegurase que el polvo mineral procedente de los agregados cumple las condiciones exigidas al de aportación, será posible disminuir la proporción mínima de éste.

1.1.4.3.1 Propiedades del polvo mineral como componente de las mezclas asfálticas.

Las propiedades del polvo mineral manifestadas por (Padilla, 2004) describe los siguientes aspectos:

Para la caracterización físico-química del fíller y su influencia en el comportamiento y durabilidad de las mezclas asfálticas, el factor más significativo es la intensidad de adsorción. En los sistemas fíller-asfalto, existe adsorción entre un sólido y una fase viscosa, los factores que influyen más en el mecanismo de adsorción son la composición del asfalto y las propiedades del fíller, es decir, su composición mineralógica, sus características estructurales, la textura superficial y la superficie específica, el tipo de adsorción depende del tipo de fíller principalmente, todos los procesos de adsorción son exotérmicos y la cantidad de calor liberado depende del carácter de la interacción entre los átomos y moléculas adsorbidos y de la superficie del sólido (pág. 16).

El efecto que se logra en un pavimento a partir de la utilización de un fíller activo (respecto a la mezcla) en la dosificación de la mezcla asfáltica es que aumenta considerablemente su durabilidad ya que lo hace menos permeable, por lo tanto menos susceptible a la oxidación por agentes climáticos especialmente el agua.

Existen fíllers activos como cal hidratada y también fíllers dolomíticos que suelen mantener su resistencia en periodos de tiempo largos en condiciones de contenido óptimo de asfalto, mientras que los fílleres no activos como basaltos y areniscas suelen deteriorarse rápidamente, también bajo condiciones de contenido óptimo de asfalto. Aquí influye bastante el aspecto económico ya que los fíllers de fabricación son más caros que los que se obtienen en planta por trituración, así que por lo general se trabaja con fíllers de obtención por trituración de agregados en planta, cuidando que la cantidad de polvo en los agregados finos y gruesos no exceda el límite permitido.

Si se incrementa el contenido de asfalto se tiene un efecto favorable en la durabilidad de los pavimentos, esto se debe a que las capas de asfalto que recubren los agregados son más gruesas y a la reducción en el volumen de huecos que hace disminuir la penetración del agua a las capas. La mejora en la durabilidad con el incremento de contenido de asfalto no es uniforme debido a que depende del tipo de fíller involucrado en la mezcla.

1.2 TRITURADORAS.

En los numerales que forman parte de esta sección se esboza datos obtenidos de la (Universidad de Buenos Aires, 2012).

Existe una gran cantidad de trituradoras de distinto tipo, mismas que permiten efectuar el trabajo de desintegración en la preparación de rocas y minerales. Conforme al tipo de trituradora; y, a los esfuerzos a los que se someten a las rocas se utilizan unas u otras con sus ventajas técnico-económicas propias de cada una.

Seguidamente se consideraran solo aquellas trituradoras que se estiman más importantes y de aplicación más generalizada.

- De mandíbulas: de acción periódica o de acción continua
- De cilindros: fijos y móviles
- De martillos: Rígidos (fijos) y Articulados
- De impacto
- VSI (Vertical shape impact)

1.2.1 TAMAÑOS DE PARTÍCULAS.

Todas las rocas ya sean trituradas o de cantera se puede clasificar de acuerdo a su tamaño de la siguiente forma:

- Material grueso: trozos de un tamaño mayor a 75 cm (30").
- Material mediano: trozos de un tamaño de 10 a 75 cm (4" a 30").
- Material fino: trozos de un tamaño menor a 10 cm (4")

Seguidamente se detalla la trituración según los tamaños que se obtengan al salir:

Trituración (desintegración grosera)

- Trituración gruesa – tamaños de partículas de salida: 15 cm (6").
- Trituración mediana – tamaños de partículas de salida: entre 3 y 15 cm (1¼" a 6").
- Trituración fina – tamaños de partículas de salida: entre 0.5 y 3 cm (1/5" a 1¼").

Molienda (desintegración fina)

- Molienda grosera – tamaños de partículas de salida: entre 0.1 y 0.3 mm.
- Molienda fina – tamaños de partículas de salida: menores de 0.1 mm.

Existen varias etapas de trituración; es decir, primaria, secundaria, etc., de esta forma se obtienen los tamaños requeridos para cada obra y situación; en la figura 4 se observa una trituradora de fase secundaria, es decir que el material pasa por dos fases

de desintegración y luego se las separa mediante cribas de acuerdo a los tamaños que se obtengan.



Fig. 4 Trituradora ASFALTAR E.P

Fuente: Ensayos de Laboratorio

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Para obtener el tamaño del material se usa una serie de tamices donde se relaciona el tamaño de los agujeros de cada tamiz con los pesos que pasan por éstos. Posteriormente, el tamaño medio de la muestra se calculara con la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum_i D_i \cdot k_i}{\sum_i k_i} \quad (1)$$

Dónde:

D: Diámetro medio de las partículas.

D_i: Tamaños de los agujeros de cada tamiz.

ki: Cantidades (en peso) de partículas que pasan cada tamiz.

Con frecuencia, para asegurar la desintegración total deseada, es necesario efectuarla en dos o más etapas. Para ello se colocan trituradoras o molinos en serie, así el mineral extraído del yacimiento alimenta una trituradora primaria, y la descarga de ésta alimenta la trituradora secundaria, y así sucesivamente llamándose las etapas posteriores terciaria, cuaternaria, etc.

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS.

Según las características más relevantes se tiene una idea de cómo se van a comportar en la trituración.

La dureza por ejemplo, determina el procedimiento de desintegración a seguir, los muy duros como el diamante y duros como granito o cuarzo, conviene que sean desintegrados por trituradoras que trabajen al aplastamiento y choque. Los medios como caliza o dolomita y blandos como yeso o talco, también pueden ser tratados por maquinas que trabajen al frotamiento y al aplastamiento. La humedad permite decidir, en molienda por ejemplo, el tipo a utilizar ya sea seca o húmeda, e incluso el molino más conveniente. Así mismo, el peso específico de una roca varía con el tamaño de partícula, por lo que permite calcular las capacidades reales de producción de trituradoras y molinos en función de los volúmenes a tratar y el grado de desintegración requerido.

1.3 ASFALTO.

La ASTM lo define como “un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfaltenos y maltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo”.

De acuerdo con (Rogers Martin & Wallace, 1963) El asfalto era un material nativo procedente de yacimientos o lagunas asfálticas, datan los más antiguos de hace 4 o 5 millares de años en Irak y regiones confines a ésta, en cuya localidad existen actualmente campos petrolíferos donde el crudo asfáltico ascendió a la superficie, de los cuales mediante métodos de destilación lentos y burdos se obtuvo combustibles y productos bituminosos.

Otro ejemplo de cómo la naturaleza realiza maravillas son los asfaltos de la isla Trinidad y los yacimientos de la Brea, ya que con el debido proceso de refinamiento se han extraído durante muchos años centenares de miles de toneladas de asfalto sin que muestren señal de disminución.

Por otro lado (Padilla, 2004) y (Valero, 1970) definen a los asfaltos como una mezcla compleja de hidrocarburos de las series parafínicas, nafténicas y aromáticas con ciertos derivados conteniendo en su molécula oxígeno, azufre y nitrógeno; que se presenta en

forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

También (Lopez & Veloz, 2013) enuncia que la composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo del cual se desprende.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfaltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfaltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermedias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfaltenos. Los maltenos y asfaltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

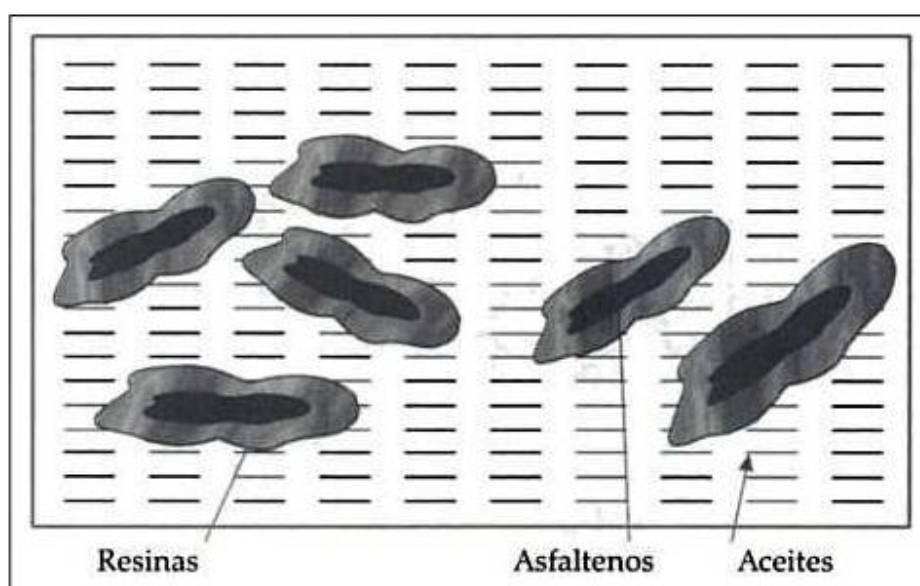


Fig. 5 Esquema coloidal de Pfeiffer

Fuente: Hugo León Arenas, Tecnología del cemento asfáltico.

La consistencia de los ligantes asfálticos depende de su viscosidad que varía por la temperatura, gracias a esta propiedad es que se logra a altas temperaturas viscosidades bajas para envolver las partículas de árido y compactar las mezclas a medida que se enfrían por el aumento de la viscosidad para actuar como aglomerante.

En base a ello (Valero, 1970) enuncia que a las temperaturas de servicio en la carretera, la viscosidad del ligante varía de manera notable adquiriendo una

consistencia casi de sólido quebradizo a bajas temperaturas y de líquido fluido en verano; así, la variedad de climas hace necesario también disponer de materiales de consistencia más o menos dura, para que dentro del margen de temperaturas de servicio su consistencia sea la apropiada, sin exceso de reblandecimiento en verano ni de rigidificación en invierno, así se clasifica a al betún asfáltico mediante el ensayo de penetración a 25°.

La figura 6 muestra la relación de viscosidad-temperatura de los diferentes tipos de penetración.

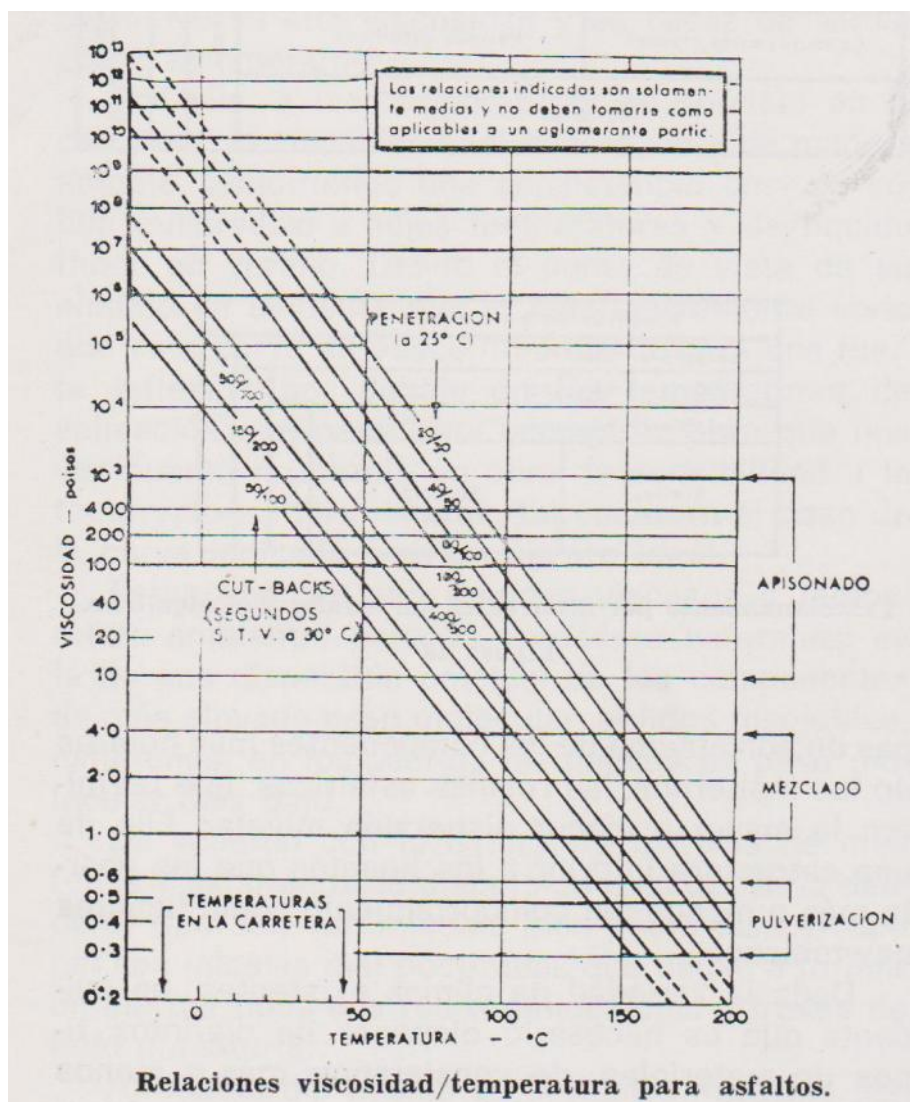


Figura 6 Relaciones viscosidad/temperatura para asfaltos

Fuente: (Valero, 1970)

(Rogers Martin & Wallace, 1963) Manifiestan que los procesos para refinar el asfalto se siguen para separar el crudo en varios elementos combustibles y bituminosos, a su vez estos de diferentes tipos, así para la obtención del asfalto se usan dos procedimientos diferentes: la destilación al vapor y al vacío, y el método de extracción por solventes.

- **Proceso de destilación.-** Es mediante vapor al vacío que separa el crudo en diversos productos, consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. Los vapores o fracciones más ligeras se reúnen en las bandejas superiores de la torre de destilación y se llevan a un condensador. El líquido o residuo de destilación se junta todo en el fondo de la torre que luego se bombea a otras unidades de la refinería. Controlando la temperatura del residuo pesado en el horno tubular y la cantidad de vacío aplicada a la torre pueden separarse las fracciones más ligeras de la primera destilación.

Si se aumenta la temperatura del crudo en el horno tubular y el vacío aplicado a la torre, se obtiene un asfalto de baja penetración; inversamente, la disminución de la temperatura del crudo y del vacío aplicado producen un material de penetración más alta; es decir, más blando.

(Vazquez, 2010) Dice que el asfalto posee las siguientes propiedades de reología físico-mecánicas, mismas que son determinantes para calificar la capacidad de un asfalto:

a) *Viscosidad:* Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan mayor resistencia a fluir en comparación de un fluido con baja viscosidad que fluye con facilidad. Es importante mencionar que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; a mayor temperatura, menor viscosidad.

b) *Elasticidad:* Propiedad que tienen los materiales para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los modifica.

c) *Resistencia al corte:* Es la capacidad de resistencia a altas temperaturas, la cual se determina con un "reómetro de corte dinámico", que es el aparato que imprime una fuerza cortante cosenoidal con la que se miden dichas resistencias.

d) *Ductilidad:* Es la capacidad de disipación de energía que tiene un material dentro de su rango plástico. La rotura del material es dependiente de la deformación del mismo. En el caso del asfalto, la ductilidad le permite normalmente tener mejores propiedades aglomerantes, y los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.

e) *Pérdida de masa:* Es la pérdida de solventes o ligeros.

En la figura 7 se muestra un esquema de la obtención del asfalto y los derivados del crudo petrolero.

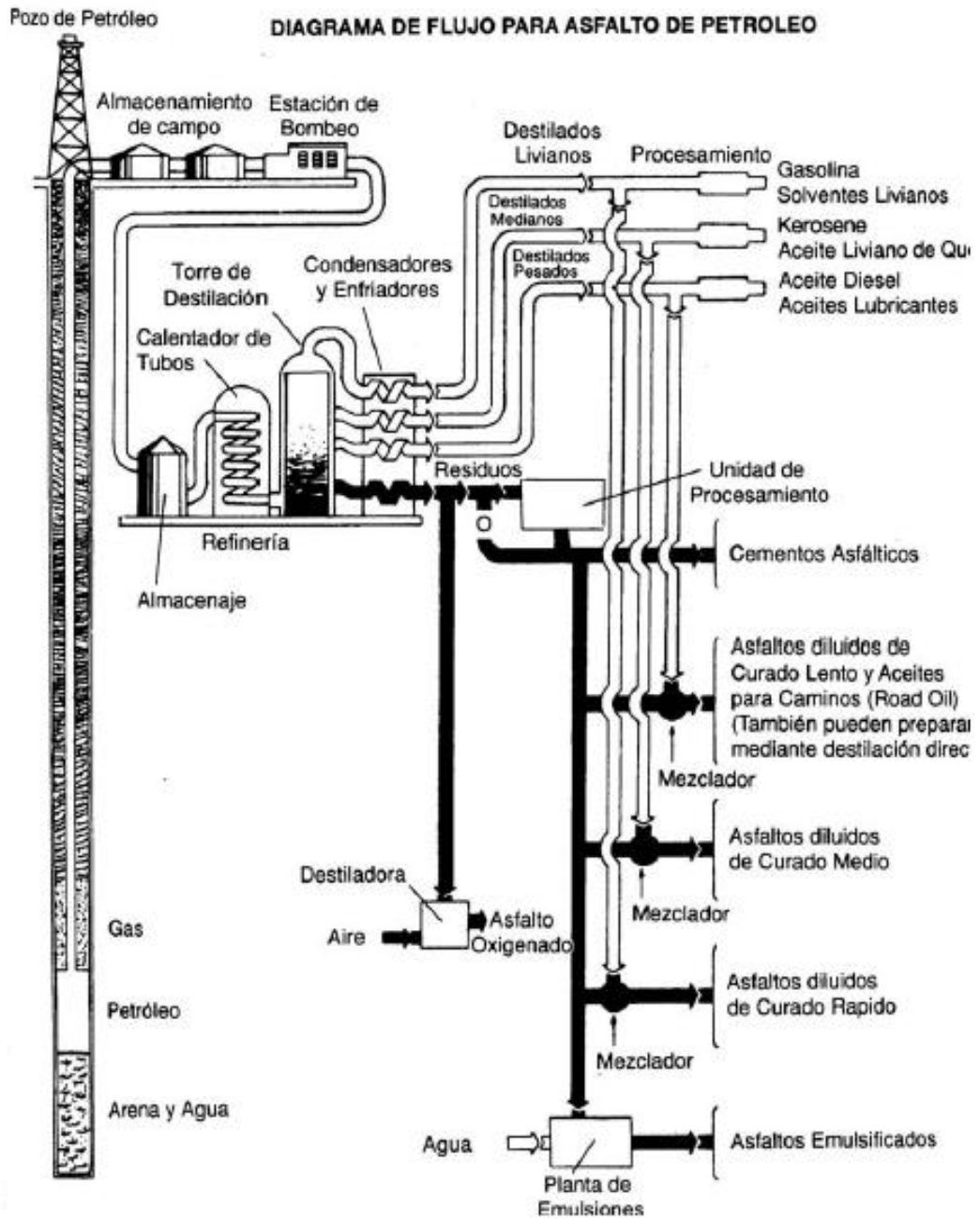


Fig. 7 Diagrama de flujo para asfalto de petróleo

Fuente: Asphalt Institute. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente

La figura 8 es un esquema de la destilación del asfalto de petróleo, la mayoría de refinerías separan el crudo en: 1) gasolina de destilación; 2) keroseno; 3) diésel-oíl; 4) gasóleo o aceite lubricante, y 5) material residual pesado, los cuales a su vez pueden redestilarse para su ulterior separación con propiedades bien definidas.

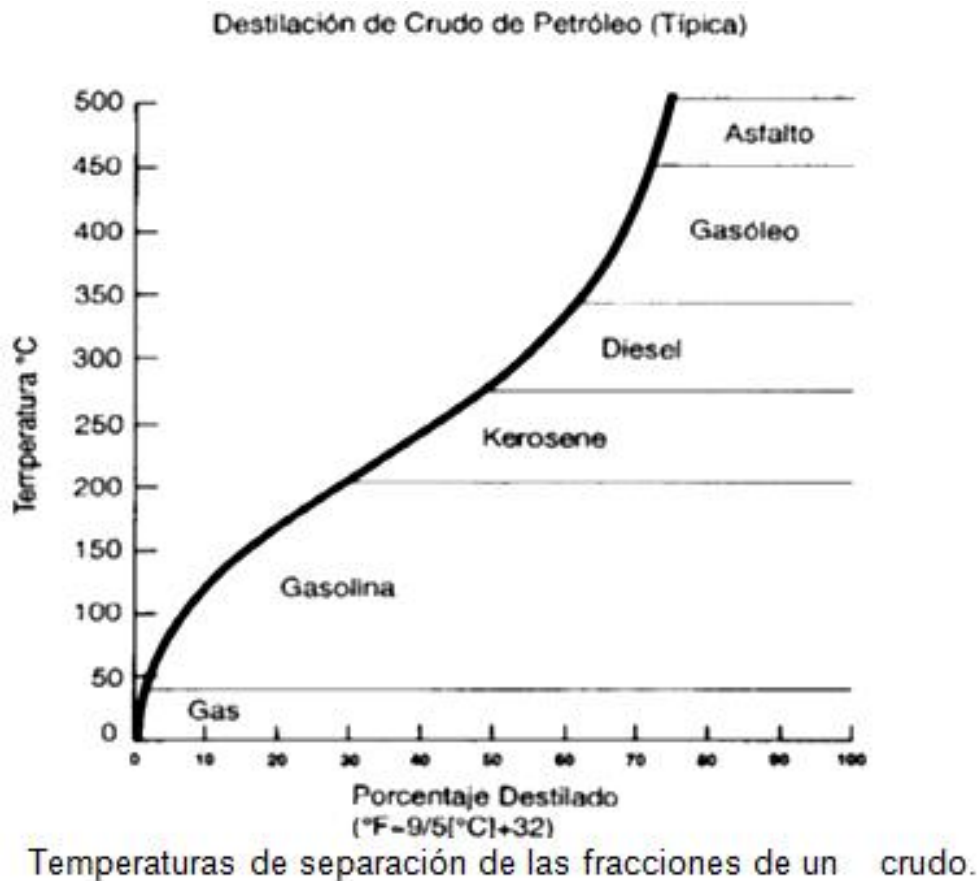


Fig. 8 Destilación de Crudo de Petróleo

Fuente: Instituto del Asfalto

- Método de extracción por solventes.- El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfaltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfaltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. Para extraer el asfalto se emplea el propano; que da un asfalto de penetración baja; por esto es usual mezclarlo con una pequeña cantidad de material residual blando.

También mezclar ciertos porcentajes de asfalto al vacío de alta y baja penetración para obtener un material de penetración intermedia.

En el proceso de refino del asfalto se obtienen asfaltos de dos clases y se los clasifica de acuerdo a la tabla 2.

TABLA 2 CLASIFICACIÓN DEL ASFALTO



Fuente: <http://slideplayer.es/slide/2273522/>

1.3.1 CEMENTO ASFALTICO (AC).

(Instituto del Asfalto, 1962)

Se prepara comercialmente en grados o rangos de consistencia con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 50-70, AC 60-80, AC 80-100. Los números indican la penetración en décimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los más utilizados en la clasificación del asfalto por el cual se mide la consistencia del mismo.

En el Ecuador se comercializa Asfalto tipo AC-20 (Viscosidad de 1600 a 2400 Poises) y el "RC 250" que se utiliza para riego de imprimación.

La penetración varía directamente con la viscosidad del asfalto, es decir mientras más viscoso es el ligante menor penetración y viceversa. Propiedades que afectan al pavimento en uso siendo muy rígidos o muy blandos respectivamente, a continuación en la figura 9 se observa la variación de la viscosidad con la temperatura.

CEMENTO ASFALTICO AC - 20

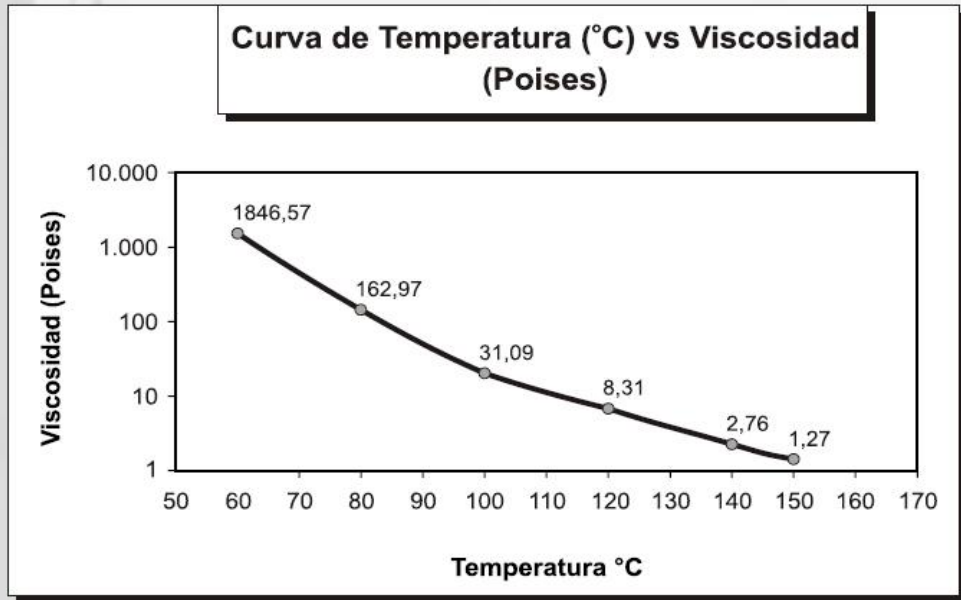


Fig. 9 Curva Temperatura – Viscosidad.

Fuente: <http://slideplayer.es/slide/2273522/>

En resumen, los ensayos aplicables en el país están definidos en el manual de normativas viales del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas). Se detallan las normas que rigen a cada uno de ellos en la Tabla 3

TABLA 3 NORMAS VIGENTES DE ENSAYOS DE PRODUCTOS ASFALTICOS

NORMAS VIGENTES DE ENSAYOS DE PRODUCTOS ASFALTICOS		
ENSAYO	NORMA INEN	NORMA AASHTO
1) CEMENTOS Y SIMILARES		
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	915	T 44
DUCTILIDAD	916	T 51
PENETRACION	917	T 49
MUESTREO	922	T 40
PUNTO DE INFLAMACION		T 79
VISCOSIDAD SAYBOLD-FUROL		T 72
VISCOSIDAD CINEMATICA		T 201
VISCOSIDAD ABSOLUTA		T 202
PRUEBA DE LA MANCHA		T 102
PUNTO DE ABLANDAMIENTO		T53

Fuente: (Ministerio de Obras Publicas, 2002)

Los tipos de asfalto descritos en los numerales 1.3.2 al 1.3.4 se basan en los planteamientos de (Rogers Martin & Wallace, 1963)

1.3.2 ASFALTOS LÍQUIDOS O ASFALTOS DILUIDOS.

Son los materiales asfálticos de curado rápido, medio y lento; RC, MC y SC respectivamente. Se llaman así porque se fabrican por mezcla del asfalto con cierta cantidad de disolvente o material de corte, que se evapora dejando solo el asfalto. Influye también la viscosidad dependiendo de la cantidad de disolvente que se emplee en los cutbacks.

1.3.3 EMULSIONES.

Son una combinación de agua, asfalto y un agente emulsificante que permite tender carpetas asfálticas en frío. Además, existen tres tipos de emulsiones que son de rotura rápida, media y lenta; RS, MS y SS respectivamente, se llaman así ya que dependen de la evaporación del agua que contiene para que las partículas del asfalto se unan.

1.3.4 ASFALTOS OXIDADOS O SOPLADOS.

Inyectando aire a través del residuo durante la última parte del proceso del refino pueden obtenerse asfaltos semisólidos de propiedades especiales. El proceso de destilación en asfaltos soplados u oxidados se interrumpe cuando el residuo todavía es líquido, a su vez, éste se traslada a otro tanque convertidor y se pasa aire por medio de él, mientras se mantiene alta temperatura. Los asfaltos oxidados adquieren altas consistencias a temperaturas que deben soportar cuando están expuestos a agentes atmosféricos. Estos asfaltos no son utilizados para la pavimentación.

Estos tipos de asfalto no son parte del estudio de mezclas asfálticas en caliente, pero cabe conocer los conceptos básicos de cada uno de ellos.

1.3.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS COMO PARTE DEL PAVIMENTO.

Los datos consignados en el presente numeral y correspondientes subdivisiones tienen como sustento las exposiciones de (Rogers Martin & Wallace, 1963, págs. 19-33).

“F. N. Hveem clasifica las propiedades de los materiales asfálticos empleados en pavimentación en cuatro grupos generales de acuerdo a:

1. Consistencia.
2. Durabilidad o resistencia al envejecimiento.
3. Velocidad de curado.
4. Resistencia a la acción del agua”.

1.3.5.1 Propiedades que definen el tipo de asfalto y su adecuación para cualquier uso.

a) Consistencia.- Ésta depende de la fluidez que tenga el asfalto y por tanto de su viscosidad. Los métodos para la medida de consistencia son.

- Viscosidad Furol.
- Penetración.
- Ensayo del flotador.

De los tres ensayos listados, el de penetración será objeto del presente estudio.

- **Penetración.-** Trata de determinar las cualidades o poder cementante a la temperatura normal de la carretera para determinar la consistencia. Teniendo en cuenta que cuanto más rígido es el asfalto, más fuertemente une las piedras en una mezcla. Se determina la penetración a 25° que es la temperatura ambiente media, permitiendo que una aguja cargado con un peso de 100 gr. penetre en el material durante un periodo de 5 seg. La penetración y la

consistencia son inversamente proporcionales; es decir, cuanto mayor es la penetración, más blando es el asfalto. mediante la penetración También se ha comprobado que en relaciones de temperatura-consistencia, la consistencia de asfalto de pavimentación queda mucho más afectada por los cambios de temperatura que la del asfalto oxidado.

TABLA 4 PENETRACION RECOMENDABLE PARA DIVERSOS TIPOS DE BETUNES ASFALTICOS

	CLIMA			
	Cálido árido	Cálido húmedo	Moderado	Frio
	60-70	60-70	60-70	85-100
	60-70	60-70	60-70	85-100
	60-70	60-70	60-30	85-100
	60-70	60-70	60-70	85-100
	85-100	85-100	85-100	120-150
Calles				
Tráfico pesado y muy pesado	60-70	60-70	W70	85-100*
Tráfico medio allgero	85-100	85-100	85-100	85-100
Caminos particulares				
Industriales	60-70	60-70	60-70	85-100
Eslaciones de servicio	60-70	60-70	60-70	85-100
Residenciales	60-70	60-70	85-100	85-100
Aparcamientos				
Industriales	60-70	W70	60-70	60-70
Comerciales	60-70	60-70	60-70	85-100
Zonas de recreo				
Pistas de tenir.	85-100	85-100	85-100	85-100
Terrenos de juego. ..	85-100	85-100	85-100	85-100
Bordillos	60-70	60-70	60-70	85-100

Fuente: Manual del Asfalto

La tabla 4 determina la rigidez de los diferentes betunes según su índice de penetración; mientras más bajo el índice, más rígido el betún asfáltico, y viceversa. En

la tabla 5 se hace referencia, además de lo establecido en la tabla 4, a los asfaltos líquidos y sus aplicaciones.

TABLA 5 PRINCIPALES EMPLEOS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS

Tipo de construcción ¹	asfálticos					Asfaltos líquidos															Emulsiones Inversas	Emulsiones Cationicas																
	40/50	60/70	85/100	120-150	200-300	Curado rápido (RC)					Curado medio (MC)					Curado lento (SC)							Emulsiones asfálticas															
						0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2			3	4	5	RS- 1	RS- 2	MS- 2	SS- 1	SS- 1h								
Mezcla en instalación mezcladora Aplicada en caliente.		x	x	x	x																																	
Mezclas en caliente. Método modificado. .																																						
Mezclas aplicadas en frío— Aridos de tipo macadam.																																						
Mezclas aplicadas en frío— Aridos graduados																																						
Macadam por penetración Huecos grandes																																						
Huecos pequeños																																						
Mezcla "in situ" Aridos de tipo macadam.																																						
Aridos de granulometría abierta.																																						
Aridos de granulometría densa																																						
Tratamientos superficiales con áridos de cubrición																																						
Tratamientos de sellado																																						

Fuente: Manual del Asfalto

b) Durabilidad o resistencia al envejecimiento.-

Para que sirva satisfactoriamente como ligante, un asfalto de pavimentación debe mantenerse plástico. Cuando un asfalto en película delgada se expone a las inclemencias atmosféricas, a veces pierde parte de su plasticidad y se hace quebradizo a causa de ciertos cambios físicos y químicos. Este deterioro natural se le llama envejecimiento atmosférico. (pág. 24)

Este fenómeno causa agrietamientos y si no se remedia de alguna forma el agua entra por las grietas, reblandeciendo la base o helándose, dando como resultado un pavimento desecho.

El envejecimiento atmosférico de los asfaltos se produce principalmente por oxidación y volatilización, en menor parte por los rayos ultravioletas y posiblemente la acción de lavado por el agua. Se busca siempre combatir o disminuir dichos efectos, los cuales se detallan a continuación.

- Oxidación y volatilización.- Se ha comprobado que los asfaltos con mayor penetración, es decir los más blandos, son más resistentes al fenómeno de endurecimiento progresivo y permanente del ligante, este se da porque al oxidarse el asfalto entra oxígeno por el aire. La volatilización consiste en la pérdida de los hidrocarburos más ligeros.

- Efecto de la temperatura.- La elevación de la temperatura acelera mucho la oxidación y volatilización del asfalto, esto explica el por qué el calentamiento excesivo puede perjudicar gravemente aunque el exceso de temperatura no sea de muchos grados, es decir, la proporción en que se producen oxidación y volatilización en una mezcla en la planta a 179°C es 8 veces mayor que la que se produciría a 150°C.

- Efecto de la superficie.- El endurecimiento del asfalto aumenta en proporción directa al cociente de la superficie total expuesta por el volumen total. Así, en pavimentos se demanda un cierto número de huecos o vacíos; a mayor cantidad de vacíos mayor superficie expuesta a la oxidación.

- Acción de la luz.- Debido al proceso de foto-oxidación que es la acción que causan los rayos ultravioletas destruyendo las moléculas de asfalto descomponiéndolas en agua, se produce una oxidación acelerada del asfalto. Este deterioro es más frecuente en riegos de sellado delgados y superficies de asfalto delgadas, por lo que resulta irrelevante profundizar al respecto en el presente trabajo de investigación.

- Endurecimiento.- Se da en el asfalto incluso si está protegido de los agentes deteriorantes citados, ya que al calentarlo y dejar que se enfríe a temperatura atmosférica produce una reordenación de las moléculas formando una estructura de tipo gel. Este proceso es reversible por calentamiento o por agitación mecánica o amasado energético, así el asfalto recupera su penetración. Cabe mencionar que por lo

general se les atribuye a los asfaltos las averías de los pavimentos, sin embargo, los verdaderos causales podrían ser por alguna otra razón, tal como base o estructura débil, áridos de mala calidad o ejecución incorrecta.

- Asfaltos de cracking. Otra causa que origina pavimentos de mala calidad son los asfaltos que han sufrido *cracking* en el proceso de refino, estos asfaltos envejecen más rápido. Se los evalúa por su color, pero más precisamente mediante el ensayo de la mancha que consiste en disolver el asfalto y luego observar su coloración, si ésta es negra se considera que no ha sufrido *cracking*; pero, si el centro es oscuro y el borde de un color más claro se considera que ha sufrido *cracking*. Hay que tener mucho cuidado en este ensayo ya que si un disolvente normal da positivo en *cracking* y se sabe de antemano que el asfalto no sufrió *cracking* en el proceso de refino, se debe usar un disolvente más activo hasta que el ensayo resulte y con este se hace los respectivos ensayos de la mancha de los diferentes asfaltos.

c) Velocidad de curado.- los asfaltos líquidos o cutbacks tienen sus diferentes etapas de curado dependiendo del disolvente que se utilice. El curado se define como el aumento de la consistencia de un asfalto debido a la pérdida progresiva de disolventes por evaporación. La volatilidad y cantidad de disolvente y la penetración del asfalto base son las propiedades intrínsecas que afectan al tiempo de curado, así mismo los factores externos son la temperatura, superficie y velocidad del viento. Existen algunos ensayos que no se detallarán debido a que los asfaltos líquidos o cutbacks no son de interés dentro de los objetivos de este trabajo.

d) Resistencia a la acción del agua.- Contemplada solo para asfaltos mezclados en frío, se emplea también aditivos con el producto de imprimación, como medida preventiva contra el desplazamiento de asfalto por el agua.

La tabla 6 indica las especificaciones para betunes asfálticos, la misma que es utilizada en el Instituto del Asfalto.

TABLA 6 ESPECIFICACIONES PARA BETUNES ASFALTICOS.

Características	Método ASTM	Ligantes para pavimentación		
Condiciones generales.	El asfalto procederá de la destilación del petróleo; debe ser de características uniformes y no producir espuma cuando se calienta a 175° C.		
Punto de inflamación (vaso abierto Cleveland) ° C	D92	232+	218+	177+
Penetración, 25° C, 100 g, 5 seg.	D5	Penetraciones		
		40-50 50-60 60-70 70-85 85-100	100-120 120-150 150-200	200-300
Pérdida por calentamiento, 163° C, 5 h, %	D6	1—	2—	2—
Penetración del residuo de pérdida por calentamiento, 25° C, 100 g, 5 seg. % de la original.	D5	70+	70+	60+
Ductilidad:				
A 25° C, cm.	D113	100+	60+	
A 15° C, cm.	D113	60+
Solubilidad en tetracloruro de carbono, %	D4 *	99,5+	99,5+	99,5+

* Salvo que se usa tetracloruro de carbono en lugar de sulfuro de carbono, método 1.

Fuente: (Rogers Martin & Wallace, 1963)

1.4 POLÍMEROS.

(Vazquez, 2010) Manifiesta que:

En el siglo XVI con el descubrimiento de América, se obtuvo el primer contacto con un material extraído del árbol nativo (Vahea Brasiliensis), este era producto de la coagulación del caucho, el cual presentaba características de gran elasticidad y flexibilidad desconocidas en ese entonces, al ser llevado a Europa adquiere el nombre de hule o caucho.

En 1846 Christian Schönbien (químico alemán) mezcla algodón con ácido nítrico dando origen a la nitrocelulosa que fue el primer polímero semi-sintético. Años más tarde, (1862) Alexander Parker (inglés) patenta la nitrocelulosa, también conocida como parquetina.

El primer polímero sintético fue producido por Leo Baekeland en 1912 a partir de la reacción entre fenol y formaldehído, dando origen a un producto sólido (resina fenólica) conocido como baquelita. Todos estos compuestos fueron tratados como macromoléculas y en 1953 el creador de esta teoría el científico alemán Hermann Staudinger obtuvo el Premio Nobel de Química.

En Norteamérica, (1910) los laboratorios de la casa Du Pont, el químico W. H. Carothers descubre por medio de reacciones de condensación de poliamidas un polímero al que bautiza con el nombre de Nylon. Con la segunda guerra mundial (1939 – 1945) hubo un gran auge en el campo de investigación de los polímeros sintéticos, un ejemplo es el descubrimiento del hule sintético (SBR) en Alemania.

(Wulf, 2008) Enuncia que el término polímero proviene del griego “poli=mucho” y “mero=parte”. Los polímeros son sustancias de alto peso molecular y formados por moléculas gigantes denominadas macromoléculas que se forman a partir de miles de moléculas más pequeñas llamadas monómeros que tras un proceso de polimerización toman diversas formas ya sea de escalera, cadenas unidas o termofijas, es decir, que no pueden separarse al ser calentadas, además existen formas largas y sueltas.

(Vazquez, 2010) La reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se llama polimerización, el tamaño de la cadena dependerá de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción.

La utilización comercial de un nuevo producto como el caso de los polímeros depende del costo y sus propiedades. El costo, depende básicamente de su proceso de polimerización y la disponibilidad de los monómeros. Así, las principales fuentes de materia prima para la producción de monómeros son:

- Productos Naturales.
- Hulla o Carbón Mineral.
- Petróleo (Vazquez, 2010, pág. 22).

Referente a la producción de los polímeros (Vazquez, 2010) expresa que:

Los polímeros al igual que muchos materiales se obtienen a partir de materia prima como las nombradas anteriormente en plantas especializadas, el proceso para producir un polímero es llamado polimerización, existen dos tipos:

Polimerización en cadena: El material inicial para la polimerización en cadena con frecuencia es un monómero, en el que hay un enlace doble que se puede abrir con la ayuda de un compuesto llamado iniciador (sustancia orgánica o inorgánica o también puede ser un catalizador que no se consume en la reacción).

Se lleva a cabo utilizando temperatura elevada y presión baja, este proceso es conocido también como polimerización por adición.

Las estructuras más frecuentes para llevar a cabo este tipo de reacción son los hidrocarburos, en los que el carbono y el hidrogeno pueden formar cadenas rectas (hidrocarburos alifáticos) y anillos de benceno (hidrocarburos aromáticos).

Polímeros de reacciones por pasos: En este caso se unen dos monómeros en grupos cortos que crecen gradualmente, pero también se libera un derivado de bajo peso molecular, por ello se le llama también reacción por condensación.

En estos polímeros, la longitud promedio de la partícula es controlada cuando se lleva a cabo la reacción, esto significa que el grado de polimerización o número de meros es controlado (pág. 24).

Se puede decir que casi todo lo que existe en la naturaleza son polímeros ya sea en forma natural o sintética, a excepción de los metales y los compuestos inorgánicos, ya que desde la era primitiva el hombre buscaba la forma de subsistir mediante el uso de los polímeros naturales como el cuero, lana y fibras; dándoles un tratamiento para su uso.

En definitiva, un concepto más claro de polímero en el campo de la ingeniería, es una estructura molecular tipo red de diferentes formas que se añade a un elemento como el asfalto para mejorar su reología.

1.4.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ORIGEN.

(Tonda, 2010)

a) **Polímeros naturales.-** Existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas; por ejemplo las proteínas, los ácidos nucleicos, polisacáridos (celulosa, quitina), el hule o caucho

natural, la lignina, etc. El algodón, lino, cáñamo, madera, lana, cuero y seda son materias primas o recursos naturales de amplia aplicación tecnológica.

b) Polímeros semisintéticos.- Se obtienen por transformación de polímeros naturales; por ejemplo la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.

c) Polímeros sintéticos.- Muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros; por ejemplo el nylon, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno, etc.

1.4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU COMPORTAMIENTO EN LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA.

a) Termoplásticos.- Se refiere al conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante fuerzas intermoleculares que forman estructuras lineales o ramificadas, el rozamiento de éstas ofrece resistencia a separarlas, este rozamiento representa las fuerzas intermoleculares que los mantiene unidos. Se caracterizan por su ablandamiento al calentarse y por su endurecimiento al enfriarse sin cambios en sus propiedades. (¿Que es un termoplastico?, 2011-2015)

b) Termoestables.- Presentan una estructura del tipo reticular basada en uniones covalentes, con entrelazamiento transversal de cadenas, mismo que se produce por calor o una combinación de calor y presión durante la reacción de polimerización.

Con frecuencia los polímeros termoestables se adquieren en forma de dos resinas líquidas que contienen; por un lado, agentes de curado, endurecedores y plastificantes; y por otro, materiales de relleno y/o reforzantes, ya sea en estado orgánico o inorgánico. Al mezclarse inicia la reacción de entrecruzado, (por calor y/o presión), motivo por el cual, los termoestables no pueden ser recalentados y refundidos como los termoplásticos. (Materiles Poliméricos y Compuestos, 2013)

c) Termoendurecibles: estos tienen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Son ejemplos de estos las resinas epóxi; estas se usan en grandes porcentajes, mayores al 20%, son muy costosas y se utilizan para casos especiales (ejemplo: playa de camiones) (Tonda, 2010).

1.4.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ESTRUCTURA.

(Tonda, 2010)

a) Homopolímeros.- Tienen una sola unidad estructural (monómero).

b) Copolímeros.- Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS). Así, dentro de este grupo se tiene dos tipos de polímeros modificadores, los elastómeros y los plastómeros.

1) Elastómeros: aquellos a los cuales al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no sin volver a su longitud inicial al cesar el esfuerzo; tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

- Natural: caucho natural, celulosa, glucosa, sacarosa, ceras y arcillas son ejemplos de polímeros orgánicos e inorgánicos naturales.
- SBS:(estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico. Este es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, ya que es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.
- SBR: Cauchos sintéticos del 25% de estireno y 75% de butadieno; para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico.
- EPDM: (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

2) Plastómeros: al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

- EVA: etileno-acetato de vinilo.
- EMA: Etileno-acrilato de metilo
- PE: (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- PP: (Polipropileno).
- Poliestireno: El poliestireno es un material plástico transparente y relativamente frágil, pero puede modificarse con caucho, lo cual lo hace expansible y resistente al impacto.

1.5 ADITIVOS.

En concordancia con la hipótesis de esta investigación, el resultado óptimo del asfalto requiere el empleo de algún tipo de aditivo para mejorar las propiedades de los ligantes asfálticos y que a su vez logren fortalecer las propiedades de las mezclas asfálticas logrando altos desempeños en su funcionamiento al momento de estar en servicio recibiendo las cargas del tráfico y soportando los posibles gradientes de temperatura.

El término aditivo es general y puede referirse a muy diversos materiales. Con el rápido desarrollo de la tecnología existen en el mercado numerosos productos que pueden tener efectos beneficiosos, aunque deban usarse con prudencia y con el pleno conocimiento de su comportamiento.

Existen una amplia gama de aditivos que se pueden emplear para la modificación de asfaltos tanto en lo que se refiere a su naturaleza como a las mejoras conseguidas e incluso a las técnicas de incorporación a los ligantes de partida. Los agentes tensoactivos (activantes) son los que mejoran la adhesividad del ligante con los agregados.

objetivo es mejorar la relación viscosidad-temperatura para los casos de deformaciones y fatiga del asfalto.

(Wulf, 2008) El polímero debe ser afín al asfalto, es decir, debe tener una compatibilidad química para poder mezclarse entre sí, seguidamente la dosificación, elaboración y condiciones de almacenaje se deben controlar rigurosamente. La mezcla en planta depende de los recipientes, los mismos que constan de paletas agitadoras, la velocidad y el control de temperatura que son esenciales para una mezcla correcta.

En las microfotografías mostradas en la figura 10 nos muestran polímeros tipo SBS en diferentes tipos de asfaltos, la parte blanca es polímero y la negra es asfalto. Las dos primeras presentan una red continua de polímero, teniendo una estructura estable que no se separa, tomando ventaja de las propiedades elásticas del polímero. Las dos siguientes no están en red, separadas durante el almacenaje, y por tanto, no tendrán el mismo incremento benéfico sobre las distintas propiedades (Wulf, 2008, pág. 27).

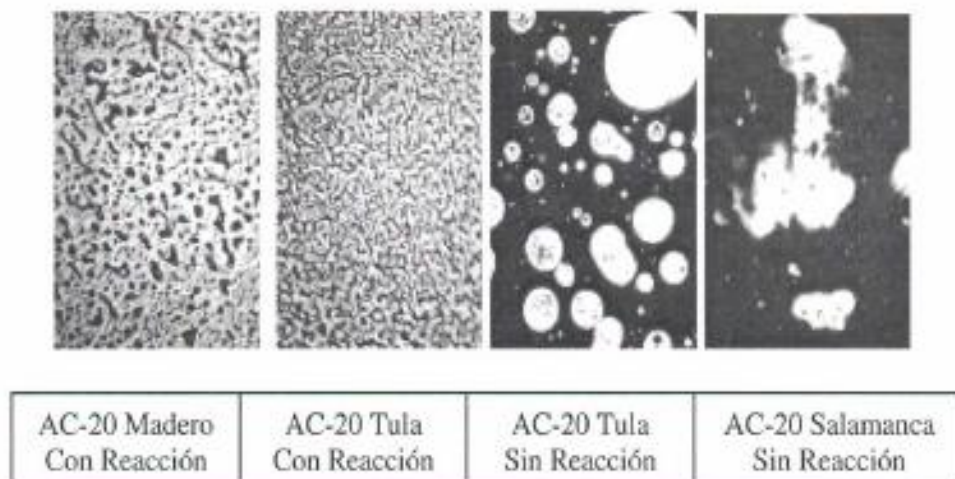


Fig. 10 Microfotografías emulsiones asfálticas

Fuente: (Wulf, 2008, pág. 28)

En el Ecuador la Empresa Chova ha sido la primera en trabajar con polímeros de tipo SBS y sus resultados han proporcionado asfaltos que han mejorado su elasticidad, adherencia, resistencia a la tracción y también la susceptibilidad a la temperatura y humedad, así se han originado asfaltos de alto desempeño (Chova del Ecuador (Imptek), 2010)

De acuerdo con (Tonda, 2010) en la actualidad varios países cuentan con muchos fabricantes de asfaltos que han instalado equipos especializados para la preparación de A.M.P., estas centrales producen asfaltos modificados con polímeros que alcanzan

altas prestaciones. En razón que los asfaltos presentan un comportamiento reológico de tipo viscoelástico, la adición de un polímero incrementa su componente elástico. Los ensayos típicos de "Penetración" y "Punto de Ablandamiento" no miden elasticidad ni recuperación elástica, características típicas de los asfaltos modificados, de ahí que deba recurrirse a otros tipos de ensayos. Un método que ha sido adoptado en muchos países de Europa es el de "Recuperación elástica", basado en el ensayo convencional de "Ductilidad". Hasta el momento no se tiene conocimiento de una especificación oficial para asfaltos modificados con polímeros por parte de instituciones. En cambio, sí se conocen especificaciones que se ajustan a determinados productos comerciales, en estas especificaciones se incluyen, entre otros ensayos, el "Punto de fractura Fraass" y el ensayo de "Recuperación elástica".

1.6.1 ESTRUCTURA DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS.

(Wulf, 2008) Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado, y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El proceso apropiado de modificación varía de acuerdo al tipo de polímero, a continuación se mencionan los más utilizados.

Para tipo I. SBS:

Etapa 1. Evaluar el asfalto base

Etapa 2. Incrementar la temperatura del asfalto

Etapa 3. Proceso de molienda y/u homogenización asfalto-polímero. Se requiere de un molino de alto corte.

Etapa 4. Controlar la calidad a través de microscopía óptica.

Etapa 5. Finalización de la reacción. Control de calidad realizando corrida de pruebas físicas para asfaltos modificados después de 24 horas de reacción.

Las temperaturas de mezclado oscilan entre 180 y 190°C., y el tiempo de dispersión varía dependiendo la dispersión del polímero.

Para tipo II. Látex SBR.

La operación de modificación se lleva a cabo a una temperatura de 160 – 170 °C. la adición del latex se realiza mediante una bomba de diafragma que puede ser adicionada mediante aire o motor eléctrico. El tiempo de agitación depende del equipo empleado. Los tiempos normales para todo el proceso del latex y mezclado oscilan entre 1.5 y 2 horas.

Para tipo III. EVA.

En esta no se requiere un molino, solamente es con agitación y temperatura, en un tiempo corto el polímero se funde y se incorpora al asfalto. Por lo regular son 2 horas a 180°C, el control de calidad se observa mediante la prueba visual para polímeros de tipo III (págs. 29-30).

En la figura 11 se aprecian los tipos de polímeros modificadores del asfalto mas comunes que son los de tipo SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) y SBR (Estireno-Butadieno-Látex).

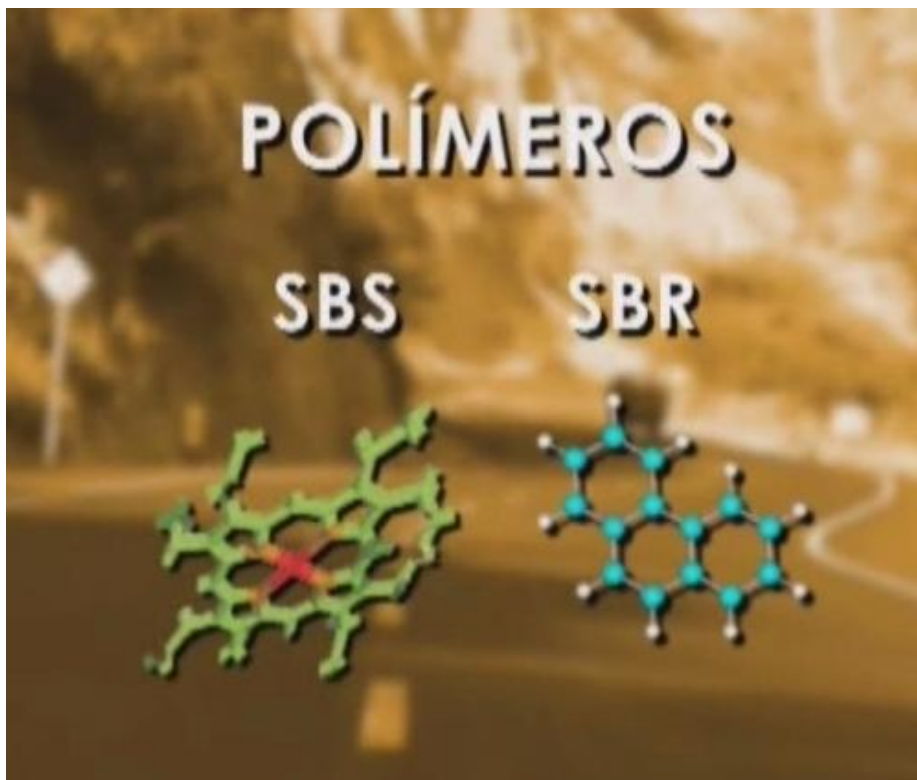


Fig. 11 . Polímeros modificadores.

Fuente: (Chova del Ecuador (Imptek), 2010)

1.7 MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

(Rogers Martin & Wallace, 1963)

El hormigón asfáltico es una mezcla de áridos graduados y secados a una temperatura elevada con el ligante asfáltico. Esta mezcla es colocada posteriormente con una debida compactación para alcanzar las densidades requeridas, de esta forma queda definida la carpeta asfáltica. La proporción de mezcla de áridos y ligante define las características futuras del pavimento.

Los pavimentos conformados deben ser duraderos, adherentes y económicos, y para optimizar de mejor manera estos aspectos se debe controlar la granulometría, la calidad y tipo de agregados, el contenido de asfalto y la consistencia del betún asfáltico.

Obedeciendo a estas características se tiene que las mezclas densas poseen mayor estabilidad que mezclas abiertas, los áridos triturados y las partículas angulosas originan mezclas de alta estabilidad porque su rozamiento interno es mejor, los áridos muy blandos o sucios es decir que contienen alta cantidad de arcilla, pueden fracturarse bajo las cargas del tráfico o separarse por la gran cantidad de deletéreos, y el contenido de asfalto puede provocar si es muy alto segregación e inestabilidad, si es muy bajo desintegración; así mismo, si tiene una penetración demasiado baja ha de producir un pavimento demasiado rígido y por ende quebradizo con baja resistencia a la fatiga. Las rocas que mejor se apegan a todas estas consideraciones son el basalto, escorias y piedra caliza; en valores bajos, la arena, gravas redondeadas y lisas ya que no presentan ninguna resistencia al movimiento.

(Valero, 1970)

El asfalto es un material visco-elástico y se asume que la mezcla trabaja en una relación de tensión-deformación que está en función del tiempo, la sollicitación de cargas y temperatura. Por lo tanto, la relación nombrada se define por un módulo de rigidez, similares al de Young. Esta hipótesis de visco-elasticidad se da para mezclas de tipo cerrada.

Así se ha definido un módulo de rigidez para las mezclas bituminosas, a partir de la dependencia que existe entre dicho módulo y el que corresponde al ligante que contienen en función de la concentración volumétrica del árido. En consecuencia, la relación de los tiempos de carga, la penetración y el punto de reblandecimiento del ligante con su módulo de rigidez. Con el módulo de rigidez del ligante y la concentración volumétrica del árido se deduce el módulo de rigidez de la mezcla.

Se habla de un módulo de rigidez para el ligante y otro para la mezcla, tal como se observa en la figura 12, para tiempos de carga reducidos, el módulo de rigidez se comporta de forma elástica; mientras que para tiempos de carga elevados el modulo es viscoso.

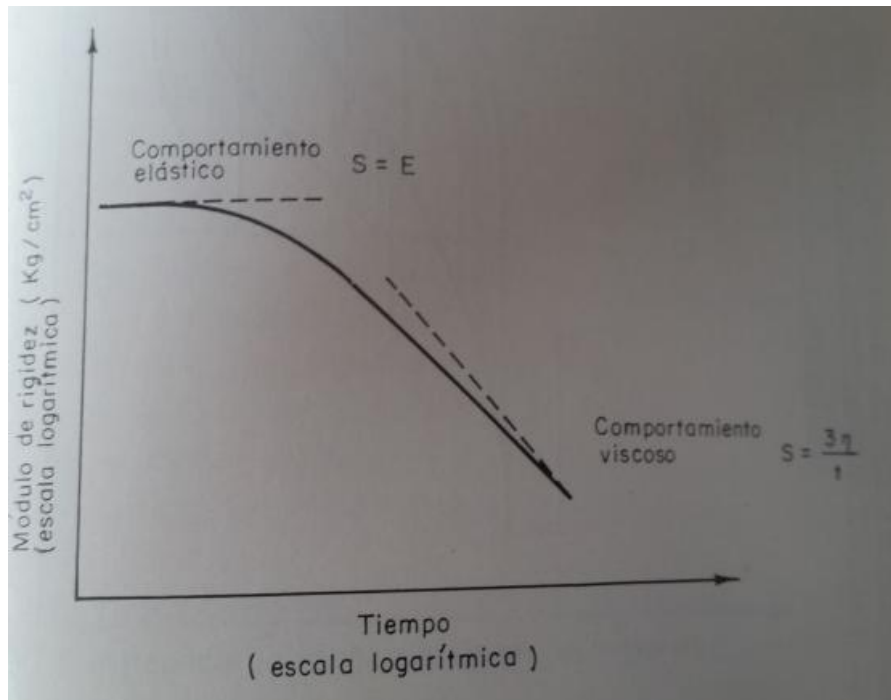


Fig. 12 Relación módulo de rigidez – tiempo de carga de un material asfáltico sometido a una tensión axial.

Fuente: (Valero, 1970), según Van Der Poel

Donde:

S: modulo axial complejo o módulo de rigidez que usamos.

E: elástico,

(Valero, 1970)

Por otro lado existen también ensayos de compresión, tracción o flexión con cargas a velocidad constante, entre otras; factores que hacen posible medir el comportamiento de las mezclas en intervalos de tiempo reducidos, a diferentes temperaturas, como se muestra en la figura 13.

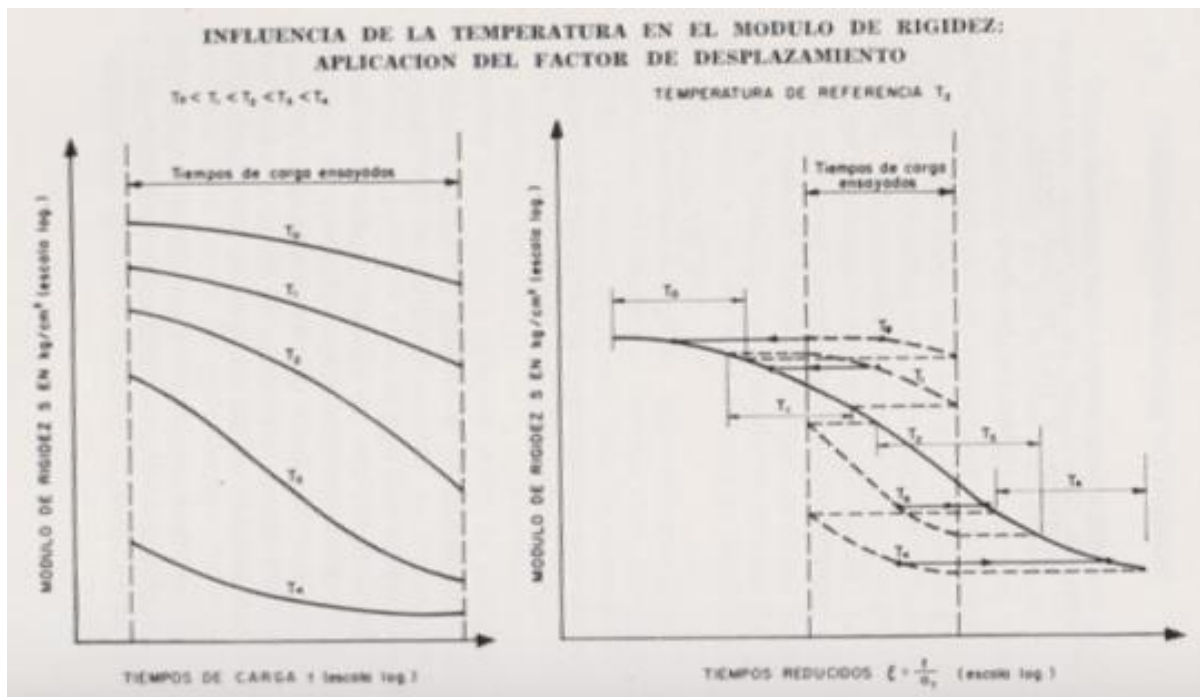


Fig. 13 Influencia de la temperatura en el módulo de rigidez.

Fuente: (Valero, 1970)

Básicamente, la figura 13 permite entender que a diferentes temperaturas se presentan los mismos módulos de rigidez sin cambiar de forma, solo desplazados con diferentes tiempos; así se elige una temperatura T_0 , y un tiempo reducido ξ , de modo que las curvas de rigidez se superponen en un solo diagrama, donde:

$$\xi = t/a_T$$

a_T : factor de desplazamiento y es una función de la temperatura, y;

$$a_T = t_T/t_0$$

t_T : tiempo requerido para observar un fenómeno a una temperatura T .

t_0 : tiempo para observar el mismo fenómeno a una temperatura de referencia T_0

n/t : es una relación que se aplica a materiales que presentan viscosidad.

Puede verse entonces, que las variables de importancia son la naturaleza, viscosidad y susceptibilidad térmica, ya que a mayor temperatura menor viscosidad

Según las tensiones que tendrá el pavimento asfáltico se realizan mezclas con diferentes proporciones de sus elementos agregado-asfalto, tales como:

- a) Carpeta de rodado.- Mezcla generalmente cerrada y diseñada para resistir abrasión y desintegración por efectos ambientales.
- b) Capa intermedia o Binder.- Mezcla típicamente abierta y graduada densa o gruesa.
- c) Base asfáltica.- Mezcla generalmente abierta colocada sobre la base granular.

La capa superficial de asfalto que envuelve al árido, se envejece por efecto del oxígeno, rayos U.V., temperatura y el tiempo.

1.7.1 TIPOS DE CLASIFICACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.

(Rogers Martin & Wallace, 1963)

De acuerdo a los huecos o vacíos, ya que el asfalto solo llena parcialmente dejando burbujas de aire.

- Mezcla cerrada: Huecos menores al 5 %.
- Mezcla Abierta: Huecos mayores al 5 %.

A este porcentaje de huecos en el asfalto se le llama porcentaje de densidad. La norma del Instituto del Asfalto permite hasta el 6% y mínimo 2% de vacíos o huecos es decir de un 94 o 98% de porcentaje de compactación, y para llegar a este punto se debe obtener el porcentaje óptimo de asfalto que nos de este porcentaje de compactación.

De acuerdo a su granulometría:

- % que pasa el tamiz N° 8
- Graduación densa 35 - 50
- Graduación gruesa 20 - 35
- Graduación abierta 5 - 20
- Graduación fina pasa más del 50 %

Por lo tanto, se debe tener claro el porcentaje de betún y graduación necesaria para evitar problemas de exudación por exceso de asfalto o pavimentos quebradizos por falta de este, de modo que sea posible controlar la permeabilidad de la mezcla. Así, las muestras que se tratan en laboratorio son aproximaciones para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento.

Otro valor importante dentro de las mezclas son los vacíos en el agregado mineral (V.A.M.) o también denominado huecos en los áridos. Este valor se determina sumando el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada y el volumen de betún asfáltico ocupado. El porcentaje óptimo es del 12 - 15% ya que si es menor a éste, quiere decir que existe exceso de polvo mineral (material que pasa el tamiz n° 200). Se considera áridos con buena granulometría si llega a valores del 20%, y se considera que si se

llega hasta valores de 35% se está trabajando con áridos de mala granulometría o de tamaño uniforme.

Dentro del método Marshall que es el más usado en Ecuador para producir diseños de asfalto, se define límites para el porcentaje de V.A.M. ocupado por el betún asfáltico que comúnmente varía del 75 a 85%, este valor es el porcentaje de vacíos llenos de asfalto V.F.A.

La cantidad de asfalto óptimo va a depender de factores como el tamaño máximo del agregado; (ya que a menor tamaño, mayor cantidad de asfalto), la rugosidad de la superficie de los áridos y la cantidad de asfalto que son capaces de absorber; obteniendo así el contenido efectivo de asfalto.

Los parámetros que se toman en cuenta para un diseño de mezcla asfáltica son:

- Estabilidad.- Es la capacidad de un pavimento asfáltico según su rozamiento interno de resistir los esfuerzos provocados por el tránsito sin que se produzcan deformaciones.
- Durabilidad.- Es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.
- Flexibilidad.- Capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de las capas subyacentes sin agrietarse.
- Resistencia a la fatiga.- También denominada resistencia a la rotura bajo cargas repetidas. Esta resistencia define que las mezclas se comportan elásticas a esfuerzos alternados, un elevado contenido de ligante mejora las propiedades de la mezcla ante esfuerzos alternados; mientras más larga es una carga, menor es su resistencia a la fatiga. La relación entre la granulometría del árido y la resistencia a la fatiga no se ha definido.
- Resistencia al deslizamiento.- Calidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje, es decir, que exista suficiente rozamiento y a la vez que sea impermeable al aire y al agua.
- Trabajabilidad.- Facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

1.7.2 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTOS DE LOS AGREGADOS INDIVIDUALES PARA SU MEZCLA.

(Rogers Martin & Wallace, 1963)

1) Selección de áridos y granulometría: depende de la disponibilidad y cumplimiento de los requisitos mínimos; es decir, que sean capaces de tener cambios de granulometría para poder realizar los ajustes necesarios en el tipo de mezcla elegido. Del tamaño máximo del agregado depende las estabilidades, generalmente se trabaja con mezclas cerradas y densas.

A continuación se muestra en la tabla 7 los valores especificados para granulometrías de agregados

TABLA 7 GRANULOMETRIAS SIMPLIFICADAS

		Tamaño de los áridos gruesos (Piedra machacada, grava y escoria)																
Tamaño número	Abertura nominal de las mallas cuadradas ¹	Cantidad que pasa por cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas) porcentaje en peso																
		4	3½	3	2½	2	1½	1	¾	½	¼	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50	No. 100		
1-F ²	3½ a 1½	100	90 a 100		25 a 60			0 a 15										
2-F ²	3½ a 2	100	90 a 100			0 a 10	0 a 2		0 a 5									
2	2½ a 1½		100	90 a 100		0 a 10	0 a 2											
24	2½ a ¾			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 2										
3	2 a 1			100	90 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5								
357	2 a No. 4				100	95 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5									
4	1½ a ¾					100	95 a 100	35 a 70	10 a 30									
467	1½ a No. 4					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5								
5	1 a ¾						100	95 a 100	35 a 70	10 a 30	0 a 5							
56	1 a ½							100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5						
57	1 a No. 4							100	90 a 100	40 a 75	15 a 35	0 a 15	0 a 5					
6	¾ a ¾							100	95 a 100	25 a 60	0 a 15	0 a 5						
67	¾ a No. 4							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5						
68	¾ a No. 8							100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5						
7	¾ a No. 4							100	90 a 100	30 a 65	5 a 25	0 a 10	0 a 5					
78	¾ a No. 8								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5					
8	¾ a No. 8								100	90 a 100	40 a 75	5 a 25	0 a 10	0 a 5				
89	¾ a No. 16								100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5					
9	No. 4 a No. 16								100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5				
10	No. 4 a 0 ³								100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5					
G1 ⁴	1½ a No. 50									100	85 a 100							
G2 ⁴	1½ a No. 8							100	80 a 100		50 a 85	20 a 40	15 a 35	5 a 25	0 a 10	0 a 5		10 a 30
G3 ⁴	1½ a No. 4							100	60 a 95		35 a 75	10 a 35	0 a 10	0 a 5				0 a 2
											25 a 50	8 a 15	0 a 5					

¹ En pulgadas, salvo cuando se indique de otro modo. Los tamices que se indican pertenecen a los tamices normalizados US Standard.

² Tamaños especiales empleados como medios filtrantes en sistemas de depuración.

³ Desechos de machaqueo.

⁴ Las exigencias en cuanto a granulometría dependen del porcentaje de partículas machacadas contenido en la grava. El tamaño G1 corresponde a grava que contiene un 20 % o menos de partículas partidas; el G2 corresponde a grava que contiene más del 20 % y no más del 40 % de partículas machacadas; el G3 corresponde a grava que contiene más del 40 % de partículas machacadas.

Tomado de «Simplified Practice Recommendation R163-48, U. S. Departamento de Comercio»

Fuente: (Ministerio de Obras Publicas, 2002)

2) Pesos específicos: generalmente los fabricantes de asfalto son los que entregan este resultado, o también los laboratorios del ligante como tal, y el peso específico de la combinación de los áridos se lo determina en el laboratorio de pavimentos. La mezcla emplea tres tipos de pesos específicos:

a) Peso aparente por unidad de volumen.- Comprende el volumen total de las partículas de los áridos, incluyendo sus cavidades.

b) Peso específico aparente.- Se refiere exclusivamente a la porción impermeable de la piedra, prescindiendo del volumen de los capilares que se llenan de agua en una inmersión de 24h

c) Peso específico efectivo.- Se refiere al volumen de la piedra impermeable y al volumen de los capilares que no se llenan de asfalto en el pavimento.

Es evidente que el peso aparente por unidad de volumen será siempre menor al peso específico aparente si los áridos presentan alguna absorción, también es obvio que será menor al peso específico efectivo. Se utiliza cualquiera de estos pesos, y la determinación se hace sobre cada tipo de áridos utilizados en la mezcla y de ellos se deduce el peso específico de los áridos mezclados. De esta forma se obtiene también la proporción de áridos de cada tamaño ya sea por cálculos o por tanteos.

3) Preparación de las probetas compactadas: para su preparación se mezcla con varias cantidades de asfalto según el método Marshall el cual será nuestro método para diseñar las mezclas asfálticas en este trabajo.

4) Se determina el peso específico de las probetas compactadas, estabilidad, densidad, porcentaje de huecos y huecos en los áridos.

En la tabla 8 se muestran los resultados de las mezclas asfálticas usando el método Marshall.

TABLA 8 LÍMITES SUGERIDOS PARA LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Método de proyecto ²	Tráfico pesado y muy pesado		Tráfico medio		Tráfico ligero	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
MARSHALL						
Número de golpes de compactación en cada extremo de la probeta.	75	—	50	—	35	—
Estabilidad, libras	750	—	500	—	500	—
Fluencia ³ , expresada en 0.01 pulgadas	8	16	8	18	8	20
Huecos en la mezcla total %						
Capas de superficie o nivelación	3	5	3	5	3	5
Sheet asphalt con arena o piedra	3	8	3	8	3	8
Capas intermedia o de base	3	8	3	8	3	8
Huecos de los áridos rellenos de asfalto %						
Capas de superficie o nivelación	75	82	75	85	75	85
Sheet asphalt con arena o piedra	65	72	65	75	65	75
Capas intermedia o de base	65	72	65	75	65	75
HUBBARD-FIEL						
Método original						
Estabilidad, libras.	2000	—	1200	2000	1200	2000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
Método modificado						
Estabilidad, libras.	3500	6000	2500	6000	2500	6000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
HVEEM						
Valor del estabilómetro	35	—	35	—	30	—
Valor del cohesiómetro	50	—	50	—	50	—
Entumecimiento, pulgadas	—	.03	—	.03	—	.03
Huecos de mezcla total, %	4	—	4	—	4	—
METODO TRIAXIAL DE SMITH						
Cohesión unitaria, C, libras por pulgada cuadrada	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Véase la figura 45 de la página 141, <i>Mix Design Methods for Hot-Mix Asphalt Paving. M.S. No. 2</i> </div>					
Angulo de rozamiento interno, ϕ , grados						
Huecos en la mezcla total, %						
	10	5	10	5	10	

Fuente: (Instituto del Asfalto, 1962)

CAPITULO II TRABAJO DE INVESTIGACION.

2.1 ENSAYO DE AGREGADOS

2.1.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION AGREGADO FINO NORMA ASTM C128

ALCANCE.

Este método determina el proceso para la determinación de la gravedad específica bulk, gravedad específica aparente tal como se define en la terminología ASTM E12, y la absorción de una muestra de agregado fino a una temperatura establecida después de 24 h de sumergidos en agua.

La gravedad específica bulk se calcula en base al peso de la superficie saturada superficialmente seca (sss) de la muestra de ensayo y la absorción tal como se define en el ensayo ASTM C125.

EQUIPOS.

- Balanza

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0,1 g.

- Picnómetro

Un frasco u otro recipiente en el que se pueda introducir la totalidad de la muestra y capaz de apreciar volúmenes con una exactitud de $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ y su capacidad hasta el enrase será como mínimo un 50% mayor que el volumen ocupado por la muestra. En la figura 14 se observa el picnómetro con material aforado.

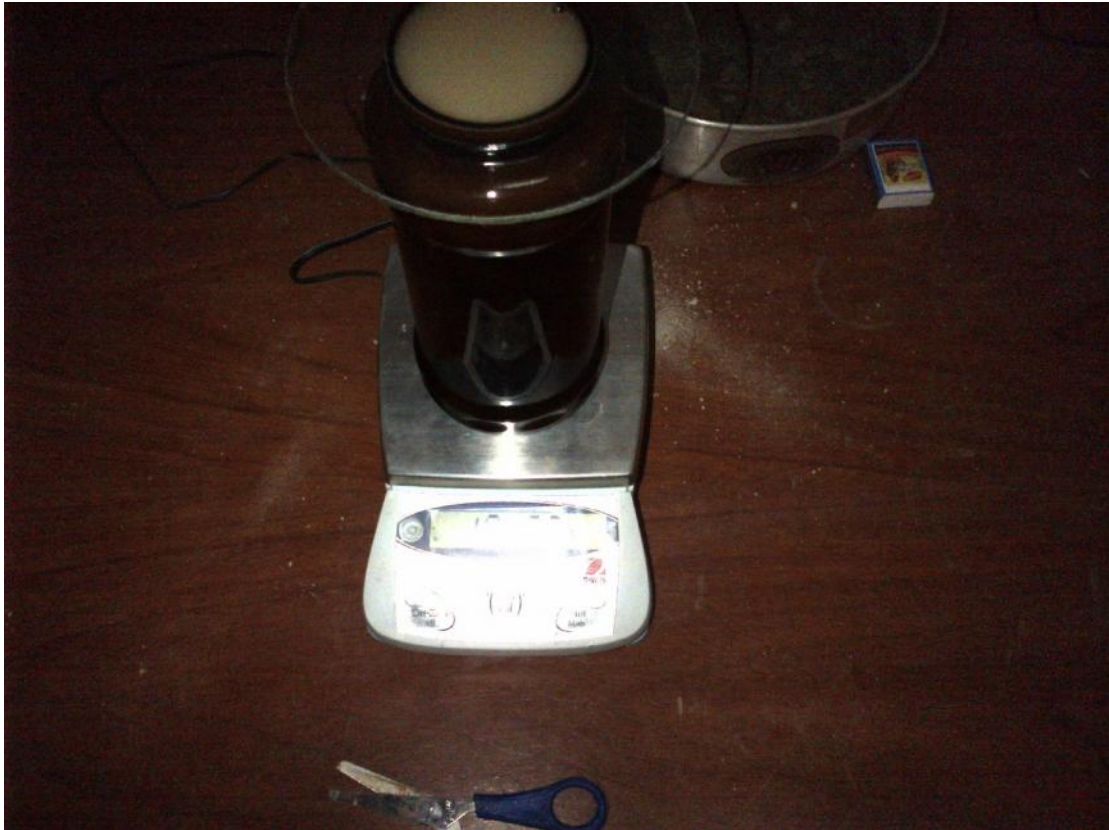


Fig. 14 Método del Picnómetro

Fuente: Ensayo de Laboratorio.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

- Molde

Con forma tronco-cónica de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior a 0,8 mm.

- Varilla para Pisón

Es una varilla metálica con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 g.

- Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo, capaz de mantener una temperatura constante de hasta $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

- Recipientes

Limpios, de material resistente y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensayo.

MUESTRA DE ENSAYO.

La toma de muestras será de acuerdo con la práctica ASTM D75. Obtener aproximadamente 1 Kg de la muestra de agregado fino utilizando el procedimiento ASTM C702. Secar la muestra en el horno en un recipiente hasta peso constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, se deja enfriar a temperatura ambiente. Cubrir con agua y dejar sumergido por 24 ± 4 h como se muestra en la figura 15, decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de los finos. Se extiende la muestra sobre una superficie plana comenzando la operación de desecar, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente y remover con frecuencia para garantizar el secado homogéneo, continuar esta operación hasta que la muestra de ensayo se acerque a una condición libre de flujo.



Fig. 15 Saturación de Materiales 24 h

Fuente: Ensayo de Laboratorio.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

PRUEBA DEL CONO DE LA SUPERFICIE DE HUMEDAD.

Sostener el borde firmemente sobre una superficie lisa no absorbente con la boca de mayor diámetro. Colocar una porción de la muestra seca en el interior del molde llenando hasta desbordar. Apisonar suavemente su superficie con 25 golpes con la varilla, cada golpe debe comenzar alrededor de 5 mm por encima de la parte superior de la superficie total de la muestra. Levantar el molde con cuidado, si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad el cono de agregado mantendrá su forma original; por lo que se continuará secando la muestra realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial como se muestra en la figura 16, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca.

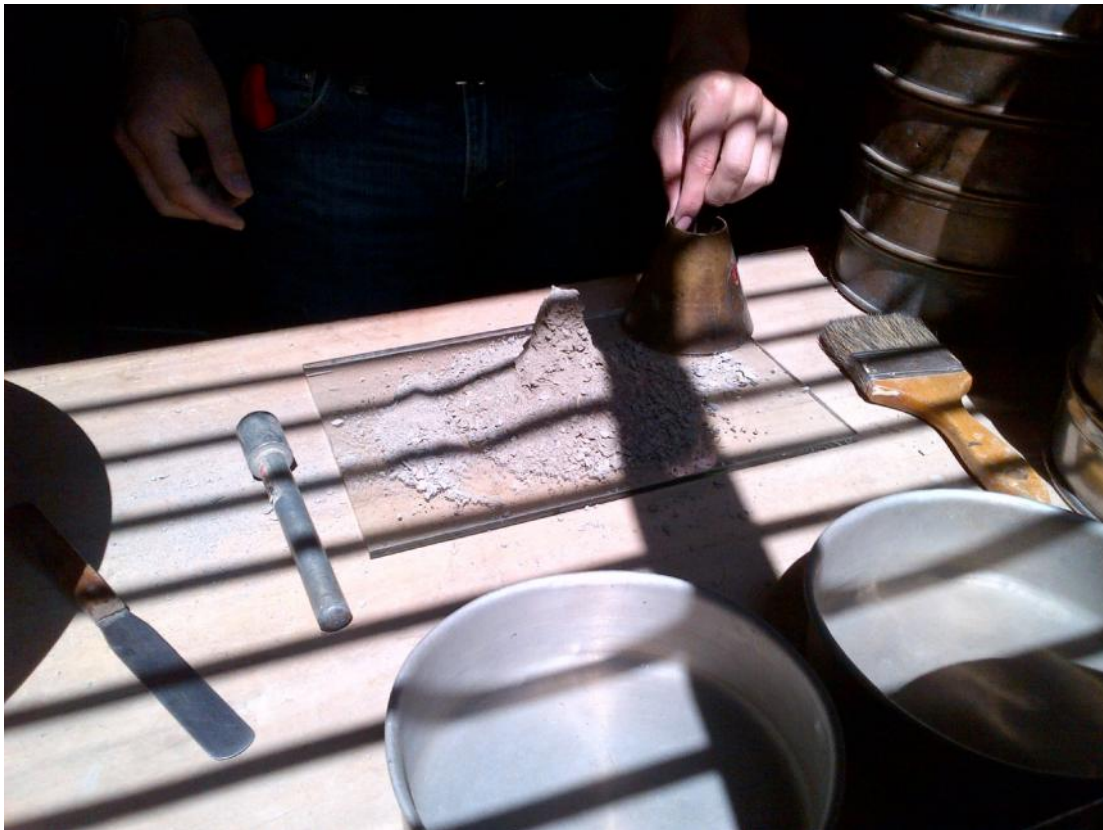


Fig. 16 Prueba del Cono

Fuente: Ensayo de Laboratorio.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

PROCEDIMIENTO.

Introducir inmediatamente en el picnómetro aforado 500 +- 10g de la muestra de agregado fino y añadir agua hasta aproximadamente un 90% de su capacidad. Para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana e incluso agitando manual o mecánicamente, si es preciso invirtiéndolo, introduciendo seguidamente en un baño de agua a una temperatura de 27+-1.7 °C durante 1h, transcurrida la cual se enrasa con agua a la misma temperatura, se saca del baño, se seca el recipiente y se determina su peso total (Picnómetro + muestra + agua). Retirando el agregado fino del picnómetro se coloca en el horno a una temperatura de 110+-5°C hasta peso constante. Se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1+1/2hora y se determina finalmente su peso seco.

Los cálculos para determinar los pesos se detallan a continuación:

A - Peso del material Superficie Seca Saturada

B - Peso del Picnómetro + Agua + Material

C - Peso del Picnómetro + Agua

D - Peso del Material Seco

1 - Gravedad Específica de Masa (Bulk)	$D / (C+A-B)$ (2)
2 - Gravedad Específica Superficie Saturada Seca (sss)	$A / (C+A-B)$ (3)
3 - Gravedad Específica Aparente	$D / (D+C-B)$ (4)
4 - Porcentaje de Absorción	$A-D / D*100$ (5)

2.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C127.

ALCANCE.

Este método describe el procedimiento para determinar la gravedad específica y la absorción de agregado grueso. La gravedad específica puede ser expresada como gravedad específica bulk, gravedad específica bulk en estado saturado superficialmente seco o gravedad específica.

La gravedad específica bulk en estado saturada superficialmente y la absorción se basan en agregados sumergidos en agua después de 24 horas.

Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

EQUIPOS.

- Balanza

De precisión del 0.05% del peso de la muestra y una sensibilidad de 0.5gr. La balanza será equipada con aparatos adecuados para la suspensión de la muestra en el recipiente dentro del depósito de agua, suspendido del centro de la plataforma del dispositivo de pesaje.

- Canasta de alambre

De malla de alambre de un diámetro aproximado de 3.35mm, el diámetro debe ser igual a su altura con una capacidad de 4 a 7 litros para el árido cuyas partículas tengan un tamaño máximo nominal de 38.1mm (1.5"). El dispositivo de suspensión será construido a fin de que permita suspender la canasta de la balanza una vez sumergido.

- Depósito de agua

Un tanque de agua en el cual se suspende la muestra en la canasta y que puede ser colocado por debajo de la balanza.

- Tamices

Un tamiz #4 o de otros tamaños según la especificación dada en la Norma ASTM E112.

- Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo, capaz de mantener una temperatura constante de hasta 110 +- 5°C.

- Recipientes

Limpios, de material resistente y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensayo.

MUESTRA DE ENSAYO

La toma de muestras será de acuerdo con la práctica ASTM D75. Mezclar completamente la muestra necesaria de agregado utilizando el procedimiento ASTM

C702. El peso mínimo será de acuerdo a la Norma ASTM, o también, la cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la Tabla 9, en función del tamaño máximo nominal del árido.

TABLA 9 CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2.000
19	3.000
25	4.000
37,5	5.000
50	8.000

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay, 2011)

PROCEDIMIENTO.

Lavar la muestra de ensayo hasta asegurar que han sido eliminados el polvo u otros recubrimientos superficiales de las partículas. Se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante. Se enfría al aire a temperatura ambiente en un lapso de 1 a 3 horas y se determina finalmente su peso seco. Sumergirla en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24h. Después del periodo de inmersión se saca la muestra del agua y se secan las partículas sobre un paño absorbente hasta que se elimina el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Evitar la evaporación del agua contenida en los poros de las partículas del agregado durante la operación de secado superficial. Se determina el peso de la muestra en el estado sss, estas y todas las pesadas siguientes se realizan con una aproximación de 0.5gr o 0.05% veces el peso de la muestra para pesos superiores. Colocar inmediatamente la muestra de agregado en estado saturado superficialmente seco en la canasta metálica y determinar su peso sumergido en el agua a una temperatura entre $25 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$. La canasta y la muestra deberán quedar completamente sumergidos durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte las pesadas. Secar en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Enfríar al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y determinar finalmente su peso seco hasta peso constante.

Los cálculos para determinar los pesos se detallan a continuación:

- A - Peso del material sumergido
- B - Peso del Picnómetro + Agua + Material
- C - Peso del Material Seco

1- Gravedad Específica de Masa (Bulk)	$C / (B-A)$	(6)
2- Gravedad Específica Superficie Seca Saturada. (sss)	$B / (B-A)$	(7)
3- Gravedad Específica Aparente	$C / (C-A)$	(8)
4- Porcentaje de Absorción	$B-C / C*100$	(9)

2.1.3 EQUIVALENTE DE ARENA NORMA ASTM D 2419.

ALCANCE.

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

EQUIPO.

- Probeta o cilindro graduada

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduado en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho.

- Cilindro de prueba

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

- Tamiz #4

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75 mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo a la especificación ASTM E11.

- Embudo

De boca ancha para depositar los reactivos en el cilindro graduado.

- Botellas

De capacidad de 3.8 litros para depositar la solución de reserva y la solución de trabajo.

- Recipiente para mezclado

De capacidad igual o mayor que 4 lt para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

- Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo, capaz de mantener una temperatura constante de hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

- Tubo irrigador

De $6.35 * 508 \text{ mm}$ ($\frac{1}{4}'' * 20''$) con uno de sus extremos cerrado formando una punta en forma de cuña.

- Manguera de hule o goma

Para conectar el sifón al tubo irrigador de $4.76 * 1219.2 \text{ mm}$ ($\frac{3}{16}'' * 48''$) de diámetro.

- Sifón

De $6.35 * 406.4 \text{ mm}$ ($\frac{1}{4}'' * 16$) con tubo de cobre.

REACTIVOS Y MATERIALES.

- Agua destilada.
- Cloruro de calcio 454 gr
- Glicerina 2050 gr
- Formaldehido 47 gr
- Cloruro o clorhidrato de calcio deshidratado 577 gr.

Nota: de esta mezcla se obtiene una solución de reserva con formaldehido.

Para mezclar se disuelve 454 gr de cloruro de calcio en 1.89 litros de agua destilada,. Se agregan 47 gr de formaldehido y 2050 gr de glicerina, mezclándose bien y diluyéndose con agua destilada hasta completar 3.8 litros de líquido.

Solución de trabajo con cloruro de calcio.

Para preparar la solución de trabajo se diluyen $85 \pm 5 \text{ ml}$ de la solución de reserva preparada con cloruro de calcio en 3.8 litros de agua.

MUESTRA DE ENSAYO.

La toma de muestras será de acuerdo con la práctica ASTM D75. Se cuartea suficiente material de acuerdo al procedimiento ASTM C702.

PREPARACION DE LA MUESTRA.

Se determina al menos 1500gr de material que pase el tamiz # 4, se seca la muestra de ensayo hasta peso constante a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, y se enfría hasta temperatura ambiente hasta antes de ensayarla.

PREPARACION DEL EQUIPO.

La botella de 3.8 lt equipada con el sifón que contiene la solución de trabajo con cloruro de calcio se coloca de tal manera que la salida del líquido quede a 1 metro sobre la superficie de trabajo, una vez preparado el sifón se sopla dentro de la botella por la parte superior para que el sifón quede listo para usarse. Verter la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm. Llenar el cilindro de prueba; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces o en una probeta medir 85 ml de material, enrase y vierta en la probeta. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire con el fin de obtener la saturación en menos tiempo. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min. Luego de esto tapar el cilindro y aflojar el material de la parte inferior removiendo con agitaciones simultaneas.

Agitación manual. Sujetar la probeta en posición horizontal y agitar vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30seg.

Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

Concluida la agitación se coloca la probeta sobre la mesa de trabajo, y destaparla.

Procedimiento de irrigación.

Durante el procedimiento mantener la base del cilindro en posición vertical y en contacto con la superficie de trabajo, inmediatamente se le inserta el tubo irrigador con el cual se lavan las paredes del cilindro de arriba hacia abajo, hasta llegar al fondo con el fin de realizar la irrigación uniforme propiciando la separación entre el material arcilloso y el arenoso regulando el flujo hasta llegar a la medida de 380mm. Cuando el nivel llegue a ésta se extrae lentamente el tubo irrigador sin cortar el flujo de la solución de manera que el nivel del líquido se mantenga en 380mm después de retirar completamente el tubo.

Se deja sedimentar el cilindro durante 20 ± 1 min, al final del periodo de sedimentación leer y anotar las lecturas de arcilla y arena.

Determinación de la lectura de arcilla y arena.

Se mide y registra el nivel superior de los finos en suspensión con aproximación de 2.54mm, a continuación se introduce lentamente la varilla con pisón dentro del cilindro, cuidando de no formar turbulencias hasta que la base descansa sobre la arena, se observa el nivel de la parte superior del indicador en la escala del cilindro, se resta la altura de 254mm y se registra como el nivel superior de la arena con aproximación de 2.54mm.

En la tabla 10 se recomiendan los valores mínimos que debe resultar del equivalente de arena para diferentes intensidades de tráfico.

TABLA 10 VALORES RECOMENDADOS DE EQUIVALENTE DE ARENA

	Equivalente de Arena	
	Trafico Liviano y Mediano	Tráfico Pesado
BASE	35	40
CAPA DE RODADURA	45	50

Fuente: (Ministerio de Obras Publicas, 2002)

2.1.4 DETERMINACION DE PARTICULAS LARGAS Y ACHATADAS ASTM D 47-91

ALCANCE

Este método describe el procedimiento para la determinación de los índices de alargamiento y aplanamiento de los agregados gruesos.

EQUIPO.

- Dispositivo de calibre proporcional

Son dispositivos adecuados para este ensayo, consiste en una placa base con dos ejes fijos y un brazo giratorio.

- Calibrador de longitudes

En cada claro estarán marcadas las designaciones de las mallas que definen la fracción de prueba correspondiente.

- Calibrador de espesores

Junto a cada ranura estarán marcadas las designaciones de las mallas que definen la fracción de prueba correspondiente.

- Balanza.

Con una sensibilidad de 0.5% del peso de la muestra de ensayo.

MUESTRA DE ENSAYO.

La muestra de agregado grueso será de acuerdo con la norma ASTM D75. Se separa por cuarteo una muestra representativa de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM C702. Luego de realizar el cuarteo se separa por tamizado las distintas fracciones.

PROCEDIMIENTO.

Si se requiere determinar la masa de la muestra ensayada, seque hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, si se requiere analizar partículas el secado no es necesario.

Tamice la muestra para la prueba de acuerdo con la norma ASTM C136, y de cada fracción de agregado retenido en cada tamiz cuya muestra sea del 10% o más, tómese 100 partículas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM C702.

PRUEBA DE PARTICULAS PLANAS.

Para la realización de este ensayo se debe iniciar separando el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo. La partícula se considera plana, si el espesor puede ser colocado en la menor abertura.

PRUEBA DE PARTICULA ALARGADAS.

Para la realización de este ensayo se debe iniciar separando el material de forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo. La partícula se considera alargada, si el ancho se puede colocar dentro de la abertura más pequeña.

PRUEBA DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS.

Probar cada una de las partículas de diferentes tamaños y colocar en uno de los dos grupos. 1) plana y alargada y 2) no plana y alargada.

MEDICION.

Una vez que se han clasificado las partículas de acuerdo a los grupos descritos anteriormente, la partícula se considera plana y alargada si al medir el espesor este puede pasar completamente a través de la ranura del calibrador de espesores. La

partícula se considera plana y alargada si al medir su longitud no pasa por la gran abertura del calibrador de longitudes.

Después que las partículas se han clasificado en los grupos descritos anteriormente, se determina la masa en cada grupo.

2.1.5 RECUBRIMIENTO Y PELADURA DE MATERIAL BITUMINOSOS AASHTO T 182-02 ASTM D 1664-80

ALCANCE.

Este método indica un procedimiento de recubrimiento e inmersión estática para medir la retención de una película bituminosa por un agregado en presencia de agua. El procedimiento se aplica a asfaltos líquidos y semisólidos.

EQUIPO.

- Recipiente

Para mezclado con esquinas redondeadas.

- Balanza

Con una capacidad de 200 gr y una precisión de ± 0.1 gr

- Espátula

De acero, con una hoja de 25mm de ancho y una longitud de 100mm

- Horno

Capaz de mantener una temperatura entre 60 y 145°C

- Tamices

De alambre de agujero cuadrado de 6.3 y 9.5mm de tamaño de acuerdo con la norma AASHTO M92

PROCEDIMIENTO.

Los agregados para el ensayo se requiere que tengan un tamaño tal, que el 100% pase el tamiz 9.5mm y sea retenido sobre el tamiz de 6.3mm.

Los agregados para el ensayo de recubrimiento en seco serán lavados para quitar todos los finos. Se secan a temperatura de 135-145°C, pesar 100 \pm 1gr de agregado secado en el horno dentro del recipiente de mezcla.

Añadir 5.5±.01gr de material bituminoso precalentado a la temperatura especificada en la norma AASHTO T182. Mezcle el material bituminoso y el agregado con la espátula durante dos minutos dejando al agregado completamente cubierta.

CURADO.

El agregado recubierto se curara en el horno a una temperatura de 60°C durante 2 horas.

INMERSION EN EL AGUA.

Pasar el agregado recubierto a un recipiente de vidrio de 600ml y cubrir con 400 ml de agua a temperatura ambiente y dejar el agregado recubierto en inmersión en agua de 16 a 18 horas. Iluminar la muestra con una lámpara para observa desde arriba a través del agua y estimar el porcentaje del área total visible del agregado que se mantiene recubierta con mayor o menor de 95%. Cualquier área ligeramente verdusca o traslucida se la considera como totalmente recubierta.

En la figura 17 se observa la diferencia entre el asfalto convencional AC20, el asfalto modificado con polímero SBR y el asfalto con aditivo adherente magnabond; en el cual el primero presenta un color gris oscuro y sin brillo, el segundo de color negro con brillo y el tercero de color negro mate y brillo acentuado. (*Ver resultado 13*).



Fig. 17 Diferentes estados del proceso de peladura de la mezcla asfáltica
Fuente: Ensayo de Laboratorio. Estados y temperatura a la cual se ensaya.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

2.1.6 DETERMINACIÓN DE LA ABRASIÓN NORMA AASHTO T 96-02 ASTM C131. ALCANCE.

Determinar la resistencia del agregado grueso natural o triturado de tamaño más pequeña que 37.5mm usando la máquina de los ángeles.

EQUIPO.

- Máquina de los Ángeles

Equipada con un contador, consiste en un cilindro de acero hueco y cerrado en ambos extremos con diámetro interior de 711+-5mm y una longitud también interior de 508+-5mm. El cilindro será ajustado sobre dos ejes ubicados en el centro de sus caras paralelas y de modo que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje.

- Tamices

De acuerdo a la especificación de la norma ASTM E11.

- Balanza

Tendrá una precisión de 0.1% de la muestra de ensayo de acuerdo a la norma AASHTO M2-31.

- Horno

Capaz de mantener constante una temperatura de 110+-5°C.

La carga consistirá de esferas de acero de aproximadamente 46.8mm de diámetro, y una masa entre 390 y 450gr. La carga en función de la gradación de la muestra de ensayo y la muestra de ensayo se obtiene de acuerdo con la norma ASTM D75.

PROCEDIMIENTO.

Colocar la muestra de ensayo y la carga abrasiva en la máquina de los ángeles y se hace girar a una velocidad de 30 a 35 Rev./minuto hasta alcanzar 500 revoluciones.

El procedimiento para determinar el desgaste a la abrasión del agregado grueso es de gradación tipo A.

Descargar el material y hacer una selección preliminar del material más grueso que el de 1.7mm, lavar el material retenido en este tamiz, secar y determinar su masa. El resultado del ensayo y porcentaje de desgaste recibe el nombre de coeficiente de desgaste de los ángeles.

Realizar la prueba en lugares que cerrados limpios y libres de corriente de aire que pueda provocar la contaminación de la mezcla de prueba con otras partículas.

Verificar que la muestra este completamente seca al momento de efectuar el tamizado. La máquina de los ángeles debe estar limpia y sin residuos en su interior. Si el agregado esta esencialmente libre de recubrimiento y polvo puede eliminarse el requisito para lavado después del ensayo. El momento de la determinación tener cuidado de evitar la pérdida de cualquier parte de la muestra.

2.2 ENSAYO DE BETÓN ASFÁLTICO

2.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN ASTM D5 - AASHTO T49-97

OBJETO.

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza mediante penetración de materiales bituminosos sólidos y semisólidos. El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

EQUIPOS Y MATERIALES.

- Penetrómetro

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm; como el que se muestra en la figura 18. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0,05$ gr. El peso total de la aguja y el vástago será de $50,0 \pm 0,05$ gr. Para cargas totales de 100 gr y 200 gr, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de $50,0 \pm 0,05$ gr y $100,0 \pm 0,05$ gr.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.



Fig. 18 Penetrómetro

Fuente: Ensayo de Laboratorio. Estados y temperatura a la cual se ensaya.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

- Aguja de penetración

La aguja (ver Figura 19) es de acero inoxidable templado y duro, debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm. Debe montarse en un casquete de metal no corrosivo que tenga un diámetro de $3,2 \pm 0,05$ mm y una longitud de 38 ± 1 mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

La masa del conjunto casquete-aguja será de $2,50 \pm 0,05$ gr (se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Colocar marcas de identificación

individual en el casquete de cada aguja, las mismas marcas no deberían repetirse por un mismo fabricante dentro de un período de tres años.

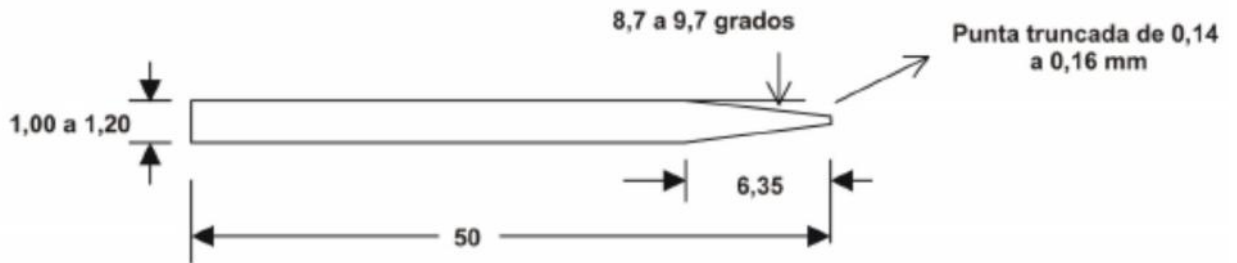


Fig. 19 Aguja para ensayo de penetración

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay, 2011)

- Cápsulas

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

- Para penetraciones bajo 200 un diámetro de 55mm y profundidad de 35mm.
- Para penetraciones entre 200 y 350 un diámetro 55mm y profundidad de 70mm.

- Baño de agua

Tendrá una capacidad mínima de 10 lt. y un sistema apto para mantener la temperatura a 25°C con una tolerancia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; tendrá además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño maría ver la figura 20.

Si el ensayo de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina.



Fig. 20 Baño María con muestras a 60°C

Fuente: Ensayo de Laboratorio. Estados y temperatura a la cual se ensaya.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

- Transportador de cápsula

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra, estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan por lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensayo deseado dentro de $\pm 0,1$ seg.

- Termómetros

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado con subdivisiones y escala máxima de error de $0,1^{\circ}\text{C}$. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la Tabla 11.

TABLA 11 TIPOS DE TERMÓMETROS

ASTM nº	Rango	Temperatura de ensaye
17 C	19 a 27 °C	25 °C
63 C	- 8 a + 32 °C	0 a 4 °C
64 C	25 a 55 °C	46 °C

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay, 2011)

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM E 77.

CONDICIONES GENERALES.

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensayo, considere la temperatura, carga y tiempo en 25°C, 100 gr y 5 seg., respectivamente.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Caliente la muestra cuidadosamente agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM D 36, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No calentar la muestra por más de 30 min. y evitar la incorporación de burbujas en la muestra.

Verter la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea por lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Verter dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.

Proteger la cápsula contra el polvo cubriéndola con un vaso y dejarla enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30°C, entre 1 y 1,5 h. para una cápsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h. para la más grande (175 ml). Cuando se utiliza el transportador de cápsula debe colocarse las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensayo.

PROCEDIMIENTO.

Examinar aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 debe usarse una aguja larga; en otros casos, se utilizará una aguja corta. Limpiar la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, secar con un paño limpio e insertar la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, colocar el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ gr.

Si el ensayo se hace con el penetrómetro en el baño, se colocará la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste, y dejar la cápsula con la muestra en el baño completamente cubierta con agua. Si el ensayo se realiza con el penetrómetro fuera del baño, colocar la muestra en el transportador de cápsula, cubriéndola completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubicar el transportador sobre la superficie del penetrómetro.

En la figura 21 se muestra el proceso de penetración obedeciendo a la preparación de la muestra y procedimiento adecuado.



Fig. 21 Proceso de penetración

Fuente: Ensayo de Laboratorio. Estados y temperatura a la cual se ensaya.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Finalmente, posicionar la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realizar esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra.

Se realiza un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, regresar la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones, usar una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200, se usará mínimo tres agujas dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

La tabla 12 determina la diferencia máxima que debe existir entre lecturas de la misma muestra.

TABLA 12 MÁXIMA ENTRE MEDICIONES

PENETRACION	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación	2	4	12	20

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay, 2011)

2.3 ENSAYOS Y APLICACIONES A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.3.1 MÉTODO MARSHALL

2.3.1.1 ENSAYO UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97)

ALCANCE.

Este método describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall. Este método es aplicable a mezclas asfálticas con árido de tamaño máximo 25 mm.

EQUIPO Y MATERIALES.

- Moldes de compactación

Constituidos por una placa base, molde y collar. El molde debe tener un diámetro interior de $101,6 \pm 0,1$ mm y una altura de 80 mm; la placa base y el collar se diseñan de modo que se pueda ajustar a cualquier extremo del molde, conforme a los detalles de la Figura 25 expuesta más adelante.

- Extractor

Sirve para sacar las probetas del molde; debe estar provisto de un disco desplazador de 100 mm de diámetro por 10 mm de espesor. En casos emergentes se puede sacar las muestras con el martillo compactador y colocando de forma inversa los moldes.

- Martillo de compactación

Consiste en una cara circular de 100 mm de diámetro equipada con un peso de 9,9 a 10 lb o 4515 ± 15 gr y construido para obtener una altura de caída 460 ± 2 mm, conforme a los detalles de la Figura 26. Las condiciones señaladas aseguran la obtención de una energía por caída de 20,75 J.

- Pedestal de compactación

Consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm cubierto con una placa de acero de 305 x 305 x 25 mm. El poste va empotrado en hormigón mediante cuatro perfiles, debe quedar a plomo y la placa de acero debe quedar firmemente afianzada y a nivel. El poste puede ser de roble, pino u otra madera.

- Sujetador de molde

Consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.

- Mordaza

Consiste en dos segmentos de cilindro, superior e inferior, con un radio interno de $51 \pm 0,2$ mm, diseñado según la Figura 27, para transmitir la carga a la probeta en el ensayo.

- Máquina Marshall

Aparato eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas, durante el ensayo, a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, el anillo tendrá una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45N con un dial graduado de 0,0025 mm (0,01”) y un medidor de flujo con una precisión de 0,01 mm para determinar la deformación que se produce en la carga máxima. Se puede emplear también esta máquina equipada con sensor y registrador de estabilidad v/s fluencia.

La figura 22 muestra la ejecución del ensayo Marshall. El aparato prescinde del anillo y en su lugar es el sensor o celda de carga el que mide la estabilidad, así mismo, se encuentra el dial de flujo instalado para su realización.



Fig. 22 Prensa Marshall

Fuente: Ensayo de Laboratorio. Estados y temperatura a la cual se ensaya.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

- Baño de agua (Baño maría)

De al menos 150 mm de profundidad y controlado termostáticamente a 60 ± 1 °C. El estanque debe tener un fondo falso perforado y un termómetro centrado y fijo.

- Equipo misceláneo

a) Pailas para calentar el árido.

b) Recipiente para calentar el asfalto.

c) Recipiente para mezclar el asfalto y árido.

d) Espátulas para el mezclado manual de la mezcla.

e) Mezclador mecánico, opcional.

f) Termómetros de rango 10 a 200° C para determinar las temperaturas del árido, asfalto y mezcla bituminosa.

g) Balanzas con capacidad 5 kg y precisión 1 gr.

h) Palas.

i) Guantes aislantes para resistir rango de temperatura indicadas en literal f), y guantes de goma.

j) Pintura, tinta u otro elemento de marcación indeleble, para identificar las probetas.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Preparar por lo menos 3 y de preferencia 5 probetas para cada contenido de asfalto.

Se inicia secando el agregado hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}$ C y separándolo por tamizado en seco en las siguientes fracciones: 25-19 mm (retenido en $\frac{3}{4}$ "); 19-12,5 mm (retenido en $\frac{1}{2}$ "); 12,5-9,5 mm (retenido en $\frac{3}{8}$ "); 9,5-4,75 mm (retenido en tamiz N°4); y bajo el tamiz de 4,75 mm.

La temperatura de mezclado es aquella a la cual debe calentarse el cemento asfáltico para producir una viscosidad de 170 ± 20 cSt., esta viene dada por la empresa proveedora del asfalto, en este caso PETROECUADOR.

La figura 23 muestra la mezcla los áridos con el asfalto a una temperatura de 155° C que es la especificada.



Fig. 23 Temperatura de Mezclado

Fuente: Ensayo de Laboratorio. Temperatura de mezclado para producir tres muestras.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

La temperatura de compactación para cementos asfálticos debe ser aquella a la cual el cemento asfáltico alcanza una viscosidad de 280 ± 30 cSt, tal como se muestra en la figura 24 en donde la temperatura de compactación es de 140°C

- Preparación de muestras

Las briquetas deberán prepararse entre 3 y 7 conjuntos de porcentajes de variación, para cada uno de éstos deberá pesarse la cantidad necesaria para producir 3 probetas de ensayo, como mínimo; que dé como resultado cada probeta compacta de aproximadamente 65 mm de altura y un peso de 1200 gr, en conjunto un peso de 3600 gr. para cada grupo de porcentajes. Luego se calentará el árido en el recipiente de mezclado a una temperatura de 120°C y se incorporará la cantidad necesaria de cemento asfáltico. En ese instante las temperaturas del árido y del asfalto deben estar dentro de los límites establecidos anteriormente en la temperatura de mezclado. El asfalto no debe mantenerse a la temperatura de mezclado por más de 1 h antes de usarlo. El árido y asfalto deberán mezclarse tan rápido como sea posible hasta que la mezcla quede totalmente cubierta y uniforme.

- Compactación de probetas

a) Preparar el molde y el martillo, limpiando completamente el conjunto del molde y cara del martillo de compactación y calentarlos durante 15 min. en un baño de agua o en una placa caliente a una temperatura próxima a la de compactación. Colocar un disco de papel filtro, cortado a medida, en la parte inferior del molde antes de colocar la mezcla. Suavizar la parte interior del molde y la cara del martillo con un aceite grueso. Coloque el conjunto collar, molde y base en el pedestal del compactador.

b) Llene el molde con una espátula, acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro. La temperatura antes de compactar debe estar en los límites establecidos anteriormente en la temperatura de compactación; si no es así, será descartada, y en ningún caso la mezcla debe recalentarse.

c) Con el martillo de compactación se aplica 75 golpes para diseños de tráfico pesado, en un tiempo no superior a 90 seg. Acto seguido se debe sacar la base y el collar, invirtiendo y re-ensamblando el molde, aplicar en la otra cara el mismo número de golpes en un tiempo no mayor al indicado. Después de compactar se saca la base y deje enfriar la probeta al aire. De requerir un enfriamiento más rápido puede usarse ventiladores. Normalmente la probeta se deja enfriar toda una noche.



Fig 24 Compactación de probetas con los accesorios normados.

Fuente: Ensayo de Laboratorio. Estados y temperatura a la cual se ensaya.

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

- Determinación de densidad y espesor

Tan pronto como la probeta se enfríe a temperatura ambiente, se desmolda y determina su espesor. Luego se procede a calcular su densidad.

PROCEDIMIENTO.

Las probetas confeccionadas con cementos asfálticos se colocan en un baño de agua a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 20 a 30 min. antes de ensayar.

Se limpia completamente la mordaza y La temperatura de ésta debe mantenerse entre 21 y 38°C , usando un baño de agua si es necesario. Las barras guías se lubrican con una película delgada de aceite de modo que la parte superior de la mordaza deslice suavemente.

Al sacar la probeta del agua debe secarse cuidadosamente la superficie, colocando y centrando la probeta en la parte inferior de la mordaza, y la parte superior se coloca y centra al conjunto en el aparato de carga.

Se aplica carga a la probeta a una velocidad constante de deformación de 50 ± 1 mm/min. hasta que se produzca la falla. El punto de falla queda definido por la carga

máxima obtenida. Se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la probeta a 60° C, corregida de acuerdo a Tabla 13.

A medida que avanza el ensayo de estabilidad, se sujetará firmemente el medidor de flujo sobre la barra guía. Cuando se produzca la carga máxima, se tomará y anotará la lectura. Esta lectura es el valor de la fluidez de la probeta expresada en unidades de 0,25 mm (1/100 pulg). El procedimiento completo, estabilidad y fluencia, comenzando desde el momento en que se retira la probeta del agua, no debe durar más de 30 seg.

TABLA 13 FACTORES DE CORRECCIÓN POR ALTURA PARA ESTABILIDAD

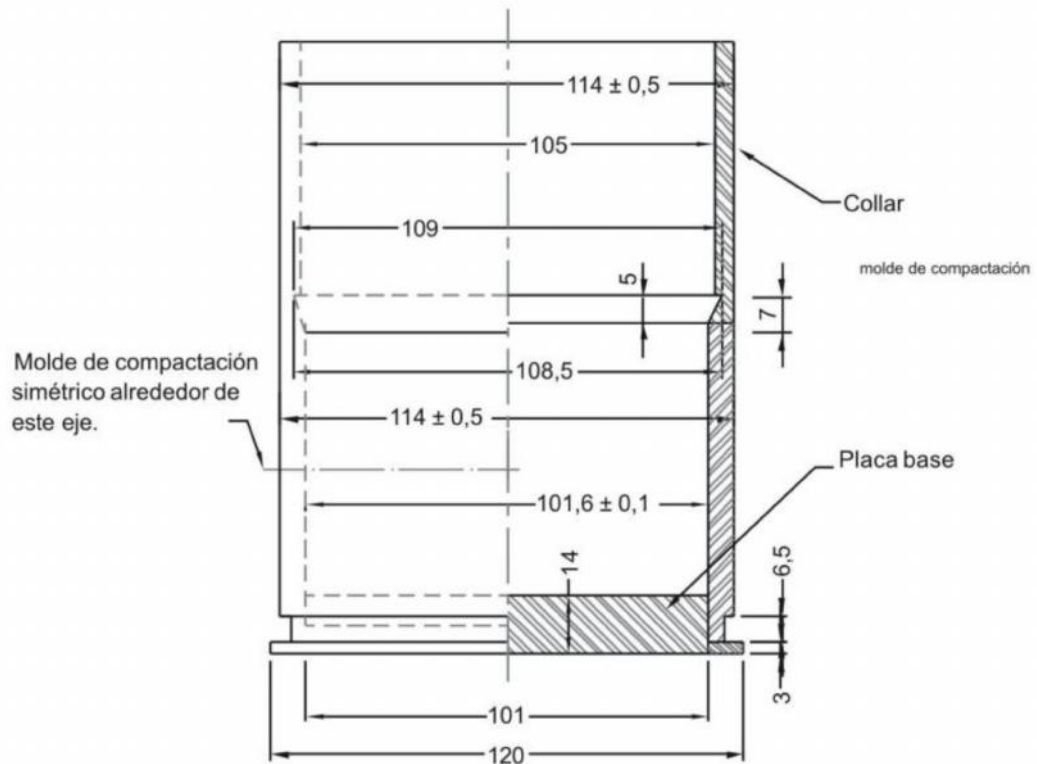
ALTURA	FACTOR	ALTURA	FACTOR	ALTURA	FACTOR
(mm)		(mm)		(mm)	
31,5	3.902	36,5	3.030	41,5	2.246
31,6	3.884	36,6	3.014	41,6	2.234
31,7	3.867	36,7	2.999	41,7	2.223
31,8	3.850	36,8	2.983	41,8	2.211
31,9	3.833	36,9	2.968	41,9	2.199
32,0	3.815	37,0	2.952	42,0	2.187
32,1	3.798	37,1	2.936	42,1	2.175
32,2	3.780	37,2	2.921	42,2	2.163
32,3	3.763	37,3	2.905	42,3	2.151
32,4	3.745	37,4	2.889	42,4	2.139
32,5	3.728	37,5	2.874	42,5	2.128
32,6	3.710	37,6	2.858	42,6	2.116
32,7	3.693	37,7	2.843	42,7	2.104
32,8	3.675	37,8	2.827	42,8	2.092
32,9	3.658	37,9	2.811	42,9	2.080
33,0	3.640	38,0	2.796	43,0	2.070
33,1	3.623	38,1	2.780	43,1	2.060
33,2	3.605	38,2	2.763	43,2	2.050
33,3	3.588	38,3	2.745	43,3	2.040
33,4	3.570	38,4	2.728	43,4	2.030
33,5	3.554	38,5	2.710	43,5	2.020
33,6	3.538	38,6	2.693	43,6	2.010
33,7	3.522	38,7	2.675	43,7	2.000
33,8	3.506	38,8	2.658	43,8	1.990
33,9	3.490	38,9	2.640	43,9	1.980
34,0	3.474	39,0	2.623	44,0	1.970
34,1	3.458	39,1	2.605	44,1	1.960
34,2	3.442	39,2	2.588	44,2	1.950
34,3	3.426	39,3	2.570	44,3	1.940
34,4	3.410	39,4	2.553	44,4	1.930
34,5	3.394	39,5	2.535	44,5	1.920
34,6	3.378	39,6	2.517	44,6	1.912
34,7	3.362	39,7	2.500	44,7	1.904
34,8	3.346	39,8	2.486	44,8	1.896
34,9	3.330	39,9	2.471	44,9	1.888
35,0	3.311	40,0	2.457	45,0	1.879
35,1	3.293	40,1	2.443	45,1	1.871
35,2	3.274	40,2	2.428	45,2	1.863
35,3	3.255	40,3	2.414	45,3	1.855
35,4	3.236	40,4	2.399	45,4	1.847
35,5	3.218	40,5	2.385	45,5	1.839
35,6	3.199	40,6	2.371	45,6	1.831
35,7	3.180	40,7	2.356	45,7	1.823
35,8	3.161	40,8	2.342	45,8	1.814
35,9	3.143	40,9	2.328	45,9	1.806
36,0	3.124	41,0	2.313	46,0	1.798
36,1	3.105	41,1	2.299	46,1	1.790
36,2	3.086	41,2	2.284	46,2	1.782
36,3	3.068	41,3	2.270	46,3	1.774
36,4	3.049	41,4	2.258	46,4	1.766

ALTURA	FACTOR	ALTURA	FACTOR	ALTURA	FACTOR
(mm)		(mm)		(mm)	
46,5	1.758	51,5	1.435	56,5	1.216
46,6	1.750	51,6	1.430	56,6	1.213
46,7	1.742	51,7	1.425	56,7	1.209
46,8	1.734	51,8	1.420	56,8	1.205
46,9	1.726	51,9	1.415	56,9	1.201
47	1.718	52,0	1.410	57,0	1.198
47,1	1.710	52,1	1.405	57,1	1.194
47,2	1.702	52,2	1.400	57,2	1.190
47,3	1.694	52,3	1.395	57,3	1.187
47,4	1.686	52,4	1.390	57,4	1.184
47,5	1.678	52,5	1.386	57,5	1.181
47,6	1.670	52,6	1.381	57,6	1.178
47,7	1.663	52,7	1.377	57,7	1.174
47,8	1.656	52,8	1.373	57,8	1.171
47,9	1.649	52,9	1.368	57,9	1.168
48,0	1.643	53,0	1.364	58,0	1.165
48,1	1.636	53,1	1.359	58,1	1.162
48,2	1.629	53,2	1.355	58,2	1.159
48,3	1.622	53,3	1.351	58,3	1.156
48,4	1.615	53,4	1.346	58,4	1.153
48,5	1.608	53,5	1.342	58,5	1.149
48,6	1.601	53,6	1.338	58,6	1.146
48,7	1.594	53,7	1.333	58,7	1.143
48,8	1.588	53,8	1.329	58,8	1.140
48,9	1.581	53,9	1.324	58,9	1.137
49,0	1.574	54,0	1.320	59,0	1.134
49,1	1.567	54,1	1.316	59,1	1.131
49,2	1.560	54,2	1.311	59,2	1.128
49,3	1.554	54,3	1.307	59,3	1.124
49,4	1.549	54,4	1.303	59,4	1.121
49,5	1.543	54,5	1.298	59,5	1.118
49,6	1.538	54,6	1.294	59,6	1.115
49,7	1.532	54,7	1.289	59,7	1.112
49,8	1.526	54,8	1.285	59,8	1.109
49,9	1.521	54,9	1.281	59,9	1.106
50,0	1.515	55,0	1.276	60,0	1.103
50,1	1.509	55,1	1.272	60,1	1.099
50,2	1.504	55,2	1.268	60,2	1.096
50,3	1.498	55,3	1.263	60,3	1.093
50,4	1.493	55,4	1.259	60,4	1.090
50,5	1.487	55,5	1.254	60,5	1.087
50,6	1.481	55,6	1.250	60,6	1.084
50,7	1.476	55,7	1.246	60,7	1.081
50,8	1.470	55,8	1.243	60,8	1.078
50,9	1.465	55,9	1.239	60,9	1.074
51,0	1.460	56,0	1.235	61,0	1.071
51,1	1.455	56,1	1.231	61,1	1.068
51,2	1.450	56,2	1.228	61,2	1.065
51,3	1.445	56,3	1.224	61,3	1.062
51,4	1.440	56,4	1.220	61,4	1.059

ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR
61,5	1.056	66,4	0,936	71,3	0,834
61,6	1.053	66,5	0,934	71,4	0,832
61,7	1.049	66,6	0,932	71,5	0,830
61,8	1.046	66,7	0,930	71,6	0,829
61,9	1.043	66,8	0,928	71,78	0,828
62,0	1.040	66,9	0,925	71,8	0,826
62,1	1.037	67,0	0,923	71,9	0,825
62,2	1.035	67,1	0,920	72,0	0,824
62,3	1.032	67,2	0,918	72,1	0,823
62,4	1.029	67,3	0,915	72,2	0,821
62,5	1.027	67,4	0,913	72,3	0,820
62,6	1.024	67,5	0,910	72,4	0,819
62,7	1.021	67,6	0,908	72,5	0,818
62,8	1.019	67,7	0,905	72,6	0,816
62,9	1.016	67,8	0,903	72,7	0,815
63,0	1.013	67,9	0,900	72,8	0,814
63,1	1.011	68,0	0,898	72,9	0,813
63,2	1.008	68,1	0,895	73,0	0,811
63,3	1.005	68,2	0,893	73,1	0,810
63,4	1.003	68,3	0,890	73,2	0,808
63,5	1.000	68,4	0,888	73,3	0,806
63,6	0,998	68,5	0,886	73,4	0,804
63,7	0,995	68,6	0,884	73,5	0,802
63,8	0,993	68,7	0,883	73,6	0,800
63,9	0,990	68,8	0,881	73,7	0,798
64,0	0,988	68,9	0,879	73,8	0,796
64,1	0,985	69,0	0,877	73,9	0,794
64,2	0,983	69,1	0,875	74,0	0,792
64,3	0,980	69,2	0,873	74,1	0,790
64,4	0,978	69,3	0,871	74,2	0,788
64,5	0,975	69,4	0,869	74,3	0,786
64,6	0,973	69,5	0,868	74,4	0,784
64,7	0,970	69,6	0,866	74,5	0,782
64,8	0,968	69,7	0,864	74,6	0,780
64,9	0,965	69,8	0,862	74,7	0,779
65,0	0,963	69,9	0,860	74,8	0,778
65,1	0,960	70,0	0,858	74,9	0,776
65,2	0,958	70,1	0,856	75,0	0,775
65,3	0,956	70,2	0,854	75,1	0,774
65,4	0,954	70,3	0,853	75,2	0,773
65,5	0,953	70,4	0,851	75,3	0,771
65,6	0,951	70,5	0,849	75,4	0,770
65,7	0,949	70,6	0,847	75,5	0,769
65,8	0,947	70,7	0,845	75,6	0,768
65,9	0,945	70,8	0,843	75,7	0,766
66,0	0,943	70,9	0,841	75,8	0,765
66,1	0,941	71,0	0,839	75,9	0,764
66,2	0,939	71,138	0,838	76,0	0,763
66,3	0,938	71,2	0,836	76,1	0,761

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay, 2011)

La estabilidad de la probeta multiplicada por el factor correspondiente a su altura, es igual a la estabilidad corregida para una probeta de 63,5mm.



Molde de compactación ensamblado con collar y placa base.

Fig. 25 Molde de compactación

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay, 2011)

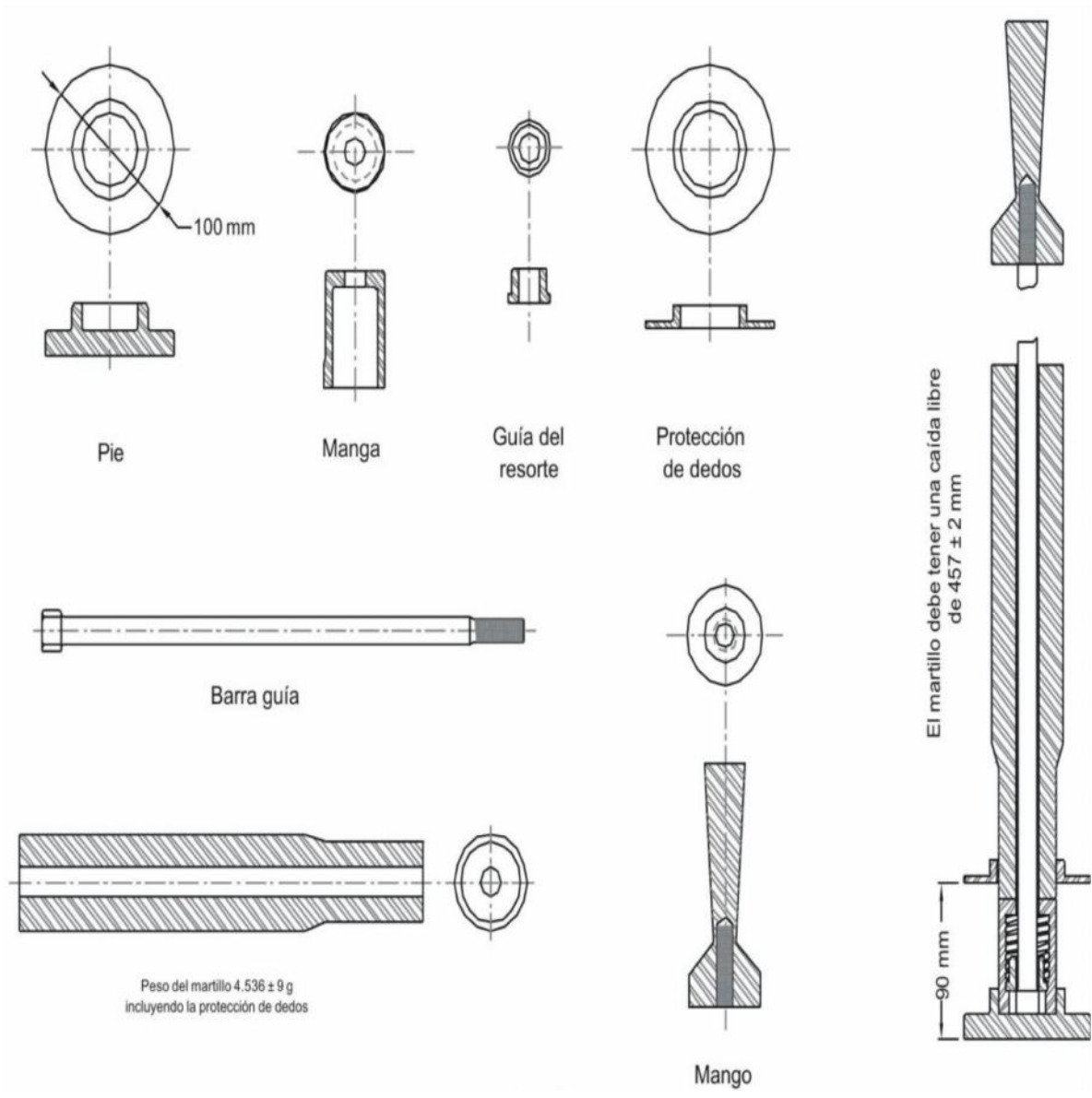


Fig. 26 Martillo de compactación

Fuente: Google.com

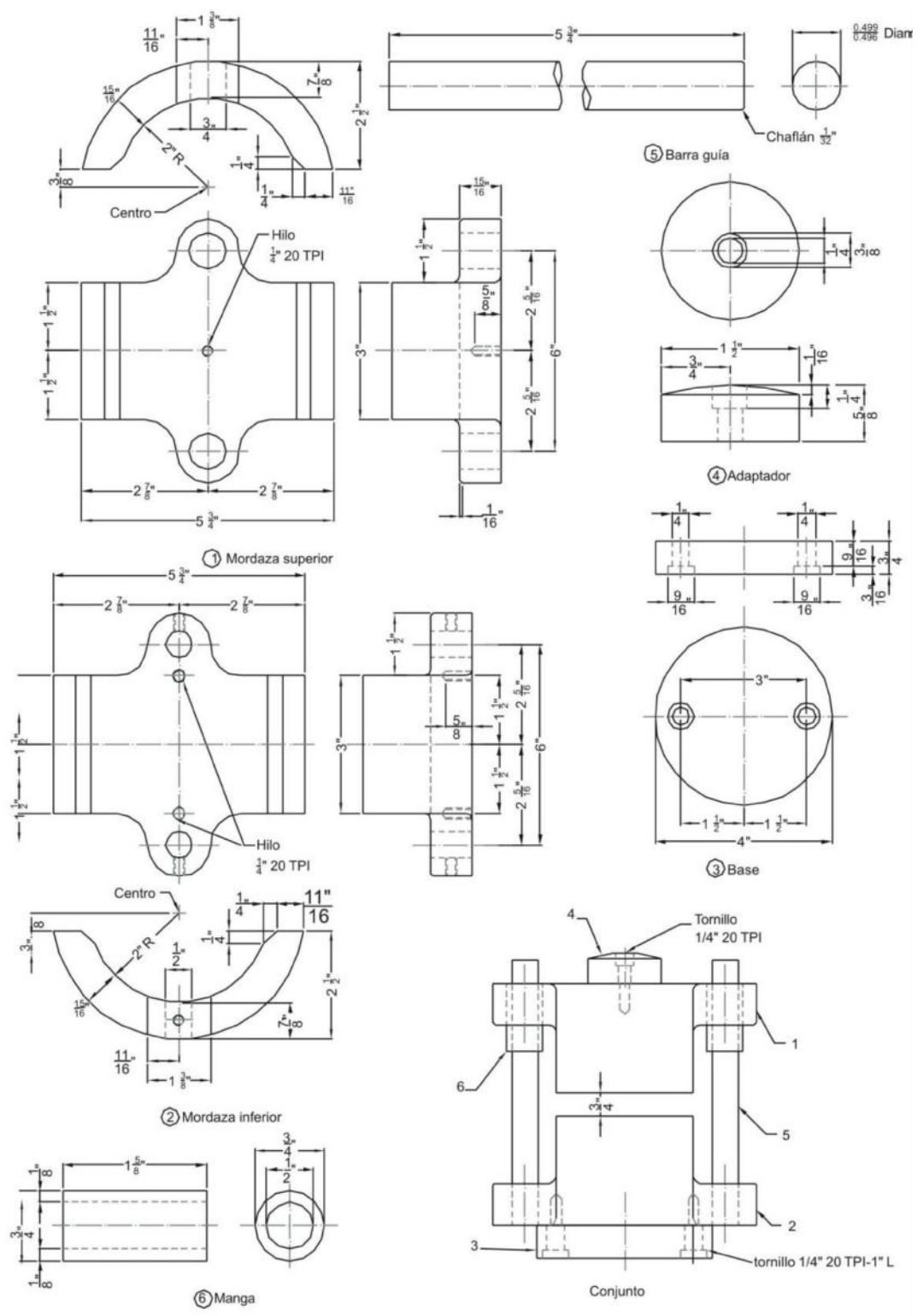


Fig. 27 Mordaza
Fuente: Google.com

2.3.1.2 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

ALCANCE.

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de campo, y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

DETERMINACIONES PREVIAS.

- 1) Determinar la densidad real seca de cada árido que participa en la mezcla y la del filler, si lo hubiere.
- 2) Determinar la densidad máxima de la mezcla suelta o peso específico rice que se detallado en el numeral 2.3.2, para un contenido de asfalto próximo al óptimo previsto.
- 3) Preparar las probetas.
- 4) Determinar las densidades de las probetas compactadas o peso específico bulk.
- 5) Medir la estabilidad y la fluencia de las mezclas usando el equipo Marshall.

CÁLCULOS

- 1) Cálculo de la densidad real seca ponderada de la mezcla de áridos.

Cuando la mezcla está compuesta por dos o más áridos, todos con diferentes densidades reales, calcular la densidad real seca de la mezcla de áridos de acuerdo a la expresión:

$$R_{RS} = \frac{\sum P_i}{\sum \frac{P_i}{R_{Si}}} \quad (10)$$

Dónde:

RS: Densidad real seca de la mezcla de agregados.

Pi: Porcentaje en peso de cada árido, expresado en decimales.

RSi: Densidades reales secas de cada árido.

- 2) Cálculo de la densidad efectiva del árido.

Calcular la densidad efectiva del árido mediante la expresión:

$$\dots E = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{\dots s} - \frac{P_b}{\dots b}} \quad (11)$$

Donde:

E: Densidad efectiva del árido (Kg/m3).

P_b: Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

s: Densidad máxima de la mezcla suelta o densidad RICE (Kg/m3).

b: Densidad del asfalto.

3) Cálculo del porcentaje de asfalto absorbido.

El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje referido al árido y se calcula con la fórmula siguiente:

$$P_{ba} = \left(\frac{1}{\dots RS} - \frac{1}{\dots E} \right) * \dots b * 100 \quad (12)$$

Dónde:

P_{ba}: Porcentaje de asfalto absorbido, referido al árido (%).

RS: Densidad real seca del árido (kg/m3).

E: Densidad efectiva del árido (Kg/m3).

b: Densidad del asfalto.

4) Contenido de asfalto útil.

El contenido de asfalto útil (P_{bu}) de una mezcla, corresponde al contenido de asfalto total menos el contenido de asfalto absorbido por el árido. Se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$P_{bu} = P_b - \left(P_{ba} * \frac{100 - P_b}{100} \right) \quad (13)$$

Dónde:

P_{bu}: Porcentaje de asfalto útil referido al árido (%).

P_b: Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

P_{ba} : Porcentaje de asfalto absorbido referido al árido (%).

5) Cálculo de Vacíos en el árido mineral.

El porcentaje de vacíos en el árido mineral (VAM), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VAM = 100 - \left(G * \frac{100 - Pb}{\dots RS} \right) \quad (14)$$

Dónde:

VAM: Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%).

G: Densidad de la mezcla compactada (kg/m³)

RS: Densidad real seca del árido (kg/m³).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

6) Cálculo del porcentaje de huecos de aire en la mezcla.

El porcentaje de huecos de aire en la mezcla (V_a), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_a = 100 * \frac{\dots s - G}{\dots s} \quad (15)$$

Dónde:

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

s: Densidad máxima de la mezcla.

G: Densidad de la mezcla compactada (kg/m³).

7) Cálculo del porcentaje de huecos llenos con asfalto.

El porcentaje de huecos llenos con asfalto (VFA), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VFA = 100 * \left(1 - \frac{V_a}{VAM} \right) \quad (16)$$

Donde:

VFA: Porcentaje de huecos llenos de asfalto (%).

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

VAM: Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%).

ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS.

- 1) Los valores de estabilidad obtenidos para probetas de espesores distintos a 63,5 mm deben corregirse, convirtiendo éstos a un valor equivalente a 63,5 mm, utilizando para el o los factores de corrección indicados en Tabla 13.
- 2) Calcular el valor promedio de la densidad, fluencia y estabilidad corregida, para todas las probetas con un mismo contenido de asfalto.
- 3) Confeccionar los siguientes gráficos, uniendo mediante una curva todos los puntos obtenidos:
 - a) Estabilidad v/s porcentaje de asfalto.
 - b) Fluencia v/s porcentaje de asfalto.
 - c) Densidad o BULK v/s porcentaje de asfalto.
 - d) Huecos en la mezcla v/s porcentaje de asfalto.
 - e) VAM v/s porcentaje de asfalto.

Con las curvas indicadas se determina el contenido óptimo de asfalto.

- 4) Capa de Rodadura
 - a) Determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando las curvas graficadas. De dichas curvas se establece los porcentajes de asfalto (Pb) que entreguen:
 - Máxima estabilidad (Pb1).
 - Máxima densidad (Pb2).
 - Contenido de asfalto para un 4% de huecos (Pb3).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la media aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

- b) Verificar que el contenido óptimo de asfalto, con una tolerancia de $\pm 0,3$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla. En caso contrario, confeccionar una nueva serie de muestras.

2.3.2 DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA CON EL PICNÓMETRO DE VACÍO (ENSAYO RICE) NORMA ASTM D 2041

ALCANCE.

Este método describe el procedimiento para la determinación de la gravedad y densidad teórica máxima de las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 25°C con el picnómetro de vacío.

EQUIPO.

- Picnómetro de vacío

Ya sea de metal o plástico con un ϕ 180 a 260mm y altura 160mm, estará equipado con una tapa transparente con empaquetadura de goma y una conexión para la línea de vacío.



Fig. 28 Picnómetro de Vacío

Fuente: Ensayo de Laboratorio

Elaborado por: Cristóbal Campos M.

- Balanza

Con una precisión de 0,1 gr conforme ASTM D 4753.

- Bomba de vacío

Capaz de evacuar el aire desde el contenedor de vacío a una presión residual de 4KPa o menos.

- Manómetro de presión residual o calibración absoluta.

Medidor de vacío. Este manómetro de calibración o medidor de presión absoluta se utiliza para la confirmación de la presión que se aplica al recipiente y será capaz de medir la presión residual de 4KPa o menos.

- Manómetro o indicador de vacío.

Adecuado para medir el vacío, este dispositivo puede ser conectado directamente a la fuente de vacío.

- Termómetro.

De vidrio y calibrado, de rango adecuado, con subdivisiones de escala máximo de error de 0.5°C o cualquier otro dispositivo de igual exactitud.

- Válvulas de vacío

Para facilitar el ajuste de vacío que se aplica al picnómetro de vacío con la muestra.

- Dispositivo de agitación mecánica

Capaz de aplicar una suave pero constante agitación de la muestra, este dispositivo estará equipado con un medio de anclaje firmemente al picnómetro de vacío para que no se mueva en la superficie del dispositivo.

- Horno

Capaz de mantener una temperatura constante de 110 +- 5°C.

CALIBRACIÓN DE LOS RECIPIENTES.

Si se utiliza el picnómetro de vacío para el pesaje en el aire determinar adecuadamente el peso del agua requerido para llenarlo a la temperatura de 25 +-1°C, lo cual debe asegurarse mediante el uso de una placa de vidrio que sirva de cubierta y designar este peso como D.

PROCEDIMIENTO.

Si la mezcla para pavimentación se ha realizado en laboratorio utilizando los agregados secados al horno se procederá de la siguiente manera:

Una vez que la muestra esté seca y aún caliente, debe separarse las partículas de la muestra a mano, teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales.

Enfriar la muestra a la temperatura ambiente, pesar el recipiente con la muestra y designar el peso neto como A.

Agregar suficiente agua a una temperatura de 25°C para cubrir la muestra completamente colocando la tapa en el picnómetro de vacío. Colocar el picnómetro de vacío con la muestra y el agua en un dispositivo de agitación mecánica, remover el aire atrapado en la muestra aumentando gradualmente la presión de vacío hasta que el manómetro de presión residual marque 3.7 +/- 0.3 KPa de Hg durante un periodo de 15 +/- 2 min.

Agitar continuamente el picnómetro de vacío con su contenido, mediante el dispositivo mecánico a intervalos alrededor de 2min.

El vacío puede aumentarse y disminuirse gradualmente empleando la válvula.

Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado se procederá a pesar en el aire el picnómetro + material + agua. Lentamente llenar el picnómetro de vacío tratando de no introducir aire en la muestra, medir y registrar la temperatura del agua en el picnómetro, retirar el termómetro y llenar totalmente el picnómetro utilizado. Cubrir con la placa de vidrio teniendo cuidado de no atrapar el aire por debajo de la placa.

Eliminar cualquier humedad del exterior del picnómetro y la placa, determinar la masa del picnómetro + material + agua; designar este peso como E.

Se calcula el peso específico rice con la siguiente formula:

$$\gamma_s = \frac{A}{D + A - E} \quad (17)$$

γ_s : Peso específico rice.

D: Peso del picnómetro calibrado.

A: Peso de la muestra.

E: Peso de picnómetro + agua + muestra.

2.3.3 PESO ESPECÍFICO BULK DE LAS BRIQUETAS NORMA ASTM D 1188

ALCANCE.

Este método describe el procedimiento para la determinación de la gravedad específica bulk de especímenes compactados de mezclas bituminosas recubiertas de parafina.

EQUIPO.

- Balanza

Estará equipada con un aparato adecuado para permitir el peso de la muestra mientras está suspendida en el agua.

- Baño de agua

Para sumergir la muestra en agua.

MATERIALES.

- Cilindro de calibración

Cilindro de aluminio de caras lisas de 100 mm * 60 mm.

- Muestra de ensayo

Los especímenes pueden ser moldeados en el laboratorio o ser cortados del pavimento bituminoso en el campo. Las muestras de campo deben ser obtenidas de acuerdo con la práctica ASTM D 979

PROCEDIMIENTO.

Determinar el recubrimiento de los especímenes de prueba.

Determinar la gravedad específica sin recubrir de acuerdo con el método de prueba ASTM d 2726; utilizar los datos para calcular el porcentaje de agua absorbida por la muestra. Si el porcentaje del agua absorbida de la muestra no supera el 2% la gravedad específica de la muestra sin recubrir se realiza con el método de prueba ASTM D 2726. Si el porcentaje de agua absorbida por la muestra es superior a 2%, continuar con el procedimiento descrito a continuación.

Masa de la muestra recubierta.

Sobre una superficie dura cortar 2 piezas de parafina de 100 * 100 mm y una de 100 * 200 mm, cubrir toda la superficie del espécimen del ensayo con espuma de

poliuretano y parafina derretida en una capa suficientemente gruesa como para que selle todos los vacíos superficiales. Dejar enfriar a la temperatura ambiente, luego pesar. Determinar la masa de la muestra recubierta en un baño de agua a 25°C.

CAPITULO III. RESULTADOS

Resultado 1 ENSAYO DE GRANULOMETRIA



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA DE RIO - TAMAÑO No 4
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

ARENA DE RIO - No 4

Abertura de Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que pasa	Observaciones
2 "					
1 1/2 "					
1 "					
3/4 "					
1/2 "					
3/8 "		0.0	0.00	100.00	
# 4		11.3	2.26	97.74	
# 8		112.9	22.58	77.42	
# 30		348.1	69.62	30.38	
# 50		434.3	86.86	13.14	
# 100		472.7	94.54	5.46	
# 200		482.3	96.46	3.54	
Pasa # 200		17.7	3.54		
TOTAL		500.0			

NORMA ASTM C.136

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Resultado 2 ENSAYO DE GRANULOMETRIA 3/8



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN
N : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : TRITURADO 3/8"
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRANULOMETRIA GRAVA TRITURADA 3/8"

Abertura de Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que pasa	Observaciones
2 "					
1 1/2 "					
1 "					
3/4 "					
1/2 "					
3/8 "		0.0	0.00	100.00	
# 4		1575.1	78.76	21.25	
# 8		1989.7	99.49	0.52	
# 30		10.3	0.52		
# 50					
# 100					
# 200					
Pasa # 200					
TOTAL		2000.0			

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Resultado 3 ENSAYO DE GRANULOMETRIA 3/16



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA TRITURADA 3/16"
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRANULOMETRIA ARENA TRITURADA 3/16"

Abertura de Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que pasa	Observaciones
1/2 "					
3/8 "		0.0	0.00	100.00	
# 4		0.5	0.10	99.90	
# 8		158.4	31.68	68.32	
# 30		334.3	66.86	33.14	
# 50		388.2	77.64	22.36	
# 100		422.7	84.54	15.46	
# 200		442.2	88.44	11.56	
Pasa 200		57.8	11.56		
TOTAL		500.0			

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Resultado 4 ENSAYO DE GRANULOMETRIA 3/4



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : TRITURADO 3/4"
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRANULOMETRIA GRAVA TRITURADA 3/4"

Abertura de Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que pasa	Observaciones
3/4 "		0.0	0.00	100.00	
1/2 "		1400.0	56.00	44.00	
3/8 "		2182.0	87.28	12.72	
# 4		2466.0	98.64	1.36	
# 8		34.0	1.36		
# 30					
# 50					
# 100					
# 200					
Pasa 200					
TOTAL		2500.0			

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Resultado 5 GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA DE RIO



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA DE RIO - TAMAÑO No 4
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION METODO DEL PICNOMETRO ARENA DE RIO No 4

A - Peso del material Superficie Seca Saturada		500.0
B - Peso del Picnómetro + Agua + Material		2.927.4
C - Peso del Picnómetro + Agua		2.618.5
D - Peso del Material Seco		489.1

1 - Grav. Específica de Masa (Bulk)	$D / (C+A-B) =$	2.559
2 - Grav. Específica Sup. Seca Satur. (sss)	$A / (C+A-B) =$	2.616
3 - Grav. Específica Aparente	$D / (D+C-B) =$	2.714
4 - Porcentaje de Absorción	$A-D / D*100$ =	2.23

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos M.

Resultado 6 GRAVEDAD ESPECIFICA 3/8



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : TRITURADO 3/8"
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION GRAVA TRITURADA DE 3/8"

A - Peso del material sumergido	1.504.0
B - Peso del Picnómetro + Agua + Material	2.400.0
C - Peso del Material Seco	2.354.0

1- Grav. Específica de Masa (Bulk)	$C / (B-A) =$	2.627
2- Grav. Específica Sup. Seca Satur. (sss)	$B / (B-A) =$	2.679
3- Grav. Específica Aparente	$C / (C-A) =$	2.769
4- Porcentaje de Absorción	$B-C / C*100 =$	1.95

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 7 GRAVEDAD ESPECIFICA 3/16



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA TRITURADA 3/16"
PROCEDEN : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION METODO DEL PICNOMETRO ARENA TRITURADA 3/16"

A - Peso del material Superficie Seca	
Saturada	500.0
B - Peso del Picnómetro + Agua + Material	2.930.9
C - Peso del Picnómetro + Agua	2.618.5
D - Peso del Material Seco	493.7

1- Grav. Específica de Masa (Bulk)	$D / (C+A-B)$	2.632
2- Grav. Específica Sup. Seca Satur. (sss)	$A / (C+A-B)$	2.665
3- Grav. Específica Aparente	$D / (D+C-B)$	2.723
4- Porcentaje de Absorción	$A-D / D*100$	1.28

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

**Resultado 8
GRAVEDAD
ESPECIFICA 3/4**



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : TRITURADO 3/4"
: PLANTA ASFALTICA DE
PROCEDENCIA UZHUPUD
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA
GRAVA TRITURADA 3/4"**

A - Peso del material sumergido	2.554.0
B - Peso del Picnómetro + Agua + Material	4.200.0
C - Peso del Material Seco	4.166.0

1- Grav. Específica de Masa (Bulk)	$C / (B-A) =$	2.531
2- Grav. Específica Sup. Seca Satur. (sss)	$B / (B-A) =$	2.552
3- Grav. Específica Aparente	$C / (C-A) =$	2.584
4- Porcentaje de Absorción	$B-C / C * 100 =$	0.82

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

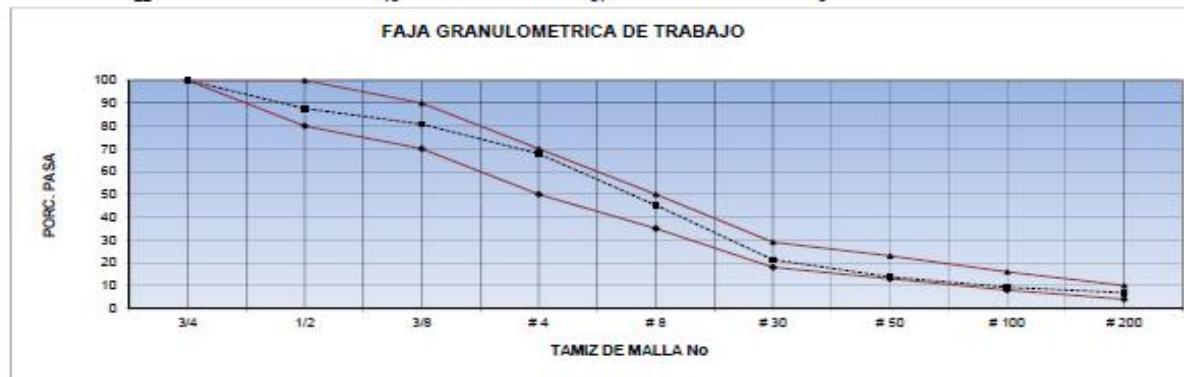
Resultado 9 FORMULA MAESTRA DE OBRA

LABORATORIO DE ASFALTOS
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA
 FAJA DE TRABAJO "IVb" INSTITUTO DEL ASFALTO

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
 APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
 EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
 FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

FORMULA MAESTRA DE OBRA

ABERTURA TAMIZ	20		15		45		20		% PASA MEZCLA TOTAL	ESPECIFIC. Faja IVb Inst. Asf.	VALOR MEDIO
	AGREGADOS % QUE PASA										
	Grava de 3/4 "		Grava de 3/8 "		Arena trit. 3/16"		Arena Rio No 4				
%	22	%	13	%	57	%	8				
3/4 "	100.00	22.0	100.0	13.0	100.00	57.0	100.00	8.0	100.00	100	100.0
1/2 "	44.00	9.7	100.0	13.0	100.00	57.0	100.00	8.0	87.68	80-100	90.0
3/8 "	12.72	2.8	100.00	13.0	100.00	57.0	100.00	8.0	80.80	70-90	80.0
# 4	1.36	0.3	21.25	2.8	99.90	56.9	97.74	7.8	67.82	50-70	60.0
# 8			0.52	0.1	68.32	38.9	77.42	6.2	45.20	35-50	42.5
# 30					33.14	18.9	30.38	2.4	21.32	18-29	24.5
# 50					22.36	12.7	13.14	1.1	13.80	13-23	18.0
# 100					15.46	8.8	5.46	0.4	9.25	8-16	12.0
# 200					11.56	6.6	3.54	0.3	6.87	4-10	7.0
		22		13		57		8			



Realiza : Cristobal Campos M.

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
 Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 10 EQUIVALENTE DE ARENA



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA TRITURADA - 3/16" - M1
EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA ARENA 3/16 - M1

FRASCO No	Lectura en columna-arcilla	Lectura en columna-arena	Equivalente de Arena
1	4.7	3.1	65.96
2	4.8	3.3	68.75
3			

Equivalente Arena	67.35
--------------------------	--------------

ESPECIFICACION	>= 50 %
AASHTO T-176	Tráfico Pesado

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 11 EQUIVALENTE DE ARENA N°4



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA NATURAL - M1
EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA ARENA NATURAL -

M1

FRASCO No	Lectura en columna-arcilla	Lectura en columna-arena	Equivalente de Arena
1	4.4	3.4	77.27
2	4.5	3.3	73.33

Equivalente Arena	75.30
------------------------------	--------------

ESPECIFICACION	>= 50 %
N	
AASHTO T-176	Tráfico Pesado

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos.

Resultado 12 ENSAYO DE PARTICULAS ALARGADAS Y APLANADAS



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
OBRA : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : PASA 5/8" - RETIENE 1/2"
EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
 : 3 DE MARZO DE
FECHA : 2015

ENSAYO PARTICULAS ALARGADAS Y APLANADAS

Tamiz	Peso Inicial grs.	Peso final grs.	% pérdida	Especificación Norma ASTM C142
No 4	500.0	498.0	0.40	
3/8"	500.0	497.5	0.50	
1/2"	500.0	496.0	0.80	
		TOTAL	0.57	< 1,0 %

Forma	Peso Inicial grs.	Peso alargadas grs.	% partículas Relac. < 5	Especificación Norma ASTM D4791
Alargadas	1002.2	61.1	6.1	
Aplanadas	1002.2	33.7	3.4	
		% TOTAL	9.5	< 10,0 %

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
 Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 13 ENSAYO DE PELADURA



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
OBRA : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : MEZCLAS ASFALTICAS DE 2 TIPOS
EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO EN CONDICION POR PELADURA

Material retenido Tamiz 1/4"

	MEZCLA ASFALT. AC 20+ADITIVO	MEZCLA ASFALTICA +ADITIVO+POLIMERO
Peso Material	100.00	100.00
Peso Asfalto	5.50	5.50
Peso Material + Asfalto	105.50	105.50
Peso Material Despues	104.10	105.40
% Desprendido	98.67	99.91

MUESTRA	MEZCLA ASFALT. AC 20	MEZCLA ASFALT. AC 20+ADITIVO	MEZCLA ASFALTICA +ADITIVO+POLIMERO	Especificacion AASHTO T-182
COLOR	Gris oscuro	Gris tendencia negro	Negro mate	
BRILLO	Sin brillo	Brillo Normal	Brillo acentuado	
% DESPRENDIDO	4%	2%	0%	
RECUBIERTO CON BETUN ASFALTO	96%	98%	100%	
OBSERVACIONES	Granos Descoloridos	Apariencia Entera	Granos Recubiertos	

Fuente: Ensayos de Laboratorio.

Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 14 ENSAYO DE ABRASION



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
APLICACIÓN : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : ARENA NATURAL - M2
: PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR
EMPRESA EP
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE ABRASION - MAQUINA DE LOS ANGELES

GRAVA TRITURADA 3/4" -
1/2"

NORMA
AASHTO T- 96

METODO DE GRADUACION "B" : Pasa 3/4", Retiene
1/2"

Número de esferas de acero : 11		Peso	Unidad
	Peso muestra antes :	5000.0	gr.
	Peso muestra después, Retiene Tamiz No 12	4302.0	gr.
	Peso muestra pasa tamiz No 12 :	698.0	gr.
	PORCENTAJE DE DESGASTE :	13.96	%
Especificación < 35 %			

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 15 ENSAYO DE PENETRACION



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
OBRA : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : CEMENTO ASFALTICO AC 20 DE SUMINISTRO
EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE PENETRACION ASFALTICA CEMENTO ASFALTICO + ADHERENTE

PRUEBA	1	2	3
TIEMPO	5 seg.	5 seg.	5 seg.
TEMPERATURA	25 grad.	25 grad.	25 grad.
PESO CAIDA	100 gr.	100 gr.	100 gr.
PENET. AGUJA	75	69	72
PENET. PROMED.	72		
Especificación	Norma AASHTO T-49		

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

Resultado 16 ENSAYO DE PENETRACION AC20 + ADHERENTE+POLIMERO



LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA PARA CARPETA
OBRA : TRABAJO DE INVESTIGACION
MATERIAL : CEMENTO ASFALTICO AC 20 DE SUMINISTRO
EMPRESA : PLANTA ASFALTICA DE UZHUPUD ASFALTAR EP
FECHA : 3 DE MARZO DE 2015

ENSAYO DE PENETRACION ASFALTICA CEMENTO ASFALTICO + ADHERENTE+POLIMERO

PRUEBA	1	2	3
TIEMPO	5 seg.	5 seg.	5 seg.
TEMPERATURA	25 grad.	25 grad.	25 grad.
PESO CAIDA	100 gr.	100 gr.	100 gr.
PENET. AGUJA	69	65	66
PENET. PROMED.	67		
Especificación	Norma AASHTO T-49		

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado

por:

Cristóbal

Campos.

MEZCLA ASFALTICA CON ASFALTO AC 20 + ADITIVO																								
DISEÑO DE CARPETA ASFALTICA																								
Briq.	AGREGADOS : MEZCLA 1			DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA	
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq.	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
1	3/4	22.0	2.531	20.95				1244.2	1244.6	730.7	513.9	2.421							490	1.00	3681	9		
2	3/8	13.0	2.627	12.38				1232.3	1233.6	723.6	510.0	2.416							410	1.00	3082	9		
3	No 4	8.0	2.559	7.62				1165.8	1167.5	668.8	498.7	2.338							360	1.04	2816	8		
	3/16 Trit.	57.0	2.632	54.29																				
		100.0		95.24																				
	Asfalto	5.00	1.010	4.76																				
	TOTAL	105.00		100.00	2.603	2.756	2.15					2.392	2.546	87.52	6.06	6.42	12.48	2.71			3193	9	51.43	
Briq.	AGREGADOS : MEZCLA 2			DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA	
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq.	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
4	3/4	22.0	2.531	20.85				1275.2	1275.2	749.3	525.9	2.425							400	0.96	2887	10		
5	3/8	13.0	2.627	12.32				1177.2	1177.4	690.0	487.4	2.415							330	1.09	2706	10		
6	No 4	8.0	2.559	7.58				1171.2	1171.6	686.2	485.4	2.413							330	1.09	2706	11		
	# 4 Trit.	57.0	2.632	54.03																				
		100.0		94.79																				
	Asfalto	5.50	1.010	5.21																				
	TOTAL	105.50		100.00	2.603	2.748	2.06					2.418	2.522	88.05	4.14	7.81	11.95	3.26			2767	10	65.37	
Briq.	AGREGADOS : MEZCLA 3			DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA	
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq.	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
7	3/4	22.0	2.531	20.75				1339.9	1340.2	790.8	549.4	2.439							360	0.89	2410	11		
8	3/8	13.0	2.627	12.26				1303.2	1303.4	766.7	536.7	2.428							320	0.93	2239	12		
9	No 4	8.0	2.559	7.55				1238.0	1239.6	729.1	510.5	2.425							290	1.00	2183	13		
	# 4 Trit.	57.0	2.632	53.77																				
		100.0		94.34																				
	Asfalto	6.00	1.010	5.66																				
	TOTAL	106.00		100.00	2.603	2.736	1.90					2.431	2.495	88.11	2.58	9.31	11.89	3.87			2278	12	78.32	
Briq.	AGREGADOS : MEZCLA 4			DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA	
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq.	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
10	3/4	22.0	2.531	20.66				1251.4	1251.6	735.1	516.5	2.423							325	1.00	2445	13		
11	3/8	13.0	2.627	12.21				1226.8	1227	721.3	505.7	2.426							288	1.04	2255	14		
12	No 4	8.0	2.559	7.51				1131.9	1132.3	665.8	466.5	2.426							265	1.19	2375	14		
	# 4 Trit.	57.0	2.632	53.52																				
		100.0		93.90																				
	Asfalto	6.50	1.010	6.10																				
	TOTAL	106.50		100.00	2.603	2.717	1.64					2.425	2.463	87.49	1.54	10.97	12.51	4.57			2359	14	87.68	

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

**MEZCLA ASFALTICA CON ASFALTO AC 20 + ADITIVO + POLIMERO SBR
DISEÑO DE CARPETA ASFALTICA**

Briq	AGREGADOS : MEZCLA 1				DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
1	3/4	22.0	2.531	20.95				1209.5	1209.8	706.9	502.9	2.405								460	1.04	3595	9	
2	3/8	13.0	2.627	12.38				1168.6	1169.2	683.3	485.9	2.405								396	1.09	3245	12	
3	No 4	8.0	2.559	7.62				1149.5	1151.0	669.5	481.5	2.387								380	1.09	3115	11	
	# 4 Trit.	57.0	2.632	54.29																				
		100.0		95.24																				
	Asfalto	5.00	1.010	4.76																				
	TOTAL	105.00		100.00	2.603	2.75	2.09					2.399	2.542	87.79	5.62	6.59	12.21	2.77				3318	11	53.96

Briq	AGREGADOS : MEZCLA 2				DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
4	3/4	22.0	2.531	20.85				1234.8	1234.8	726.2	508.6	2.428								542	1.00	4071	13	
5	3/8	13.0	2.627	12.32				1241.2	1241.4	727.3	514.1	2.414								475	1.00	3569	12	
6	No 4	8.0	2.559	7.58				1153.2	1154.2	671.6	482.6	2.390								407	1.09	3335	12	
	# 4 Trit.	57.0	2.632	54.03																				
		100.0		94.79																				
	Asfalto	5.50	1.010	5.21																				
	TOTAL	105.50		100.00	2.603	2.76	2.27					2.411	2.535	87.79	4.91	7.30	12.21	3.06				3658	12	59.79

Briq	AGREGADOS : MEZCLA 3				DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
7	3/4	22.0	2.531	20.75				1212.7	1212.7	713.4	499.3	2.429								505	1.04	3945	12	
8	3/8	13.0	2.627	12.26				1265.3	1265.4	744.8	520.6	2.430								444	1.00	3337	12	
9	No 4	8.0	2.559	7.55				1246.2	1246.3	732.0	514.3	2.423								460	1.00	3457	14	
	# 4 Trit.	57.0	2.632	53.77																				
		100.0		94.34																				
	Asfalto	6.00	1.010	5.66																				
	TOTAL	106.00		100.00	2.603	2.72	1.71					2.427	2.484	87.99	2.28	9.73	12.01	4.05				3580	13	81.04

Briq	AGREGADOS : MEZCLA 4				DOSIF. EN	P.E. BULK	P.E.	% ABSORC.	PESO DE MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD		PORC. EN VOLUMEN			V.A.M.	% Asfalto	ESTABILIDAD			FLUJO	VFA
No	TAMIZ	% TOTAL	P.E. Bulk	% DE AGR.		EFFECTIVO	Asfalto AC	Aire seco	Aire SSS	Agua SSS	cc	BULK Briq	RICE Med.	Agregado	Vacios	Asfalto CA	Vac. Agreg.	Efectivo	Carga	Fact. Corr.	Libras			
10	3/4	22.0	2.531	20.66				1289.4	1289.4	758.9	530.5	2.431								380	0.96	2743	15	
11	3/8	13.0	2.627	12.21				1302.8	1302.9	763.6	539.3	2.416								370	0.93	2588	15	
12	No 4	8.0	2.559	7.51				1244.9	1245	730.2	514.8	2.418								350	1.00	2633	14	
	# 4 Trit.	57.0	2.632	53.52																				
		100.0		93.90																				
	Asfalto	6.50	1.010	6.10																				
	TOTAL	106.50		100.00	2.603	2.724	1.72					2.421	2.468	87.36	1.88	10.75	12.64	4.48				2655	15	85.09

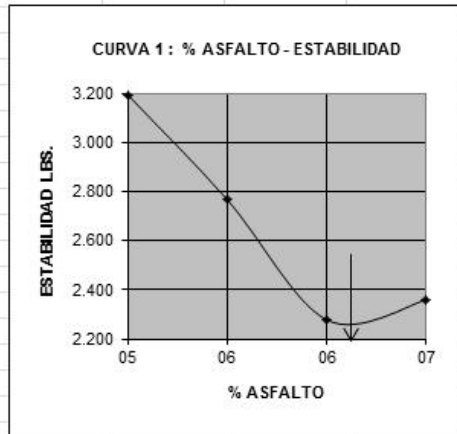
Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado

por:

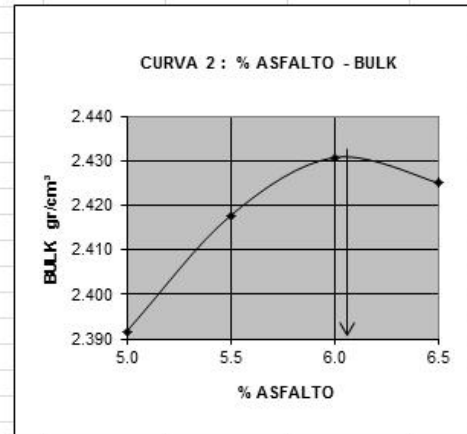
Cristóbal

Campos

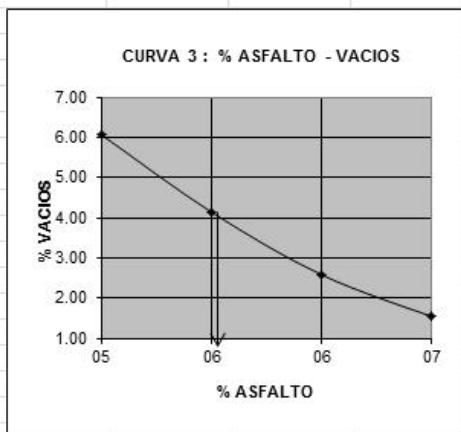
**GRAFICOS PARA CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO
MEZCLA DE ASFALTO CON ADITIVO ADHERENTE**



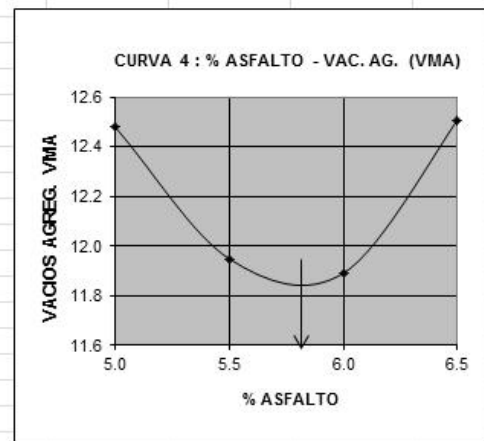
Asfalto = 6,20 %



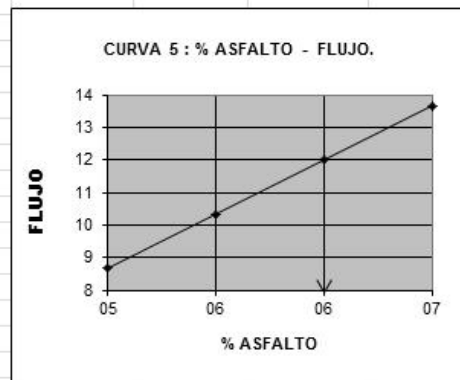
Asfalto = 6,10 %



Asfalto = 5,50 %



Asfalto = 5,80 %



Asfalto = 6,00 %

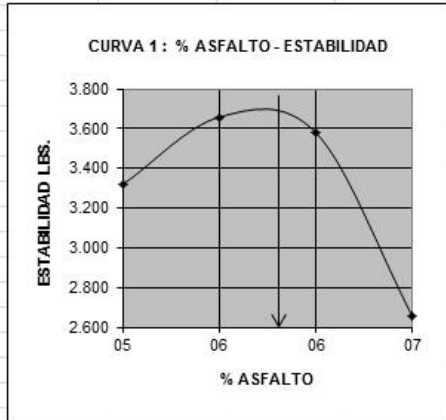
$$\% \text{ Op. asf.} = (C1+C2+C3+C4+C5) / 5$$

% OPTIMO ASFALTO = 5.92

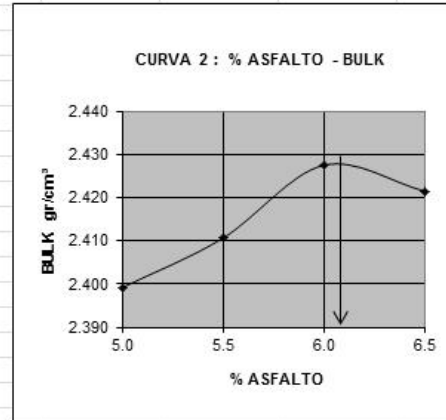
% OPTIMO ASUMIDO = 5.90

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

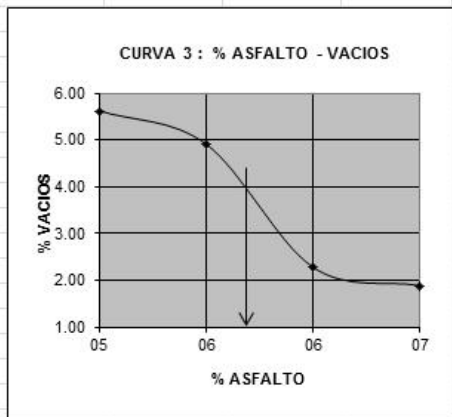
**GRAFICOS PARA CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO
MEZCLA DE ASFALTO CON ADITIVO + POLIMERO**



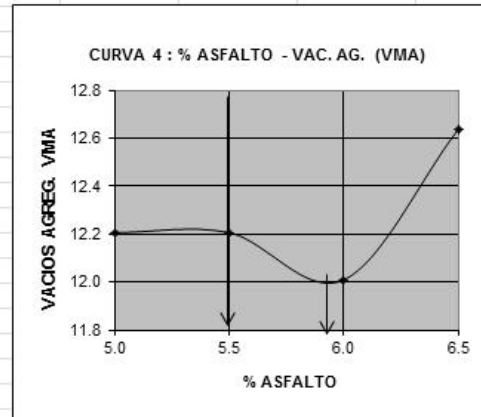
Asfalto = 5,80 %



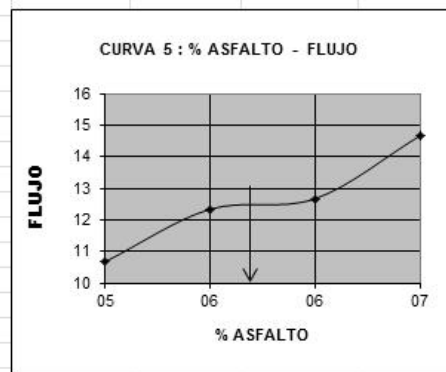
Asfalto = 6,10 %



Asfalto = 5,70 %



Asfalto = 5,90 %



Asfalto = 5,70 %

$$\% \text{ Op. asf.} = (C1+C2+C3+C4+C5) / 5$$

% OPTIMO ASFALTO = 5.84

% OPTIMO ASUMIDO = 5.80

Fuente: Ensayos de Laboratorio.
Elaborado por: Cristóbal Campos

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES

4.1.1 ÁRIDOS

Bajo las especificaciones impuestas la mezcla está constituida con áridos de pesos específicos altos con materiales de canteras conocidas en el Azuay, se concluye que la mina San Vicente y la mina de La Virginia, proporciona los materiales basálticos de los cuales se obtiene los agregados triturados (3/4", 3/8", 3/16"), y se obtendrán densidades altas; así mismo la arena proviene del cantón Santa Isabel provista por la mina San Martin, que también cuenta con un peso específico adecuado para trabajar con mezclas asfálticas. Se habla de pesos específicos Bulk buenos, cuando los agregados triturados están sobre los 2,620 Kg/cm³ y de la arena de rio sobre 2,580 Kg/cm³, en esta caso se cumple esta medida.

De la mezcla de agregados se obtiene un resultado de granulometría adecuada que cuadra perfectamente en el huso granulométrico especificado por el MTOP. La trituración muestra según el ensayo de partículas alargadas y aplanadas que está en el límite, pero dentro de la especificación, es decir, no representan inconveniente para las propiedades y desarrollo de la mezcla. Cuando se cumple con todos estos parámetros se garantiza estabilidad en la mezcla. El porcentaje de finos se encuentra también dentro del huso o faja, por lo tanto se garantiza fluencia y permeabilidad en cuanto al papel que desempeñan los agregados. Se determina que los áridos convienen, primero, porque entran en especificación y segundo por los demás parámetros de calificación del material como es el equivalente de arena que indica que es un material bastante limpio exento de arcillas, el desgaste por abrasión, indica, que a más de un buen peso específico que ya poseen los agregados, una buena resistencia y dureza de éstos. Así, en el Azuay aún se dispone de áridos de propiedades deseables que se ajustan a los requerimientos. Se concluye que los ensayos de áridos son adecuados

ASFALTAR E.P ha asfaltado calles y vías del cantón Cuenca, Paute y en general de la región Austral, con resultados en cuanto a áridos de manera favorable al aporte de los pavimentos que se ajusta a los requerimientos, por este motivo se concluye que la degradación de los pavimentos asfálticos se atribuye son una mala ejecución en el trabajo de campo ó que el aglomerante en este caso el asfalto, no está cumpliendo esta función por lo que se realiza el análisis del ligante asfáltico modificado y el resultado de mezclas asfálticas con este ligante modificado.

La plasticidad es otro factor que incide en el funcionamiento del pavimento flexible el cual según los ensayos realizados al agregado fino se determina que cumplen con la especificación.

4.1.2 LIGANTE

En este trabajo de investigación, los conocimientos sobre los ligantes constituyen una mínima parte de la teoría y su comportamiento a la penetración, ya que no se dispone de los equipos necesarios y de la competencia en la región Azuaya para hacer este análisis; la causa a esto es que la naturaleza química y estructural de este elemento es compleja. No obstante, el desarrollo de la industria para fabricar betunes y asfaltos ha permitido que se goce de carreteras y autopistas de alta velocidad. Sin embargo, los buenos resultados que se presentan del asfalto no son suficientes por el alto tráfico existente hoy en día, que al poco tiempo los pavimentos empiezan a fisurarse o agrietarse; por lo que se hizo el análisis con asfaltos modificados con polímeros y el resultado de mezclas con este A.M.P. El ensayo que da una representación de comportamiento a largo plazo es el de peladura, ya que el agente que se usa para su deterioro acelerado es el agua, como principal agente que deteriora el asfalto. Los resultados dieron grandes ventajas en el uso de AC20+aditivo+polimeto, así mismo el AC20+aditivo presenta también resistencia a la peladura y el asfalto convencional en menor proporción. Esto concluye que el aditivo adherente si esta cumpliendo su función de cohesionar de mejor manera las partículas y mejor aún si a este se le añade polímero ya que además de mejorar la cohesión que ya existe en el AC20+aditivo se está mejorando la mencionada reología, objeto de este trabajo.

Así, en base a investigaciones realizadas por países extranjeros se tiene referencias de que mejores propiedades reológicas aumentan los años de vida. Importantes conclusiones de las características reológicas son:

- Un ligante de alta penetración no garantiza una consistencia adecuada después de su puesta en obra.
- La resistencia al desplazamiento del ligante por agua aumenta al disminuir su penetración. Por lo que se recomienda ligantes de alta viscosidad.

4.1.3 MEZCLA

Tanto para el AC20+aditivo+polímero como para AC20+aditivo se usó la misma dosificación de agregados, ya que se usan las mismas granulometrías y pesos específicos, por lo tanto, el betún asfáltico nada tiene que ver en el ajuste de la mezcla dentro del huso o faja granulométrica. La mezcla está compuesta de áridos finos en un 65% y grueso en un 35%, estas son, para el caso de los finos, la arena natural la cual perjudica la estabilidad de la mezcla por ser canto rodado, es decir, que no es angulosa para que exista entrecruzamiento y por ende trabazón con ayuda del aglomerante, esta es usada ya que aporta propiedades de manejabilidad y compactibilidad, pero esta estabilidad se recupera debido al agregado triturado grueso (3/4", 3/8") y fino (3/16"), este último siendo el que contiene el polvo mineral filler encargado de aportar los vacíos necesarios a la mezcla (3-5%) para llegar a compactaciones del 95 a 97%.

Los resultados que se analizaron fueron las curvas de:

- Asfalto – Estabilidad
- Asfalto – Bulk
- Asfalto – Vacíos.
- Asfalto – VMA
- Asfalto – Flujo.

Las estabilidades altas con respecto al límite mínimo de 1800 que impone la especificación son normales, ya que el tamaño máximo del agregado es grande, en este caso es de $\frac{3}{4}$.

Los ensayos de penetración demuestran que en condiciones de bajas temperaturas el pavimento asfáltico modificado se muestra menos rígido que un no modificado.

La fluencia determinada en el ensayo Marshall constituye una mejora en la reología del pavimento, en el sentido de que éste a altas temperaturas sí se está comportando de manera más rígida, que es lo que se busca para evitar ahuellamientos en la vía, debido a que el AC20+Aditivo+polímero posee un porcentaje de asfalto, fluencia y estabilidad de 5,8; 12,5 y 3580, respectivamente; mientras que el AC20+aditivo de 5,9; 12 y 2278. Se concluye entonces, que con estos resultados, al relacionar las fluencias y estabilidades respectivas de cada mezcla se obtiene que en AC20+Aditivo+polímero soporta cargas más grandes con un mismo valor de fluencia obtenido, esto quiere decir que el pavimento se comporta como un elemento más rígido a altas temperaturas.

La estabilidad muy alta es perjudicial ante el efecto de cargas dinámicas a bajas temperaturas, pero como ya se ha demostrado, los A.M.P trabajan de manera más elástica a bajas temperaturas.

En conclusión, los factores que intervienen en la estabilidad de una mezcla asfáltica son:

- 1) Debido al rozamiento: la superficie rugosa de los áridos, presiones intergranulares por contacto, espesor de la película de ligante, angulosidad de los áridos.
- 2) Debido a la cohesión: Dentro de la reología del ligante se tiene su consistencia inicial medida por su penetración, los tiempos de carga, efectos de la temperatura y envejecimiento y su composición química. También interviene la granulometría, la densidad de los áridos y la adhesividad.
- 3) Debido a la inercia: la magnitud de la carga, el tiempo de la carga y la masa de mezcla afectada.

Las mezclas asfálticas se consideran un sistema que consta de la fase sólida definida por los áridos y la fase fluida definida por el ligante y el aire ocluido, que al juntarse; es posible medir su compacidad a partir de dos parámetros

- 1) El índice de huecos de la mezcla de áridos, que define la relación entre el volumen de la fase fluida y el de la fase sólida.
- 2) El índice de huecos rellenos de ligante, que representa la relación entre el volumen de dicho material y el de los áridos (VFA).

Otras conclusiones que se debe tomar en cuenta y también como parámetros de diseño son:

Indudablemente la durabilidad de las mezclas asfálticas. Ésta depende de los materiales que las componen.

La durabilidad de las mezclas no se puede referir exclusivamente a la calidad de los agregados componentes, ya que como se ha visto; se analiza también de manera fundamental características importantes como los resultados obtenidos del procedimiento Marshall, entre los más importantes el porcentaje de vacíos, la permeabilidad mediante el análisis de huecos llenados de asfalto y huecos del agregado mineral y mediante la densidad que se logre alcanzar debida a la compactación.

El momento de la mezcla nos damos cuenta que la adhesividad depende estrictamente de la viscosidad del ligante, así la adhesividad crece a mayor viscosidad del ligante y ya hemos visto que la adhesividad es muy importante en el aspecto de la permeabilidad que proporciona a la mezcla, con esto logramos palear la oxidación del asfalto por la inclusión de aire o agua.

El aditivo incluido en el ligante asfáltico según datos del proveedor es eficaz en bajas concentraciones y estable en altas temperaturas que es lo que se busca el momento de adicionar un aditivo estabilizante.

Los factores que afectan a la fatiga de las mezclas bituminosas

- Aumenta la rigidez cuando disminuye la penetración.
- Aumenta la rigidez cuando aumenta el contenido de ligante hasta cierto punto, luego se vuelve muy flexible, esto se observa con los diferentes contenidos de asfalto del diseño.
- Aumenta la rigidez cuando aumenta la angulosidad y rugosidad del árido debidos al ya nombrado entrecruzamiento.
- Aumenta la rigidez cuando disminuye la temperatura.
- Aumenta la rigidez cuando disminuye el índice de huecos.

Conclusiones que sirven para la evaluación en campo del pavimento:

Resistencia al deslizamiento se logra con la rugosidad y el tamaño máximo de áridos empleados, y también con un contenido de ligante asfáltico bajo (tomado desde el óptimo) para que exista mayor rozamiento en el contacto árido - neumático.

Por lo expuesto hasta el momento con diferentes porcentajes de ligante se logra los rendimientos óptimos de cada propiedad de la mezcla sin embargo se debe tomar una decisión ecléctica con todos los pros y los contras existentes.

Opiniones de expertos según todos los resultados dicen que siempre que las condiciones de obra sean las adecuadas y se ejecuten capas de espesor superior a 8cm, deben utilizarse ligantes duros; por el contrario en carreteras de poco tráfico ligantes blandos.

Así deducimos que los distintos y diferentes formas de analizar las mezclas desde los diferentes puntos de vista pueden llegar a diferentes conclusiones que al combinarlas se obtiene una mezcla óptima, los cuales desde un punto de vista técnico se pueden cambiar de acuerdo a lo que demande cada obra, es decir que los husos granulométricos y las dosificaciones de ligante son meros instrumentos de trabajo para una primera aproximación al problema, pero que no pueden evitar los estudios necesarios para obtener una adecuada fórmula de trabajo.

Cotejando los datos se ha obtenido que:

Asfalto AC20+aditivo.

La estabilidad decrece a medida que aumenta el asfalto; los flujos suben a medida que aumenta el asfalto, pero se encuentran dentro de las especificaciones. Los VAM se mantienen en el límite inferior y los VFA aumentan. Los pesos Rice como es normal bajan en proporciones óptimas, de la misma forma los pesos Bulk aumentan los cuales nos dan un peso específico efectivo normal para los pesos de los materiales.

Asfalto AC20+aditivo+polímero.

A medida que el asfalto aumenta se obtiene que la estabilidad aumenta hasta cierto contenido de asfalto y luego baja. Los flujos también suben, pero comparados con los flujos del AC20+aditivo y con los valores de estabilidades altos se obtiene que la fluencia está dentro de los valores y por lo tanto se demuestra que a temperaturas altas se comporta de manera más elástica. Los vacíos en el agregado mineral (VAM) igual se mantiene en el límite inferior pero es más alto con respecto a los valores del AC20+aditivo, los VFA al acercarse al porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla con polímero es más alto por lo tanto es más impermeable a los agentes degradantes, el peso RICE se mantiene por los mismos valores que en AC20+aditivo y el peso Bulk de

la misma forma se mantiene igual. Esto quiere decir que físicamente las mezclas están actuando igual con la diferencia en los flujos que nos da el resultado que necesitamos que es el de resistir más al ahuellamiento y la estabilidad alta que es más rígido a altas temperaturas.

La resistencia a la fatiga está ligada a la estabilidad de la mezcla y al comportamiento del firme o estructura sobre la cual va el pavimento. De investigaciones se deduce que:

- Las deformaciones en casos de hasta 10cm son independientes de los módulos de rigidez de las mezclas.
- La rigidez tiene una influencia pequeña cuando se experimenta a tensión constante sobre capas de espesor superior a 10cm
- Las mezclas de reducido módulo de rigidez se comportan mejor de hasta 8cm de espesor que en capas más gruesas.

4.2 Recomendaciones.

Las recomendaciones en cuanto a los áridos se da en torno a la disponibilidad de estos, ya que siempre existen situaciones adversas a los requerimientos de cada obra por lo que para un mejor desempeño de las obras se debe realizar estudios de acuerdo a cada zona de los materiales existentes y determinar especificaciones para cada zona y obra para un mejor aprovechamiento de estos y para efectivizar las obras que a veces se retardan por motivos de incumplimiento de resultados. Esto es factible siempre y cuando los pesos de los áridos sean buenos.

En cuanto a las mezclas asfálticas, para poder realizar un análisis más profundo sobre las diferencias o las mejoras que existen entre ciertos pavimentos con otros con polímeros que es el tema a tratar en esta tesis, se recomienda la adquisición de equipos de laboratorio que permitan obtener resultados más certeros de estos, es decir adecuar laboratorios con los ensayos de envejecimiento acelerado como son el de RTOF y otros o los ensayos de duración del asfalto a corto plazo **STOA (Short Term Oven Aging)** y largo plazo **PAV (Preassure Aging Vassel)**. Por ejemplo en capas de pequeño espesor, es ventajosa la utilización de mezcla de reducido módulo de rigidez, y sus condiciones respecto a la fatiga pueden estudiarse mediante ensayos a deformación constante.

En capas de mayor espesor, deben emplearse mezclas de elevado módulo de rigidez, y sus condiciones respecto a la fatiga pueden estudiarse mediante ensayo a tensión constante.

Debido a que como ya se ha analizado los polímeros son un gran aporte para la duración de los asfaltos y en cuanto a este punto, empezar también ya a adecuar las plantas asfálticas para la producción de asfaltos modificados con polímeros, con las respectivas capacitaciones de países extranjeros, ya que como se ha mencionado una inversión proporcionara grandes resultados que impulsaran la tecnología, desarrollo y economía del país.

Por esto la recomendación es dotar algún laboratorio o las empresas estatales de instrumentos de esta naturaleza para lograr cada vez más ajustarse a las necesidades de las vías.

Así mismo determinar si son factibles las mezclas con polímeros, lograr determinar en laboratorio cual es el polímero más adecuado para la calidad de asfalto que se produce en el país.

GLOSARIO DE TERMINOS

AASHTO:

American Association of State Highway Officials (Asociación Americana de Oficiales de Autopista Estatal y Transportación)

Adhesión:

Estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales.

Aditivo:

Es todo aquel producto que se adiciona a un material asfáltico o emulsión, con el objeto de proporcionarle alguna otra propiedad que no tiene originalmente, cambiando de esta forma, su comportamiento durante su aplicación.

Adhesividad:

Es la propiedad de un ligante y un agregado de adherirse uno a otro, sin peligro de perder esta propiedad en presencia de la humedad.

Agregado:

Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado grueso:

Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (# 4).

Agregado fino:

Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (# 4).

Ahuellamiento:

Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Puede ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.

Asfáltenos:

Son la fracción de hidrocarburo de alto peso molecular, en el asfalto, que es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción específica de solvente - asfalto.

Asfalto:

Material cementante, de color entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos.

Asfaltos para pavimentación:

Tipo de asfalto empleado para la fabricación de mezclas asfálticas usado básicamente en construcción y mantenimiento de firmes.

Asfaltos industriales:

Usados en otros campos distintos de la construcción y mantenimiento de carreteras.

Asfaltos fluidificados o “cut back”:

Se obtienen por disolución de los mismos en un aceite o fluidificante, teniendo por lo tanto una viscosidad reducida, se desarrollaron para facilitar el empleo de los asfaltos cuando las temperaturas o el tipo de tratamiento exigen viscosidades de aplicación menores que la que aun calentando fuertemente, puedan tener los asfaltos normalmente. Su viscosidad ha sido reducida por la adición de un fluidificador volátil. El fluidificante por lo general, no es más que un aditivo, que se elimina posteriormente por evaporación y que sirve para facilitar la puesta en obra, quedando al último el asfalto puramente. En el proceso de eliminación del fluidificante o llamado también proceso de curado, se pierde un producto de alto valor. Lo que supone una fuente de contaminación atmosférica, así como riesgos de inflamación por el carácter de los fluidificantes empleados, que en ocasiones requieren de un cierto calentamiento. Actualmente los asfaltos fluidificados tienen un escaso empleo y un consumo muy limitado.

Asfaltos modificados:

Es un asfalto al cual se le ha añadido de manera homogénea y estable, en un cierto porcentaje previamente analizado, algún tipo de aditivo, para mejorar sus propiedades reológicas. El asfalto es un material como se sabe es muy susceptible a los cambios de temperatura, sufre envejecimiento por intemperismo, es afectado por la oxidación y la foto degradación. Sus propiedades mecánicas son muy pobres: es quebradizo a bajas temperaturas y fluye un poco arriba de la temperatura del medioambiente, además de tener una baja recuperación elástica, lo que limita ampliamente su rango de utilidad.

Por estas razones el material asfáltico en ocasiones tiene que ser modificado mediante la adición de un agente químico para mejorar sustancialmente sus propiedades

reológicas, es decir, que mejoren su comportamiento para una amplia gama de condiciones de temperatura o de aplicación de las cargas.

ASTM:

American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

Betún:

Asfalto, chapopote, etc. es lo mismo. Se dice que es una mezcla de hidrocarburos que se presentan en estado natural y como residuo de la destilación del petróleo.

Briqueta:

Es un anglicismo con el cual se denomina al espécimen formado empleando un molde de acuerdo a la prueba que se vaya a realizar.

Cemento asfáltico:

Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

Cohesión:

Tipo de atracción entre dos sustancias o materiales.

Compactación:

Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.

Consistencia:

Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia de un cemento asfáltico varía con la temperatura: por lo tanto es necesario usar una temperatura patrón cuando se está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro. La temperatura utilizada para este propósito es 60°C (140°F).

Cracking:

Cutbacks:

De un mortero asfáltico o de una mezcla asfáltica con emulsión tienen para muchas personas el mismo sentido que fraguado. Se dice que es el estado físico de estas

mezclas en el momento que son capaces de soportar cargas sin deformarse. Estos términos se han tomado de la técnica de los concretos hidráulicos u hormigones.

Deformación:

Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.

Densidad:

Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.

Ductilidad:

Capacidad de una sustancia para ser estirada o estrechada en forma delgada.

Estabilidad:

Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.

Emulsión de Asfalto:

Una emulsión en la cual la fase dispersa es asfalto y la continua es agua o una solución acuosa.

Flexibilidad:

Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.

Huso granulométrico:

Zona comprendida entre dos curvas granulométricas.

Impermeabilidad:

Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

Ligante asfáltico:

Término genérico aplicado a cualquier material adhesivo conteniendo asfalto.

Mezcla en caliente:

Mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas.

Penetración:

Consistencia de un material bituminoso, se expresa como la distancia, en décimas de milímetro (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.

Poise:

Unidad, centímetro-gramo-segundo, de viscosidad absoluta.

Polímero:

Sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten.

Reología:

Resistencia a la fatiga:

Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

Resistencia al deslizamiento:

Propiedad de la superficie asfáltica de resistir el deslizamiento, particularmente cuando esta mojado.

Stoke:

Unidad de viscosidad cinemática igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida entre la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.

Tamiz:

Aparato de aberturas cuadradas, utilizado para separar tamaños de material.

Tolueno:

Trabajabilidad:

Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

Vacíos:

Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

Viscosidad:

Medida de la resistencia al flujo. Método usado para medir la consistencia del asfalto.

Viscosidad absoluta:

Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida. Este método hace uso de un vacío parcial para inducir el flujo en el viscosímetro.

Viscosidad cinemática:

Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de Medida

BIBLIOGRAFIA

- ¿Que es un termoplastico? (2011-2015). Recuperado el 10 de 06 de 2015, de losadhesivos.com: <http://www.losadhesivos.com/termoplastico.html>
- Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (02 de 02 de 2015). *Atsdr*. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de ToxFAQs™ - Tolueno (Toluene): http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts56.html#bookmark10
- Chova del Ecuador (Imptek). (26 de 08 de 2010). *Aplicaciones Viales - Chova del Ecuador*. Recuperado el 05 de 11 de 2014, de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=JaHCxO2ljBw>
- Geuffroy, G. (1977). *PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CARRETERAS* (Vol. II). Barcelona: Editores tecnicos asociadosn S.A.
- Importadora técnica industria y comercial S.A. (08 de 2008). *Magnabond 2700: Aditivo promotor de adherencia para asfalto "en caliente"*. Recuperado el 02 de 04 de 2015, de Chema: Aditivos y productos para la construccion: <http://www.iticsa.com/images/upload/productos/11-productos-varios/pdf/MAGNABOND2700.pdf>
- Instituto del Asfalto. (1962). *Manual del Asfalto*. España: URMO, S. A.
- Lopez, S., & Veloz, Y. (16 de 05 de 2013). *ESPE ANALISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS SBR Y SBS, CON AGREGADOS PROVENIENTES DE LA CANTERA DE GUAYABAMBA*. Recuperado el 5 de Enero de 2015, de Google: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F6533%2F1%2FT-ESPE-047105.pdf&ei=pMT0VLv1HcHDggSZ6oOwAQ&usq=AFQjCNG-Sesj4HT0zUfuHxB6lvL54FlwRg&si>
- Materiles Poliméricos y Compuestos*. (2013). Recuperado el 10 de 06 de 2015, de Universidad Politecnica de Valencia: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_6.html
- Ministerio de Obras Publicas. (2002). *Manual de Normativas Viales del MOP*. Cuenca: Monsalve Moreno Cia. Ltda.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay. (2011). *Normas para materiales y ensayo de materiales*. Recuperado el 13 de 12 de 2014, de Novedades blooj-carreteros: http://www.carreteros.org/blog/pdfs/paraguay/6_2.pdf
- Montero, J. (2006). *ASPECTOS PETROLÓGICOS DE LOS AGREGADOSPÉTREOS PARA PAVIMENTOS EN COLOMBIA*. Recuperado el 20 de 09 de 2013, de Scribd: <http://www.scribd.com/doc/113901496/9-Aspectos-Petrol-gicos-P-treos-Pavimentos>

- Padilla, A. (2004). *MATERIALES BASICOS*. Recuperado el 15 de junio de 2014, de UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>
- Rogers Martin, J., & Wallace, H. (1963). *PAVIMENTOS ASFALTICOS*. Madrid: Aguilar.
- Sampedro, A., Val, M., Gallego, J., Querol, N., & Pozo, J. (12 de 2012). *Huella de carbono del reciclado en planta asfaltica en caliente con altas tasas de RAP*. Recuperado el 20 de 01 de 2015, de Archivo Digital UPM: http://oa.upm.es/19018/1/INVE_MEM_2012_138874.pdf
- Tonda, M. (15 de 01 de 2010). *ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS*. Recuperado el 1 de Febrero de 2015, de Monografias: <http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>
- Universidad de Buenos Aires. (2012). *Trituracion Industrias I*. Recuperado el 30 de Agosto de 2014, de Facultad de Ingenieria Universidad de Buenos Aires: <http://materiales.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05 Apunte%20Trituracion.pdf>
- Valero, L. (1970). *FIRMES DE CARRETERAS Y AUTOPISTAS*. Barcelona: Editores Tecnicos Asociados.
- Vazquez, I. (01 de 06 de 2010). *UNIVERSIDAD VERACRUZANA VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE POLIMEROS EN LOS ASFALTOS*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2013, de Repositorio Institucional de la Universidad Veracruzana: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/384/1/IDALIT%20VAZQUEZ%20RUIZ.pdf>
- Wulf, F. (2008). *UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE ANALISIS DE PAVIMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMERO*. Recuperado el 27 de Enero de 2015, de Tesis Electronicas UACH: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/doc/bmfciw961a.pdf>