

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**INVESTIGACIÓN DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON
EL USO DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS Y SU
COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO CON LOS
ASFALTOS CONVENCIONALES**

LINEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES: Bach. PEREDA RODRIGUEZ, DANFER ALONSO

Bach. CUBAS PARIMANGO, NAHUM OCTAVIO

ASESOR : Ing. MAMERTO RODRIGUEZ, RAMOS

TRUJILLO - PERÚ

2015

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE

Ing. Huertas Polo, Jose Sebastian

SECRETARIA

Ing. Durand Orellana, Rocio del Pilar

VOCAL

Ing. Hurtado Zamora, Oswaldo

ASESOR

Ing. Rodriguez Ramos Mamerto

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: “Investigación de los Asfaltos Modificados con el uso de Caucho Reciclado de Llantas y su comparación Técnico-Económico con los Asfaltos Convecionales” con el propósito de obtener el Título Profesional e Ingeniero Civil.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado considerando las normas establecidas en el ASTM (American Society for Testing and Materiales), normas técnicas de acuerdo a la línea de investigación, la aplicación de conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la Universidad, consulta de fuentes bibliograficas especializadas y con la experiencia del asesor.

Bach. Pereda Rodriguez Danfer

Bach. Cubas Parimango Nahum

DEDICATORIA

En primer lugar quiero dedicar este trabajo de investigación a Dios todo poderoso, por iluminarme y poner a las personas indicadas en mi camino, para poder lograr esto y todo lo que me falta.

También quiero hacer una mención especial a mi madre que di todas sus fuerzas para ser un profesional, que siempre me esperaba en casa para atenderme y darme todo lo que tenía y aún más, no puede estar conmigo en estos momentos porque Dios se la llevó al descanso el 02 de Octubre de 2014, toda mi vida no alcanzaría para agradecerle y devolverle todo lo que me dio.

Finalmente quisiera dedicar este trabajo a mi hermano Gamaniel Rodriguez por su confianza en mí, ami padre Isac Pereda, mi tia Manuela Rodriguez por todos sus consejos y amonestaciones, ami tio Hermogenes Rodriguez por ser como un padre para mi, mi hermana Yeli Perda, mi hermano Ronny Rodriguez y su esposa Merlit, a mi hija Luz Oriana en quien pondré todas mis fuerzas y esperanzas para que sea una profesional.

Bach. Pereda Rodriguez, Danfer Alonso

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecer a mi amada compañera de vida, mi esposa, Melissa Aurora Diaz Lescano, mil gracias por acompañarme en este proceso, por sobre todo, tu amor, tu comprensión, paciencia y fortaleza que permitieron que pudiese, no sólo trabajar, sino también llegar a buen puerto.

Quiero expresar mi agradecimiento a mis hijos María Belén y Leonardo Octavio, porque ellos tuvieron que soportar largas horas sin la compañía de su padre, sin poder entender, a su corta edad, por qué prefería estar frente a la pantalla y no acostado y/o jugando con ellos. A pesar de ello, cada vez que podíamos, al reunirnos, aprovechamos hermosos momentos, en los que sus sonrisas me llenaban de ánimo y fuerzas.

Quiero agradecer a mis padres, quienes participaron, directa e indirectamente en mi formación. Sin ustedes esto no habría sido posible.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi abuelita a quien siempre preferí llamar mí Nonita, porque fue una mujer excepcional, que ayudó en mi crianza y en mis primeras letras, que aceptó y fomentó mis habilidades. Por ser la mujer que me enseñó a sonreír a carcajadas. Por escuchar mis opiniones en diversos temas. Por enseñarme el compromiso absoluto con lo que uno hace.

Dejo para el final, por ser el más importante de los agradecimientos, a mi Dios Jesucristo, mi padre celestial, por estar a mi lado en cada etapa de mi vida porque me dio las fuerzas para seguir adelante, por ser mi testigo, mi escudo y trazar el camino por los que mis pies avanzan y en el que mi mente y corazón viven.

Bach. Cubas Parimango, Nahum Octavio

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a nuestros padres y familiares que nos dieron su confianza y apoyo en todo momento.

Nuestro más profundo agradecimiento a nuestros fieles amigos, Ingeniero. Jean Paul Enríquez Ulloa y el Ing. Mamerto Rodríguez Ramos, por ser los mejores ingenieros de esta escuela, por su esfuerzo en hacer relucir lo mejor de nosotros mismos, por su crítica certera, por las conversaciones, porque a veces simplemente escuchó, por su preocupación que iba desde lo académico a lo cotidiano, por ende de lo intangible a lo concreto.

A Nuestra Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, por el apoyo brindado en la etapa de nuestra titulación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que a lo largo de la formación académica nos inculcaron la dedicación al estudio y la constancia personal.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 16 |
| 1.1 Planteamiento del Problema | 16 |
| 1.1.1 Delimitación | 17 |
| 1.1.2 Aporte del Trabajo | 18 |
| 1.2 Formulación del Problema | 18 |
| 1.3 Alcance | 18 |
| 1.4 Hipótesis | 19 |
| 1.4.1 General | 19 |
| 1.4.2 Variable | 19 |
| 1.4.3 Operacionalización de las variables | 19 |
| 1.5 Objetivos | 19 |
| 1.5.1 General | 19 |
| 1.5.2 Específicos | 20 |
| 1.6 Justificación de la Investigación | 20 |
| 1.6.1 Justificación académica | 20 |
| 1.6.2 Justificación Técnica | 20 |
| 1.6.3 Justificación social | 20 |
| 1.7 Antecedentes de la Investigación | 21 |
| 1.7.1 Nacional | 21 |
| 1.7.2 Internacional | 21 |
| | |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 Asfalto | 22 |
| 2.1.1 Antecedentes | 22 |
| 2.1.2 Definición | 24 |
| 2.1.3 Producción del Asfalto | 26 |
| 2.1.4 Composición Química | 28 |
| 2.1.5 Propiedades físicas del Asfalto | 29 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.1.5.1 | Durabilidad | 29 |
| 2.1.5.1 | Adhesión y cohesión | 29 |
| 2.1.5.3 | Susceptibilidad a la Temperatura | 29 |
| 2.1.5.4 | Endurecimiento y Envejecimiento | 31 |
| 2.1.5.5 | Pureza | 32 |
| 2.1.6 | Clasificación de los Asfaltos de Pavimentación | 32 |
| 2.1.6.1 | Cementos Asfálticos | 32 |
| 2.1.6.1.1 | Caracterización por Penetración | 32 |
| 2.1.6.1.2 | Caracterización por Viscosidad | 33 |
| 2.1.6.1.3 | Caracterización por Comportamiento | 34 |
| 2.1.6.2 | Asfaltos Rebajados | 34 |
| 2.1.6.2.1 | Asfalto de Curado Rápido (RC) | 34 |
| 2.1.6.2.2 | Asfalto de Curado Medio (MC) | 35 |
| 2.1.6.2.3 | Asfalto de Curado Lento (SC) | 35 |
| 2.1.6.3 | Asfaltos Emulsificados | 35 |
| 2.1.6.4 | Emulsión Aniónica | 35 |
| 2.1.6.5 | Emulsión Catiónica | 35 |
| 2.2 | Asfaltos Modificados | 35 |
| 2.2.1 | Antecedentes | 35 |
| 2.2.2 | Definición | 37 |
| 2.2.3 | Razones para usar Modificadores de Asfaltos | 38 |
| 2.2.3.1 | Deformación de la Carpeta Asfáltica | 38 |
| 2.2.3.2 | Fallas en Pavimentos Flexibles | 40 |
| 2.2.3.2.1 | Roderas | 44 |
| 2.2.3.2.2 | Superficie de Rodamiento Lisa | 44 |
| 2.2.3.2.3 | Pequeñas Deformaciones Transversales Rítmicas | 45 |
| 2.2.3.2.4 | Desintegración de la Carpeta | 45 |
| 2.2.3.2.5 | Grietas Longitudinales a la Orilla de la Carpeta | 45 |
| 2.2.3.2.6 | Presentación de Calaveras | 46 |
| 2.2.3.2.7 | Baches | 47 |
| 2.2.3.2.8 | Agrietamientos es Forma de Piel de Cocodrilo | 48 |

| | | |
|-------------|--|----|
| 2.2.3.2.9 | Corrimiento de la Carpeta Asfáltica | 48 |
| 2.2.3.2.10 | Descarnado de las Carpetas | 49 |
| 2.2.3.2.11 | Deformaciones de las Superficies de 5 cm | 49 |
| 2.2.3.2.12 | Deformaciones fuertes en la Superficie | 49 |
| 2.2.4 | Ventajas del Uso de Asfaltos Modificados | 50 |
| 2.2.4.1 | Mecánicas | 50 |
| 2.2.4.2 | Térmicas | 51 |
| 2.2.4.3 | Económicas | 51 |
| 2.2.5 | Procesos de Modificación del Asfalto | 51 |
| 2.2.5.1 | Proceso por Vía Seca | 51 |
| 2.2.5.1.1 | PlusRide | 52 |
| 2.2.5.1.2 | Genérica | 52 |
| 2.2.5.1.3 | Convencional | 53 |
| 2.2.5.2 | Proceso por Vía Húmeda | 53 |
| 2.2.5.2.1 | Tecnología por Bachadas | 54 |
| 2.2.5.2.2 | Tecnología Continua | 55 |
| 2.2.5.2.3 | Tecnología Terminal | 55 |
| 2.2.6 | Agentes Modificadores de Asfalto | 56 |
| 2.2.6.1 | Polímeros | 56 |
| 2.2.6.1.1 | Los Elastómeros | 57 |
| 2.2.6.1.2 | Los Plastómeros | 57 |
| 2.2.6.2 | Hule Molido de Llantas | 60 |
| 2.2.6.2.1 | LLanatas de Desecho | 60 |
| 2.2.6.2.2 | Composición Química de las Llantas | 63 |
| 2.2.6.2.3 | Procesos para obtención de Hule Molido de Llantas | 65 |
| 2.2.6.2.3.1 | Sistema Mecánico (Ambiental) | 65 |
| 2.2.6.2.3.2 | Sistema Criogénico | 66 |
| 2.2.7 | Aplicación de la Mezcla | 67 |
| 2.2.7.1 | Equipo utilizado en la Aplicación de la Mezcla | 67 |
| 2.2.7.2 | Mano de Obra necesaria | 68 |
| 2.2.7.3 | Aplicación de la Mezcla | 68 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y NORMAS | 71 |
| 3.1 Materiales | 71 |
| 3.1.1 Caucho de Llanta Triturada | 71 |
| 3.2 Normas | 73 |
| 3.2.1 Penetración ASTM D-5 | 73 |
| 3.2.2 Punto de Ablandamiento ASTM D 36, AASHTO T-53 | 74 |
| 3.2.3 Recuperación Elástica por Torsión NLT 329 | 75 |
| 3.2.4 Recuperación Elástica por Ductilómetro ASTM D-6084 | 76 |
| CAPÍTULO IV: METODOS | 77 |
| 4.1 Modificación del Asfalto | 77 |
| 4.1.1 Mezcla Asfalto – Caucho – Azufre | 77 |
| CAPÍTULO V: ENSAYOS DE LABORATORIO Y RESULTADOS | 80 |
| 5.1 Penetración | 80 |
| 5.1.1 Definición | 80 |
| 5.1.2 Equipo | 80 |
| 5.1.2.1 Aparato de Penetración o Penetrómetro para Asfaltos | 80 |
| 5.1.2.2 Agujas | 81 |
| 5.1.2.3 Cápsulas de Penetración | 82 |
| 5.1.2.4 Baño de Agua | 82 |
| 5.1.2.5 Termómetro | 82 |
| 5.1.2.6 Cronómetro | 82 |
| 5.1.2.7 Recipiente de manejo | 82 |
| 5.1.2.8 Espátula de Níquel | 83 |
| 5.1.3 Procedimiento de la Prueba | 83 |
| 5.1.4 Cálculos y Resultados | 84 |
| 5.2 Punto de Ablandamiento por Anillo y Esfera (ASTM D 36) | 85 |
| 5.2.1 Definición | 85 |
| 5.2.2 Equipo | 85 |
| 5.2.2.1 Anillos | 85 |

| | |
|--|----|
| 5.2.2.2 Vasos de Vidrio Refractario | 86 |
| 5.2.2.3 Sistema de Soporte | 86 |
| 5.2.2.4 Esféras | 88 |
| 5.2.2.5 Guías | 88 |
| 5.2.2.6 Placa de Apoyo | 89 |
| 5.2.2.7 Parrilla Eléctrica o Mechero | 89 |
| 5.2.2.8 Termómetro | 89 |
| 5.2.2.9 Pinzas | 89 |
| 5.2.2.10 Espátula o Cuchillo | 89 |
| 5.2.2.11 Agua limpia o Glicerina | 89 |
| 5.2.2.12 Antiadherente | 89 |
| 5.2.3 Procedimiento | 90 |
| 5.2.4 Resultados | 91 |
| 5.3 Recuperación Elástica por Torsión (CEDES NLT – 329 – 91) | 91 |
| 5.3.1 Definición | 91 |
| 5.3.2 Equipos | 91 |
| 5.3.2.1 Aparato de Torsión | 91 |
| 5.3.2.2 Termómetro | 92 |
| 5.3.2.3 Cronómetro para medir tiempos de 30min ± 1seg | 92 |
| 5.3.3 Procedimiento | 92 |
| 5.3.4 Resultados | 94 |
| 5.4 Recuperación Elástica por Ductilómetro ASTM D-6084 | 94 |
| 5.4.1 Equipo | 94 |
| 5.4.1.1 Molde | 94 |
| 5.4.1.2 Baño de Agua | 95 |
| 5.4.1.3 Máquina de Prueba | 95 |
| 5.4.1.4 Termómetro | 95 |
| 5.4.1.5 Tijeras | 96 |
| 5.4.1.6 Horno | 96 |
| 5.4.2 Procedimiento | 96 |
| 5.4.3 Reporte | 98 |
| 5.5 Comparación Técnica y Económica | 99 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN | 101 |
| CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES | 102 |
| CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES | 103 |
| CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA | 104 |
| ANEXO | 105 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| I - 1. Estadística de Llantas en el Perú | 17 |
| II - 2. Historia de los Asfaltos | 23 |
| II – 3. Composición Química de los Asfaltos | 28 |
| II – 4. Componentes de la Llanta | 64 |
| II - 5. Composición Química de la Llanta | 65 |
| III - 6. Ficha Técnica del Grano de Caucho de Llanta | 71 |
| IV – 7. Especificaciones del Asfalto Modificado con Polvo de Llantas ASTM D-6114-97 | 79 |
| V - 8. Cuadro Comparativo de los Resultados ensayados en el Laboratorio | 99 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura N° 01 | El Asfalto | 25 |
| Figura N° 02 | Proceso de Producción del Asfalto | 27 |
| Figura N° 03 | Comportamiento del Asfalto (Consistencia VS Temperatura) | 30 |
| Figura N° 04 | Comportamiento del Asfalto Convencional y Modificado | 37 |
| Figura N° 05 | Deformación de la Carpeta Asfáltica | 39 |
| Figura N° 06 | Deformación Permanente y daño en la Base | 40 |
| Figura N° 07 | Esquema del Deterioro de las Obras Viales | 42 |
| Figura N° 08 | Esquema que muestra el efecto de las Rehabilitaciones | 43 |
| Figura N° 09 | Rodera. | 44 |
| Figura N° 10 | Desintegración de la Carpeta Asfáltica | 46 |
| Figura N° 11 | Representación de Calaveras en la Carpeta Asfáltica | 47 |
| Figura N° 12 | Baches | 48 |
| Figura N° 13 | Mapeo o Piel de Cocodrilo | 50 |
| Figura N° 14 | Aplicación de Mezcla Asfáltica Modificada | 69 |
| Figura N° 15 | Compactación de la Mezcla Asfáltica Modificada | 70 |
| Figura N° 16 | Curva Granulométrica del Caucho Vulcanizada Granulada | 72 |
| Figura N° 17 | Caucho Granulado por Malla 30 | 72 |
| Figura N° 18 | Equipo para Ensayo de Penetración | 73 |
| Figura N° 19 | Equipo para Ensayo de Punto de Ablandamiento por Anillo y Bola | 74 |
| Figura N° 20 | Equipo para Ensayo de Recuperación Elástica por Torsión | 75 |
| Figura N° 21 | Equipo para Ensayo de Recuperación Elástica por Ductilómetro | 76 |

| | |
|--|----|
| Figura N° 22 Mezclado de Asfalto-Caucho-Azúfre | 78 |
| Figura N° 23 Espécimen para Prueba de Penetración Asfalto-Caucho-Asúfre | 78 |
| Figura N° 24 Espécimen para Prueba de Punto de Ablandamiento | 79 |
| Figura N° 25 Penetrómetro | 81 |
| Figura N° 26 Aguja para Prueba de Penetración | 81 |
| Figura N° 27 Anillo para Prueba de Punto de Ablandamiento | 86 |
| Figura N° 28 Porta anillos para Prueba de Punto de Ablandamiento | 87 |
| Figura N° 29 Montaje del Sistema de Soporte | 87 |
| Figura N° 30 Guía para centrar Esfera | 88 |
| Figura N° 31 Equipo de Torsión | 92 |
| Figura N° 32 Ductilómetro | 96 |

RESUMEN

Las necesidades y exigencias de las ciudades, han permitido que las técnicas actuales en el campo de la construcción de caminos cumplan con las exigencias de los usuarios y clientes, hoy en día los productos asfálticos han tenido un gran desarrollo y se cuenta con nuevas productos para modificarlas, obtenidos de la realización de pruebas en los diferentes materiales que conforman un asfalto.

Las características de estos modificadores permiten el empleo de casi todos los tipos. El motivo del presente trabajo, fue realizado con el fin de investigar los Asfaltos Modificados con el uso de Caucho Reciclado de Llantas y su comparación Técnico-Económico con los Asfaltos Convencionales, evaluandolos con ensayos de laboratorio, para determinar su utilización en la pavimentación de carreteras.

Se evalúan las ventajas y desventajas, costo/beneficio, que representa el uso de esta mezcla; las propiedades físico-mecánicas de éste y cómo contribuyen a la reducción de la deformación por fatiga del asfalto. En diferentes países vecinos esta técnica se está usando desde años atrás, con resultados exitosos que benefician a los usuarios y ayudan a la sostenibilidad del medio ambiente por usar llantas en desuso que son tiradas a los botaderos.

En nuestro país por falta de información no se usa este tipo de asfalto modificado, es por eso que este proyecto ayudará a la difusión de este tema.

ABSTRACT

The needs and demands of cities, have allowed the current techniques in the field of road construction meet the requirements of users and customers, today's asphalt products have had great development and has new products to modify them, obtained from the testing of the different materials that make up an asphalt.

The characteristics of these switches allow the use of almost all types. The subject of this work was performed in order to investigate the modified asphalt using recycled rubber from tires and comparison technical and economic with convecionales Asfaltos, evaluating them with laboratory tests for detreminar use in supavimentación road .

The advantages and disadvantages, cost / benefit, which represents the use of this mixture are evaluated; the physical-mechanical thereof and how they contribute to reducing fatigue deformation of asphalt. properties In various neighboring countries this technique is being used from atraz years, with successful resusltados that benefit users and contribute to sustainability of the environment by using waste tires are thrown at the dumps.

In our country due to lack of information is not this kind of modified asphalt is used, that is why this project will help the spread of this issue.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Las carreteras son muy importantes para la infraestructura de un país ya que ayudan al desarrollo económico social y cultural, la red nacional en nuestro país tiene una longitud de 78,200 km de los cuales 68,720 km (87%) son caminos no pavimentados.

Actualmente en nuestro país el desarrollo de vías asfaltadas implica la utilización de aditivos para mejorar su comportamiento y durabilidad.

Con respecto a este punto surgen los asfaltos modificados con polímeros como SBR (Estireno butadieno hule) y SBS (Estireno butadieno estireno) siendo este el más usado y el que se usó en el puente Camiara en la carretera Moyobamba-Tacna ejecutado por la empresa Carlos Amoros Heck Contratistas Generales en el año 2,007 llegando a ser esta la primera obra donde se aplicó este tipo de asfalto modificado.

Gracias a investigaciones realizadas en varios países del mundo entre ellos Brasil (América Latina) y Estados Unidos (América del Norte), la incorporación de residuos de caucho (llanta) al asfalto ha sido reglamentado por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials), aprobándose como un modificador del asfalto.

La implementación del caucho reciclado de llantas ha sido estudiada y aplicada en varios países del mundo como Estados Unidos, Inglaterra, Brasil México, Venezuela, Colombia entre otros, con mucho éxito, en España se viene trabajando con este tipo de asfalto modificado desde el año 1,989.

En el Perú no existen investigaciones que permitan tener una logística en cuanto al reciclado de llantas en desuso, por ello no se conoce cuál es el destino final de estas.

En el Departamento de La Libertad según el Parqueo Automotriz se tiene:

Tabla Nº 01 Esadística de Llantas en el Perú

| AÑO | NÚMERO DE VEHÍCULOS |
|------------|----------------------------|
| 2,005 | 153,000 |
| 2,010 | 158,000 |
| 2,015 | 190,000 |

Fuente: Parqueo Automotriz

Para el año 2,020 con un crecimiento del 6% por año se proyecta tener 200,000 vehículos aproximadamente, sabiendo que el tiempo de vida promedio de una llanta es de 5 años, entonces tendríamos este año 2,015 cerca de 635,000 llantas en desuso y para el año 2,020 habrá cerca de 760,000 llantas en desuso, de los cuales el 30% son reutilizados y reencauchados, quedando un 70% para ser trasladado a los botaderos Municipales.

La escasa información y difusión de este tipo de asfalto modificado con residuo de llanta hace que nuestro país no esté a la vanguardia en cuanto a nuevas tecnologías en pavimentos a comparación de los países vecinos como es el caso de Colombia, Chile, Brasil; ante esta problemática surge la necesidad de evaluar y analizar el comportamiento físico-mecánico de este tipo de asfalto comparándolo con el asfalto convencional.

1.1.1 Delimitación

La presente tesis pretende realizar investigaciones que permitan realizar análisis comparativos entre un asfalto convencional y una mezcla de asfalto con polvo de llanta, basándose en la Norma Americana ASTM D-6114-97, además pretende dar mayor alcance de los beneficios, al

mejorar la calidad del asfalto y reducir la contaminación ambiental logrando así un desarrollo sostenible.

1.1.2 Aporte del Trabajo

Esta mezcla de polvo de llantas y asfalto permite mejorar las características mecánicas de estos, es decir, su resistencia a las deformaciones, mostrando mayor resistencia ante los esfuerzos de tensión repetida, producida por factores climatológicas y de tránsito, logrando reducir el agrietamiento y alargar el tiempo de servicio, aspecto que será motivo de investigación en nuestro medio y determinar su conveniencia en la construcción de pavimentos.

1.2 Formulación del problema:

En la Región de La Libertad, se presenta una sustantiva cantidad de llantas o neumáticos en desuso, cuyo destino final son los botaderos de basura, lugar donde su descomposición pueden durar muchos años y cuyas sustancias componentes generan contaminación ambiental. La investigación que deseamos realizar, potencializa las posibilidades de usar dichos materiales en la construcción de pavimentos, con ventajas económicas y de sostenibilidad de Medio Ambiente

1.3 Alcance:

El alcance del proyecto es a nivel Nacional, favoreciendo a todo aquel que quiera tomar este proyecto como punto de partida para encontrar mejoras en los asfaltos.

1.4 Hipótesis

1.4.1 General:

La influencia significativa de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas a comparación de los asfaltos convencionales.

1.4.2 Variable

VI: Asfaltos Convencionales.

VD: Asfaltos Modificados.

1.4.3 Operacionalización de las variables:

| VARIABLE | INDICADOR | MEDICIÓN |
|----------|--------------------------|----------|
| (VI) | Asfaltos Convencionales. | mm |
| (VD) | Asfaltos Modificados | mm |

1.5 Objetivos

1.5.1 General:

Demostrar mediante ensayos de laboratorio que un asfalto modificado con el uso de caucho reciclado de llantas tiene un mejor comportamiento físico-mecánico y posee ventajas económicas frente a los asfaltos convencionales.

1.5.2 Específicos:

- Difundir el uso de caucho reciclado de llantas en los asfaltos modificados.
- Identificar ventajas y desventajas que tiene el asfalto modificado con caucho reciclado de llantas con respecto al asfalto convencional.
- Presentar información sobre este tipo de asfaltos modificados.
- Utilizar las normas correspondientes para la construcción de pavimentos modificados.

1.6 Justificación de la Investigación:

1.6.1 Justificación Académica:

El proyecto de tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar nuevos procedimientos y metodologías para realizar el diseño de una estructura de pavimento.

1.6.2 Justificación Técnica:

El presente proyecto está basado en la norma Americana ASTM D-6114-97 que da a conocer las especificaciones para asfaltos modificados con polvo de llanta.

1.6.3 Justificación social:

El proyecto se justifica socialmente porque proporcionará una alternativa de solución adecuada para afrontar el problema del tiempo de vida y el mantenimiento de los pavimentos.

1.7 Antecedentes de la Investigación

1.7.1 Nacional:

Marín Hernández, Alberto. (2008) con la tesis titulada: “Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima – Perú, concluye lo siguiente:

“Aquí, se dieron a conocer los materiales que se pueden usar, para modificar los asfaltos convencionales. Como se hizo notar, estos materiales nombrados, logran un cambio significativo en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas. El uso de cualquiera de estos depende en gran medida del juicio del proyectista, el cual debe basarse en un criterio objetivo, desde la perspectiva técnica.”

1.7.2 Internacional:

Rodríguez Valdivia, Fernando Andrés. (2010) con la tesis titulada: “Análisis de pavimento asfáltico modificado”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Austral de Chile, en la ciudad de Valdivia – Chile, concluye lo siguiente:

“Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia queda demostrado que las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados posee un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar los asfalto es mejorar sus propiedades.”

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Asfalto

2.1.1 Antecedentes

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio ***asphatu o asphallo***, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos cuyo significado es estable, seguro y el verbo estabilizar o asegurar. De donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt) .

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre.

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

| AÑO | USO |
|------------------|---|
| 6000 a. C. | En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó cómo mortero. |
| 3200- 2600 a. C. | Utilizado por los egipcios para impermeabilizar. |
| 2600- 540 a. C. | Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua. |
| 300 a. C. | Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamamientos. |
| 1802 d. C. | En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras. |
| 1838 d. C. | En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras. |
| 1870 d. C. | Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga. |
| 1876 d. C. | Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado. |
| 1902 d. C. | En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año. |

2.1.2 Definición

El asfalto es considerado como un material termoplástico, está constituido en su estructura química, por complejas cadenas de hidrocarburos, en las cuales se pueden diferenciar dos fracciones: una fracción pesada denominada asfaltenos y una ligera denominada máltenos. Esta fracción malténica a su vez se puede subdividir en tres fracciones principales: parafinas, resinas y aceites aromáticos.

El asfalto se puede encontrar de dos formas, en estado natural o producto de la destilación del petróleo (actualmente el más utilizado en la Industria).

Los asfaltos naturales también son producidos a partir del petróleo, debido a un proceso de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las fracciones asfálticas, se pueden encontrar en escurrimientos superficiales o en fosas terrestres, originando lagos de asfalto como los de las Islas Trinidad y Bermudas, aunque también se pueden encontrar en algunas rocas, denominadas rocas asfálticas como la gilsonita.

Los asfaltos derivados del petróleo son los más utilizados en el mundo, debido a su pureza y economía en relación con los asfaltos naturales.

Se obtienen por medio del proceso de destilación del crudo, donde se separan las fracciones livianas (nafta y kerosén) de la base asfáltica mediante vaporización, fraccionamiento y condensación de la mismas.

La mayoría de los petróleos del mundo tienen algún contenido de asfalto, por lo tanto resulta aplicable su extracción del petróleo, además posee una gran ventaja adicional ya que se refina hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

Los componentes del asfalto interactúan entre sí formando un fluido de comportamiento viscoelástico, este comportamiento depende principalmente de su composición química y esta a su vez depende de la fuente y el proceso de refinación.

El asfalto no es considerado un material isotrópico ya que en realidad consta de dos fases, suspendidas entre sí, es decir la fase asfáltica suspendida en la fase malténica (fase aceitosa).

Este material es muy susceptible a los cambios de temperatura, comportándose como un material frágil y quebradizo a bajas temperaturas y como un material fluido viscoso a altas temperaturas.



Figura N° 01 El Asfalto

2.1.3 Producción del Asfalto

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- Destilación por vacío
- Extracción con solventes

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío.

Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA ASFALTOS DE PETROLEO

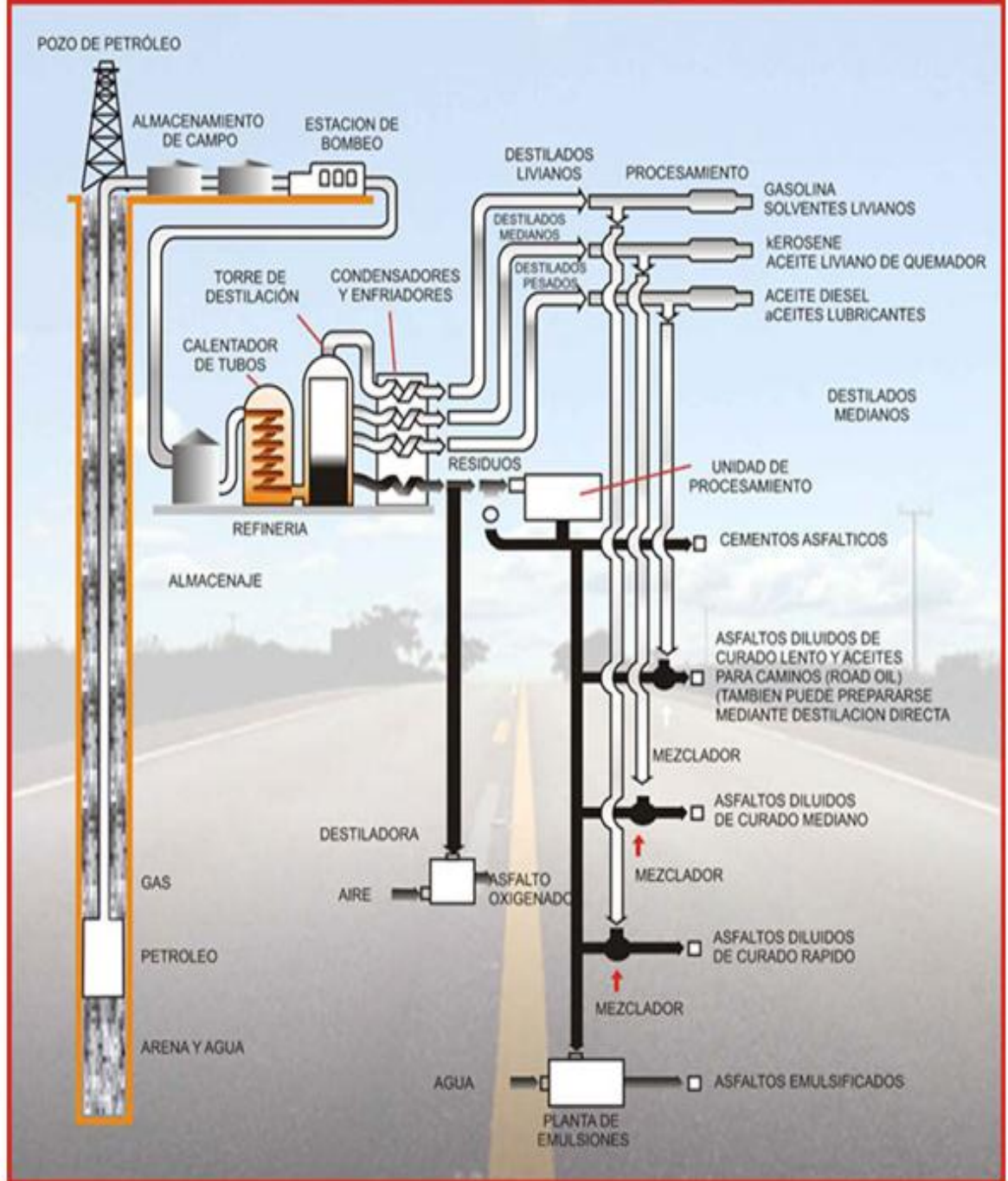


Figura Nº 02 Proceso de Producción de Asfalto

2.1.4 Composición Química

Está constituido por tres grupos básicos: asfaltenos, resinas y aceites (aromáticos y saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas, en las cuales el núcleo o agregado es el asfalteno.

En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80- 85% de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. Los asfaltenos son producto de la condensación de las resinas.

Tabla N° 03 Composición Química del Asfalto

| Elemento | Concentración (%) |
|-----------------|--------------------------|
| Carbono | 82- 88% |
| Hidrógeno | 8- 11% |
| Azufre | 0- 6% |
| Oxígeno | 0-1.5% |
| Nitrógeno | 0- 1% |

2.1.5 Propiedades físicas del asfalto

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

2.1.5.1 Durabilidad.

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

2.1.5.1 Adhesión y cohesión:

La adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

2.1.5.3 Susceptibilidad a la temperatura:

El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

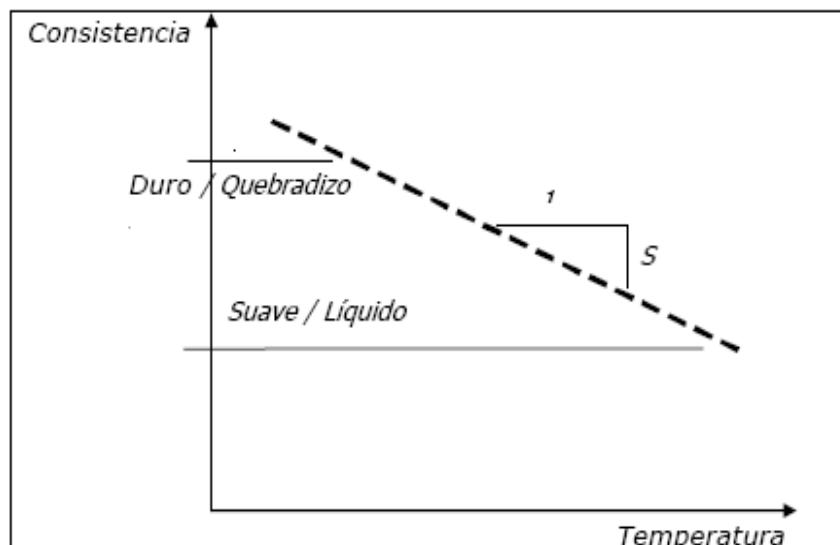


Figura N° 03 Comportamiento del Asfalto (Consistencia vs Temperatura)

La gráfica muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

2.1.5.4 Endurecimiento y Envejecimiento.

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa.

No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo mas corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez mas las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento terminado, una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

2.1.5.5 Pureza.

El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue pérdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100°C (212°F). La pureza de un cemento asfáltico está definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

2.1.6 Clasificación de los asfaltos de pavimentación

De acuerdo a la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos generales:

2.1.6.1 Cementos asfálticos

Se dividen bajo tres diferentes sistemas, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

2.1.6.1.1 Caracterización por penetración

Se aplica la norma ASTM D- 946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación).

Esta abarca los siguientes grados de penetración:

- 40 – 50
- 60 – 70
- 85 – 100
- 120 – 150

- 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200- 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto “blando”, un grado 40- 50 es indicación de un asfalto “duro”.

2.1.6.1.2 Caracterización por viscosidad:

Se aplica la norma ASTM D- 3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

- **AC- 5 (500 ± 100):** utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.
- **AC- 10 (1000 ± 200):** utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.
- **AC- 20 (2000 ± 400):** utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío.

- **AC- 30 (3000 ± 600):** utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío.

2.1.6.1.3 Caracterización por Comportamiento

Este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), aunque también está incluido en la norma ASTM D- 6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento) incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica.

La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer. Se puede envejecer el asfalto a corto y largo plazo, posteriormente se mide su viscosidad.

2.1.6.2 Asfaltos Rebajados

Conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo. Existen tres clases:

2.1.6.2.1 Asfalto de Curado Rápido (RC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

2.1.6.2.2 Asfalto de Curado Medio (MC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente como la kerosina de media volatilidad.

2.1.6.2.3 Asfalto de Curado Lento (SC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

2.1.6.3 Asfaltos Emulsificados

Es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

2.1.6.4 Emulsión Aniónica: Los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.

2.1.6.5 Emulsión Catiónica: Los glóbulos de asfalto están cargados positivamente

2.2 Asfaltos Modificados

2.2.1 Antecedentes

En lo que concierne al aspecto histórico de la modificación de ligantes, la idea de modificar asfalto se remonta a 1960 en Italia, Francia y Alemania, donde se llevaron a cabo los primeros proyectos de prueba. En esta época en Estados Unidos también surgió la inquietud llevándose a cabo los primeros proyectos de construcción en 1960. En Italia se construyeron más de 1000 Km. de carreteras con este tipo de asfalto, poniendo capas de rodamiento con asfaltos modificados ya sea base seca o látex.

Para llevar a cabo la modificación de asfalto, se debe conocer la compatibilidad de este con el modificador para que coexistan como sistema, es decir debe ser miscible, lo que indica una mezcla monofásica. La inmiscibilidad se traduce en la aparición de una segunda fase. Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un examen visual.

Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas serán los más compatibles, ya que estas fracciones son las que permiten que el polímero se disuelva. Los asfaltos menos compatibles son los más ricos en asfaltenos y saturados.

El comportamiento del asfalto depende básicamente de tres factores:

- Temperatura
- Tiempo de carga
- Envejecimiento

A altas temperaturas y bajo cargas sostenidas, el asfalto se comporta como un líquido viscoso, es una mezcla plástica la cual provoca ahuellamiento. A bajas temperaturas y bajo cargas rápidas se vuelve frágil, ocasionando grietas transversales y agrietamiento térmico.

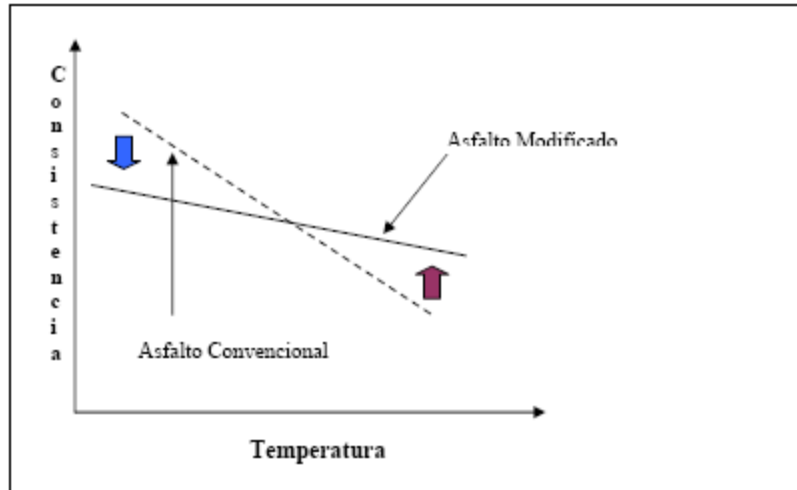


Figura N° 04 Comportamiento Asfalto Convencional y Asfalto Modificado

El objetivo perseguido con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica
- Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

2.2.2 Definición

Un asfalto modificado es un asfalto al que se le adiciono un agente que modifica sus características iniciales, las cuales pueden ser entre otras, la viscosidad, dureza, elasticidad, etc., con lo que se logra facultar al concreto asfáltico con características necesarias para resistir los esfuerzos, los agentes climáticos, y las condiciones de trabajo que propician

su desgaste, el cual puede ser prematuro. Más adelante se especificarán la características que se modifican del asfalto y el objetivo que se persigue con esto. Los agentes modificadores que se emplean son polímeros, látex y hule molido.

2.2.3 Razones para usar Modificadores de Asfaltos

2.2.3.1 Deformacion de la Carpeta Asfaltica

Una diferencia entre una carpeta rígida, carpetas de concreto hidráulico, y una carpeta flexible, es la forma en que cada una de ellas absorbe y transmite las cargas a las capas subyacentes del pavimento. Pues es sabido que una carpeta rígida absorbe las cargas de manera distribuida, debido a su carácter de material rígido, propiedad con la que no cuenta una carpeta de asfalto, pues debido a su naturaleza, una carpeta asfáltica recibe la carga de forma directa, se deforma y la transmite en forma distribuida a la capa inferior.

En la Figura N° 05 se muestra, de forma esquemática, del lado izquierdo la deformación que presenta una carpeta asfáltica, mientras que en el lado derecho la carpeta rígida no presenta deformación.

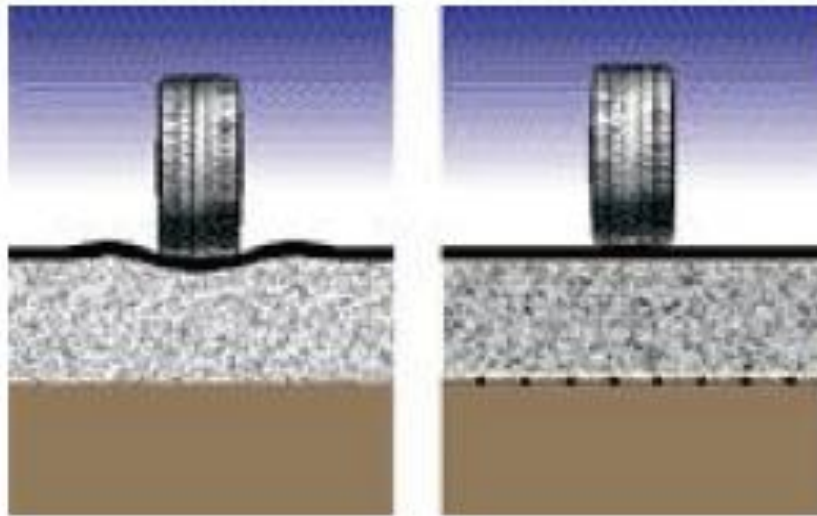


Figura N° 05 Deformación de la Carpeta Asfáltica

Aplicada la carga, o si es demasiado rígido este fenómeno ocasionará fracturas permanentes en la superficie de rodamiento.

La deformación permanente se produce en el pavimento flexible cuando se acumula deformación plástica, con cargas repetidas a altas temperaturas comprendidas entre 40°C y 65°C, (mayores al punto de reblandecimiento del asfalto), como se menciono anteriormente es favorecida por cargas altas y periodos lentos o prolongados de su aplicación. Los factores que favorecen a la aparición de la deformación permanente son las altas presiones de inflado de las llantas de los vehículos, aunque esto no depende del proyectista; un alto o bajo contenido de asfalto en la mezcla; el uso de agregados de forma alargada y redonda, además de la afinidad del pétreo a la humedad.

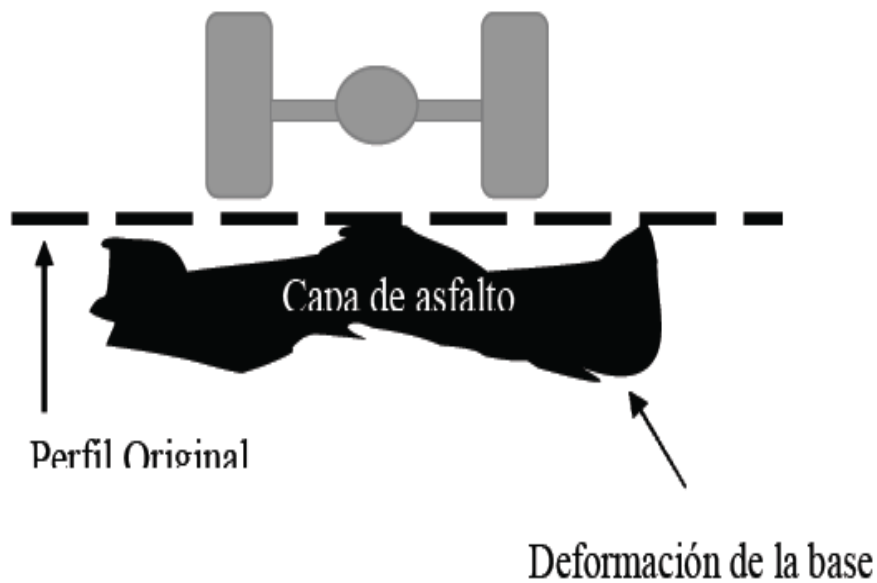


Figura N° 06 Deformación Permanente y daño en la Base

Otro fenómeno que se presenta, similar a la deformación permanente es el de agrietamiento por baja temperatura, este se presenta cuando el asfalto es demasiado rígido, debido a que presenta una elasticidad demasiado baja, lo que propicia que el asfalto se vea sujetado a esfuerzos de tensión antes de recibir alguna carga.

2.2.3.2 Fallas en Pavimentos Flexibles

Se tiene perfectamente bien establecido, que las vías terrestres se proyectan y se construyen, para que estén en servicio por un determinado número de años como mínimo, a este periodo se le conoce como horizonte de proyecto o vida útil de la obra. Al concluir este periodo de tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con objeto de aumentar su servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

Al estar en operación, una obra se deteriora gradualmente y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños en un principio; pero empeoran con el transcurso del tiempo hasta ser considerables acelerando la falla de la vía; por esto, una obra requiere de mantenimiento o conservación, para que de esta forma asegure, por lo menos, su vida útil de proyecto y proporcionar un servicio adecuado.

El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5, llamado índice de servicio; cuando una obra comienza a funcionar, recién construida, debe tener una calificación de 4.0 a 4.5, la cual disminuye mediante pasa el tiempo.

Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un índice de servicio de 2.5 o 2, uno de segundo orden, el tránsito tiene varios problemas, y la comodidad del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional, si el camino sigue en servicio, logra la falla estructural y prácticamente ya no puede haber tránsito. Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores, o a que no se pronosticó el tránsito en forma adecuada, una obra puede llegar a la falla estructural al estar prácticamente destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, sin que quizás haya habido falla funcional, pues el deterioro habría sido rápido.

Para que una obra deteriorada no llegue con el tiempo a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional y su calificación sea de 2 para los caminos secundarios o de 2.5 para los de primer orden y especiales.

Cuando se registra la historia de un camino y se obtienen año con año los índices de servicio, se traza una curva como la mostrada en la Figura N° 07, con la cual se conoce aproximadamente el tiempo en que la vía llegara a su falla estructural. Pero se pueden hacer diferentes rehabilitaciones, para aumentar su vida útil; claro, después de varios trabajos de este tipo, habrá un momento en el que la estructura este tan dañada, que necesite una reconstrucción.

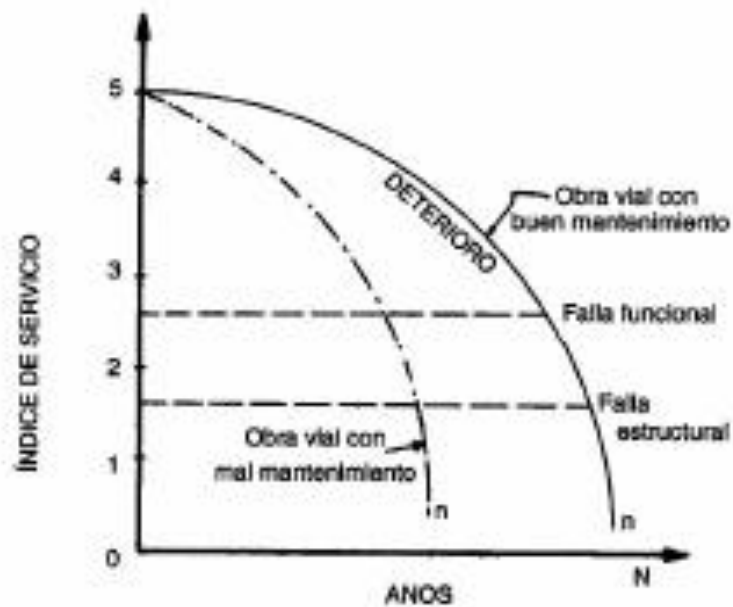
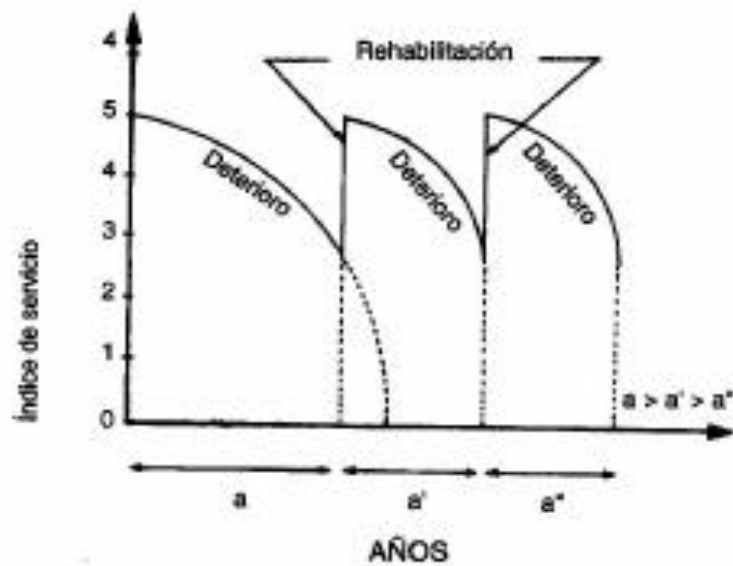


Figura N° 07 Esquema que representa el deterioro de las obras viales



FiguraNº 08 Esquema que muestra el efecto de las rehabilitaciones

Lo anterior se muestra en la FiguraNº07, donde se indica que después de entrar en servicio, una obra se va deteriorando hasta llegar en “n” años a su falla estructural; sin embargo, si cuando se tiene una calificación de 2.5 se rehabilita, se aumenta su vida útil en “n” años más. Este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; sin embargo, después de cuatro o cinco rehabilitaciones, el daño causado a la obra es tal que es conveniente una reconstrucción, pues la eficacia de la rehabilitación es cada vez menor, como se ve en la FiguraNº 08.

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toma en cuenta la cantidad de grietas que hay en la superficie de rodamiento; el número de baches, cajetes o calaveras; y la magnitud de las deformaciones. A continuación se hace una descripción de los diferentes tipos de fallas que se presentan en los pavimentos flexibles y sus causas probables:

2.2.3.2.1 Roderas:

Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos: Si son menores a 1 cm, se debe a una deformación de la carpeta asfáltica; pero si son mayores se deben a una insuficiencia en la base o a que esta no es de la calidad adecuada. FiguraNº 09.



Figura Nº 09 Roderas

2.2.3.2.2 Superficie de Rodamiento Lisa:

Este defecto se debe a un exceso de asfalto en el riego de liga, en la mezcla asfáltica o en el riego de sello. El exceso de asfalto por acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando así su aislamiento pero aún de esta manera se puede tener una capa de asfalto de 1 o 2 mm en forma de nata, esto es muy peligroso, pues los vehículos derrapan con facilidad.

2.2.3.2.3 Pequeñas Deformaciones Transversales Rítmicas:

Esta falla, que es muy molesta para el tránsito, se presenta cuando la base no está bien cementada o cuando se construyó en definitiva con materiales inertes. Se debe a las deformaciones de esta capa, producidas por la vibración y los esfuerzos tangenciales que provocan los vehículos y que se reflejan en la superficie de rodamiento; en caso de que ésta sea de concreto asfáltico, se agrieta en forma rápida.

2.2.3.2.4 Desintegración de la Carpeta:

Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación del asfalto, o en carpetas relativamente recientes con escaso contenido de asfalto; se da también en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable. Figura N° 10.

2.2.3.2.5 Grietas Longitudinales a la Orilla de la Carpeta:

Este problema se presenta en las terracerías, ya sea por contracciones que ocurran en esta o por estar construidas sobre terrenos blandos; también puede deberse a que los automóviles se acercan demasiado a la orilla cuando la carpeta asfáltica se extiende sobre toda la corona, en cuyo caso no existe un confinamiento lateral adecuado. De igual manera, estas grietas aparecen cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, pues se utilizan materiales sin compactación o sin anclaje adecuado; con el tiempo, en ocasiones cortas, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan hacia el centro.



Figura N° 10 Desintegración de la carpeta

2.2.3.2.6 Presentación de Calaveras:

Las calaveras son huecos que se presentan en la superficie de rodamiento, llegando a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor de 15 cm. Se deben a una calidad insuficiente en la base, a carpetas con un contenido de asfalto menor que el óptimo, o por colocar una carpeta nueva sobre otra agrietada o con calaveras, lo que se refleja en la carpeta nueva. Figura N° 11.



Figura N° 11 Rresentación de Calaveras en la Carpeta Asfaltica

2.2.3.2.7 Baches:

Se deben a la desintegración de las carpetas y de la base por la mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren también por la presencia de grietas y calaveras que no se trataron en forma adecuada y oportuna.
FiguraN° 12



Figura N° 12 Baches

2.2.3.2.8 Agrietamientos es Forma de Piel de Cocodrilo o Mapeo:

Se debe a una carpeta de mala calidad o colocada sobre una base con rebote; en caso de que la carpeta se haya elaborado con concreto asfáltico, esta falla resulta de que la base no se rigidizó correctamente. Así mismo aparece en carpetas con asfalto oxidado. Figura N° 13.

2.2.3.2.9 Corrimiento de la Carpeta Asfáltica:

Ocurre cuando la mezcla es de baja estabilidad, ya sea por usarse exceso de asfalto o por usarse un asfalto blando en zonas de alta temperatura; se presenta también en el carril de subida en tramos de pendiente marcada y en curvas, donde los esfuerzos de tracción de los vehículos son muy grandes.

2.2.3.2.10 Descarnado de las Carpetas:

Resulta de usar aditivos inadecuados en las mezclas y se presentan en zonas de grandes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en las zonas de arranque y frenado en avenidas de ciudades.

2.2.3.2.11 Deformaciones de las Superficies de Rodamiento del Orden de 5 cm:

Son ocasionados por la mala calidad de la base o por la insuficiencia en el espesor del pavimento.

2.2.3.2.12 Deformaciones Fuertes en la Superficie de Rodamiento:

Se debe a un espesor Insuficiente o a la mala calidad de los materiales del pavimento y de las terracería, a menudo con una notable falla de la compactación desde la construcción. Casi siempre hay una gran cantidad de agua por falta de cunetas, subdrenaje u otras obras para controlar el líquido. Cuando el tránsito aumenta en forma considerable, las obras señaladas para un volumen determinado de tránsito y que no se rehabilitan en forma oportuna y adecuada, presentan también este problema.



Figura N° 13 Mapeo o Piel de Cocodrilo

2.2.4 Ventajas del Uso de Asfaltos Modificados

Ya que se conocen las diferencias más destacadas entre los asfaltos convencionales y los modificados. A continuación se clasifican las ventajas de los asfaltos modificados:

2.2.4.1 Mecánicas

- Disminuyen la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión con los agregados.
- Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.

2.2.4.2 Térmicas

- Disminuyen la susceptibilidad térmica.
- Disminuyen la fragilidad en climas y aumentan la cohesión en tiempos de calor.
- Varía su comportamiento de acuerdo a la temperatura en que se encuentren..

2.2.4.3 Económicas

- El costo, depende básicamente de su mantenimiento ya que con estos requerirán menos y su tiempo de vida sería más largo.

2.2.5 Procesos de Modificación del Asfalto

El CRLI puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados proceso húmedo y proceso seco.

2.2.5.1 Proceso por Vía Seca.

El proceso seco es cualquier método donde el CRLI es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico.

Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el CRLI como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el 1 y 3 % del peso total de los agregados en la mezcla. A diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, solo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de CRLI y que sea suministrada en el momento

indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado.

Las dos tecnologías más comunes en estados unidos para el uso del CRLI por la vía seca son la tecnología PlusRide, la tecnología Genérica o sistema TAK y otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países.

2.2.5.1.1 Plus Ride.

Esta tecnología fue originalmente desarrollada en Suecia a finales de los años 1960, y registrada en los Estados Unidos bajo el nombre comercial de PlusRide por la firma Enviro Tire. El CRLI es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van desde 4.2 mm a 2.0 mm (tamiz No 10). El contenido de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4 %, y por lo general son obtenidos con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 %.

2.2.5.1.2 Genérica.

Esta tecnología fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 para producir mezclas asfálticas en caliente con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el CRLI grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del CRLI es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. A diferencia del PlusRide, la granulometría del CRLI se divide en dos fracciones en la que la parte fina se

encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica.

En este sistema, el contenido de CRLL no debe exceder el 2 % del peso total de la mezcla para capas de rodadura.

2.2.5.1.3 Convencional.

Esta tecnología fue desarrollada en España para usar el CRLL en la mejora de mezclas asfálticas empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menos cantidad de caucho, aproximadamente un 2% del peso total de los agregados. Estas mezclas asfálticas han sido evaluadas dinámicamente en el laboratorio y colocadas en la vía con buenos resultados.

El proceso seco puede ser usado para mezclas asfálticas en caliente en granulometrías densas, abiertas o discontinuas. No puede ser usado en otro tipo de aplicaciones como mezclas en frío, sellos, o tratamientos superficiales por ser un proceso en el que no se modifica el ligante.

2.2.5.2 Proceso por vía húmeda.

En el proceso húmedo, el CRLL es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado.

El cemento asfáltico que ha sido modificado con CRLL es llamado AMC y es el resultado de la interacción del CRLL con el ligante.

Cuando el cemento asfáltico y CRLL son mezclados, el caucho interacciona hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, siendo necesaria la utilización de un catalizador compatibilizante para darle un pre-tratamiento al caucho mejorando la estabilidad de la mezcla. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del CRLL, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la mezcla, el componente aromático del cemento asfáltico y el uso de otros aditivos.

Entre más usadas en el proceso húmedo están: el mezclado por bachadas o tecnología McDonald, mezclado continuo y mezclado terminal.

2.2.5.2.1 Tecnología por Bachadas.

Esta metodología consiste en una producción de mezclado de asfalto y caucho por bachadas. Las primeras aplicaciones en el proceso húmedo fueron bachadas y se basaron en la tecnología McDonald, que fue desarrollada a comienzos de los años 1960 por Charles McDonald, y patentada en los años 1970 por la Arizona Refining Company (ARCO). Hoy en día existen numerosas patentes relacionadas con la tecnología McDonald, muchas de las cuales ya han expirado y otras cuantas todavía se encuentran vigentes.

2.2.5.2.2 Tecnología Continua.

Este proceso consiste en un sistema de producción de mezclado de asfalto y caucho de manera continua. La tecnología de mezclado en continuo fue desarrollada en Florida a finales de los años 1980 y es conocida como Florida Wet Process. En este proceso, un tamaño fino 0.18 mm (tamiz No 80) de CRLL es mezclado con el cemento asfáltico en un proceso continuo.

La tecnología de Florida se diferencia del proceso McDonald en varios aspectos: emplea bajos porcentajes de CRLL, entre 8 y 10%, el tamaño de la partícula de caucho requerida es más pequeña, disminuye la temperatura y el tiempo de mezclado. El proceso húmedo de Florida aún no ha sido patentado.

2.2.5.2.3 Tecnología Terminal.

La tecnología de mezclado terminal es un proceso húmedo que brinda la capacidad de mezclar o combinar el cemento asfáltico con el CRLL y conservar el producto durante amplios períodos de tiempo.

Este proceso asfalto-caucho tiene una amplia duración de almacenamiento y puede ser mezclado en la refinería donde se produce el cemento asfáltico por cualquiera de las dos tecnologías, continua o por batchadas.

Las aplicaciones del cemento asfáltico modificado con CRLL mediante el proceso húmedo ha sido usado ampliamente como ligante en la reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, membranas

retardantes de fisuras y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

2.2.6 Agentes Modificadores de Asfalto

2.2.6.1 Polímeros

Ya se mencionó que un polímero es una molécula larga creada por una reacción química de muchas pequeñas moléculas, que una con otra forman largas cadenas.

El primer polímero conocido por el hombre, y al cual se le dio un uso fue el látex natural, conocido como hule, (del náhuatl hollín que significa movimiento), producto del sangrado del árbol perteneciente al género de las euforbiaceas conocido como ulcuahuitl o árbol del hule (*Castilloa Elástica Cervica*). Posteriormente de iniciado el interés en el novedoso material, se dio un auge en la investigación de éste, pues aunque tenía propiedades singulares presentaba un rápido deterioro por el incremento de la temperatura. Después del descubrimiento del proceso de vulcanización, con lo que se logra la obtención del primer polímero termofijo, se presenta una carrera científica de intereses militares para crear polímeros sintéticos, lo que a la fecha a traído un gran número de tipos de estos materiales, pudiendo enlistar una muy amplia lista de éstos. En nuestro caso, obviamente, solo hablaremos de aquellos que tienen utilidad en la modificación de los asfaltos.

A pesar de que los polímeros pueden formularse de tal manera que resulten con cualquier propiedad física, aquellos que se utilizan en la modificación de asfaltos se pueden agrupar en dos categorías principales

- Elastómeros
- Plastómeros

2.2.6.1.1 Los Elastómeros

Se pueden alargar, y por su elasticidad, recobran su forma. Dichos polímeros no añaden mucha resistencia al asfalto, si éste no se encuentra estirado; una vez estirado, adquiere una gran resistencia con la propiedad de recuperar totalmente su forma inicial cuando se liberan los esfuerzos aplicados.

Algunos de los elastómeros utilizados para modificar asfaltos son: bloque de copolímeros estireno-butadieno-estireno o estireno butadieno (SBS-SB), bloque decopolímeros estireno-isopreno-estireno (SIS), látex ahulado de estireno-butadieno (SBR), látex de policloropreno, y látex de hule natural. (El látex es una emulsión de gotas microscópicas de polímero suspendidas en agua).

2.2.6.1.2 Los Plastómeros

Forman una red rígida tridimensional, estos polímeros dan mucha fuerza a temprana edad para resistir cargas pesadas, pero pueden fracturarse cuando son deformados, ya que son muy rígidos, provocando la fatiga acelerada del pavimento, si no se cuenta con una estructura adecuada. Los plastómeros mas comunes son: el etil-vinilo-acetato (EVA) polietileno/polipropileno, y poliolefinas.

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto

para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con plastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez.

Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto base que se utiliza. La mayor diferencia cuando es modificado un asfalto con polímeros es su reología, o sus características de flujo, particularmente su susceptibilidad térmica.

Cuando un asfalto es modificado, la viscosidad a 60 °C cambia dramáticamente, pero las penetraciones tanto a 25 °C como a 4°C cambian tan solo pocos grados. La modificación con polímeros causa cambios significativos en la relación esfuerzo - deformación, en la respuesta a la deformación plástica y en los parámetros de flujo tipo no-newtoniano.

La capacidad de algunos polímeros para su recuperación elástica (la respuesta a la deformación) se mide monitoreando el flujo bajo la acción de una carga, y su recuperación elástica cuando la carga desaparece y añade durabilidad al asfalto. Se han desarrollado nuevas pruebas para medir estas propiedades; los cuales son más adecuados en algunos casos que los métodos convencionales

(viscosidad absoluta o cinemática, punto de reblandecimiento, penetración, etc.), ya que caracterizan las propiedades físicas de los asfaltos modificados con polímeros a altas y bajas temperaturas.

Los tipos de polímeros son entre otros:

Copolímeros en block y otros termoplásticos:

Su característica es el contener bloques finales de estireno y bloques medios de butadieno para proporcionar “elasticidad”. En este grupo están:

- SB (Estireno – Butadieno)
- SBS (Estireno – Butadieno – Estireno)
- SIS (Estireno – Isopreno – Estireno)
- SEBS (Estireno – Etileno – Butadieno – Estireno)
- LDPE (Polietileno baja densidad)
- ABS (Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno)
- EVA (Etil – Vinil – Acetato)

Hules naturales y sintéticos:

- NR (Hule natural)
- PBD (Polibutadieno)
- PI (Poliisoprenos)
- PCB (latex)

Otros:

- Hule de llanta
- Fibras (celulosa, poliéster, polipropileno, etc.)

Las propiedades del asfalto que se logran modificar son la viscosidad, ductilidad, resistencia al envejecimiento, susceptibilidad térmica y elasticidad.

Es notorio que en la lista anterior se ve la presencia de látex, hule de llanta, fibras y agentes antistriping, sin embargo estas cuentan con características un tanto

diferente a los demás polímeros y se hablara de ellos en secciones apartadas.

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de dos aspectos:

- El sistema de polímero utilizado.
- La compatibilidad del polímero con el asfalto.

2.2.6.2 Hule Molido de Llanta

2.2.6.2.1 Llanatas de Desecho

Las llantas de vehículos al término de su vida útil, se convierten en desecho no bio-degradable. Además su forma física y dispersión geográfica plantean un reto para su manejo y disposición final.

La eliminación de las llantas de desecho es un serio problema mundial. Debido al gran número de llantas de desecho generadas anualmente y su larga vida, las llantas tienen un problema substancial en su manejo como basura. Actualmente la mayoría de las llantas de desecho son apiladas o usadas como relleno en grandes extensiones de terreno, creando serias amenazas sanitarias y ambientales.

Un factor de reclamo mundial es la pureza del ambiente. Más de 100 años tirando llantas sin ningún tipo de control es uno de los problemas que están destruyendo los biosistemas en todo el orbe.

Los tiraderos de llantas han sido desde tiempo atrás, sujetos de grandes discusiones; aún antes de que hubiese las tecnologías modernas en la fabricación de llantas y el complejo y basto sistema de distribuidoras

preocupadas por la ecología.

Aunque en realidad, la industria de la recuperación del hule de las llantas, empezó prácticamente en cuanto los primeros neumáticos de los primeros vehículos llegaron a su desgaste final y se desecharon. Cuando la fabricación de llantas se hizo más sofisticada con la incorporación de sintéticos y cinturones radiales de acero, el proceso de reutilizar el hule se hizo cada vez más difícil.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la solución más simple fue tirarlas en grandes extensiones de terrenos, utilizándose como rellenos o apiladas en grandes montañas. Se calcula que hoy en día existen más de diez mil millones de llantas en estas condiciones, en todo el mundo.

Al principio, estos tiraderos de llantas estaban permitidos por las autoridades en todo el mundo, pero los grandes desastres provocados por enormes incendios, así como ser un foco de infección y un factor importante para la proliferación de roedores y numerosas plagas que se alimentan de carroña, como son las ratas y mosquitos.

Por otro lado, las llantas sueltan aceites y otros materiales tóxicos que se filtran en la tierra encontrando generalmente salida por los mantos acuíferos y por el drenaje contaminando corrientes de agua y pozos.

Además de lo anterior, es muy preocupante el renglón de salud, pues se ha comprobado que aproximadamente un millón de mosquitos se desarrollan, dentro de su ciclo

de reproducción en condiciones óptimas, en el interior de una llanta que contenga agua estancada dentro de la misma. Las ratas y los mosquitos transmiten enfermedades altamente contagiosas y peligrosas como son: rabia, paludismo, Encefalitis de San Luis, Encefalitis de La Crosse, Hepatitis Viral (tipo B), Fiebre del Dengue.

Así los tiraderos de llantas crecieron indiscriminadamente. Las llantas apiladas en grandes montañas, se convirtieron no solo en un problema ambiental, sino también en un problema político.

No se tiene una información real de la cantidad de llantas de desecho que existen actualmente en nuestro país.

usos:

- Disposición en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios.
- Disposición en patios y azoteas particulares.
- Uso como combustible en hornos ladrilleros y artículos de barro sin control en sus emisiones a la atmósfera.
- Uso como combustible alterno en hornos cementeros autorizados y altamente controlados por la autoridad ecológica.

Al quemarse la llanta, el 100 % de sus componentes son cancerígenos.

- Uso como materia prima de una microindustria de producción de zapato, huarache y artículos de hule de muy rudimentaria técnica y forma sencilla, sin control alguno de sus recortes y desperdicios.

- Uso como muros de contención y ornato, principalmente en parques recreativos.
- Uso en zonas de granjas como bebederos para la cría de especies menores.
- Uso como medio amortiguador de impactos en maquinaria y vehículos automotores pesados.
- Uso en la navegación en muelles y en embarcaciones como elementos de protección de impactos.
- Uso como material de apoyo y seguridad en diversas actividades deportivas.

2.2.6.2.2 Composición Química de las Llantas.

La llanta está compuesta principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. A su vez, el caucho usado en la fabricación de neumáticos está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos de elevado peso molecular) entre los que se cuentan el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estireno-butadieno, basados en hidrocarburos. Ver tabla N° 04.

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que mejoran el manejo del caucho antes de la vulcanización; óxido de Zinc y de Magnesio, comúnmente denominados activadores, que son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de varias horas a pocos minutos; antioxidantes, para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono; y finalmente negro de humo, especie de humo

negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión.

Aunque suelen variar según el tipo de neumáticos y el país de fabricación, los diferentes elementos químicos que componen un neumático se muestran en la Tabla N° 05 junto a sus porcentajes respectivos.

En el proceso de vulcanizado, en la fabricación de la llanta, la goma virgen es mezclada con otros productos (cauchos sintéticos, azufre y óxidos) y llevada a temperaturas que provocan cambios en su estructura química interna y en sus propiedades físicas.

Tabla N° 04 Componentes de la Llantana

| MATERIAL | LLANTAS AUTOMÓVILES Y CAMIONETAS | LLANTAS CAMIONES Y MICROBUSES |
|--|---|--------------------------------------|
| Caucho natural | 14 % | 27 % |
| Caucho sintético | 27% | 14% |
| Negro de humo | 28% | 28% |
| Acero | 14 - 15% | 14 - 15% |
| Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc. | 16 - 17% | 16 - 17% |
| Peso promedio: | 8,6 Kg | 45,4 Kg. |
| Volumen | 0.06 m ³ | 0.36 m ³ |

Tabla N°05 Composición Química de la Llantana

| ELEMENTO | COMPOSICIÓN |
|--|-------------|
| Carbono (C) | 70% |
| Hidrogeno (H) | 7% |
| Azufre (S) | 1.3% |
| Cloro (Cl) | 0,2-0,6% |
| Hierro (Fe) | 15% |
| Oxido de Zinc (ZnO) | 2% |
| Dióxido de Silicio (SiO ₂) | 5% |
| Cromo (Cr) | 97 ppm |
| Níquel (Ni) | 77 ppm |
| Plomo (Pb) | 60-760 ppm |
| Cadmio | 5-10 ppm |
| Talio | 0,2-0,3 ppm |

Estos cambios son, en la práctica, irreversibles. Posteriormente, la goma del neumático, al estar sometida a ambientes agresivos como el roce con el pavimento, se desgasta y degrada.

El roce constante con el aire causa a su vez la oxidación del material, todo lo cual impide que la goma granulada recuperada a partir de neumáticos usados alcance los niveles de calidad de la goma virgen original.

2.2.6.2.3 Procesos para la Obtención de Hule Molido de las Llantas

2.2.6.2.3.1 Sistema Mecánico (Ambiental)

El proceso mecánico consiste primero en eliminar los cinturones de acero de las llantas de camión. Después de haber eliminado los cinturones de acero, la llanta es llevada a un equipo triturador donde se reduce la llanta a tamaños aproximados entre 25 y 40 centímetros cuadrados. Esta pedacería es llevada a tolvas instaladas en la entrada de los granuladores.

El granulador recibe la pedacería y la lleva a una serie de moliendas por medio de cuchillas que pulverizan el hule. Dentro de estos procesos, existen sistemas magnéticos que separan el acero y metal expulsándolo mediante un tubo vibratorio a los depósitos principales de recolección de acero. El hule pasa a una mesa vibratoria donde está instalado un sistema de vacío que elimina la fibra sintética que tiene la llanta.

Después de este paso, se transporta el hule a unas cribas que permiten seleccionar las medidas deseadas de acuerdo a las necesidades de granulometría del mercado(normalmente son cuatro), para posteriormente depositar el hule molido en silos que permitirán el pesado y empacado.

2.2.6.2.3.2 Sistema Criogénico

El sistema criogénico consiste en llevar las llantas enteras a un depósito donde se hace pasar nitrógeno líquido para ser congelado el producto. Algunos productores las trituran, para aumentar el volumen del producto a congelar.

Posteriormente pasa a unos molinos donde se rompe la pedacería, pulverizando el producto, y ayudado por un sistema magnético se separa el acero y metal existente, y mediante un sistema de vacío, se separa la fibra sintética que tiene la llanta. Después es pasado a un sistema de cribas donde se separa por tamaños, para después pasar a unos silos donde se procede al embolsado y pesado.

“La ASTM-D-8-99 define al asfalto ahulado, como “una mezcla de cemento asfáltico y hule recuperado de llantas de desecho, con algunos aditivos en donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de hule”. Los mejores resultados se han obtenido utilizando un mínimo de 17% de hule reciclado de neumáticos, mezclado a temperaturas entre los 175°C y 200°C para provocar la reacción.”

2.2.7 Aplicación de la Mezcla

2.2.7.1 Equipo Utilizado en la Aplicación de la Mezcla

Es básicamente el mismo que el utilizado en una aplicación de mezcla asfáltica sin modificar (no se utiliza la compactadora neumática).

- Camión regador: para aplicar el riego de liga.
- Máquina pavimentadora: para colocar la carpeta asfáltica del espesor requerido.
- Rodillo Vibratorio de doble tambor: para la compactación.

2.2.7.2 Mano de Obra Necesaria

Se requieren los operadores de cada máquina:

- Un operador del camión regador.

- Un operador para la maquina pavimentadora.
- Dos personas encargadas de emparejar las orillas de la pavimentadora.
- Un encargado de chequear el espesor de la carpeta.
- Un operador del rodo vibratorio.

2.2.7.3 Aplicación de la Mezcla

La mezcla con asfalto modificado se colocara sobre un pavimento asfáltico. El proceso a seguir es el siguiente:

- Se debe chequear siempre que la superficie este completamente nivelada libre y de cualquier clase de desechos antes de empezar a pavimentar.
- Aplicar un riego de liga a razón de 0.07 a 0.18 gal/m², con el fin de que exista adherencia entre la carpeta existente y la nueva.
- Chequear la temperatura a la que es entregada la mezcla asfáltica ya que no es adecuado compactar a temperaturas muy bajas.
- La pavimentación se lleva a cabo utilizando una pavimentadora, la cual está conformada por dos unidades: la del tractor y la del enrasador. La unidad del tractor incluye una planta motriz y el enrasador es el encargado de colocar la carpeta de mezcla en caliente y controlar el espesor de esta aunque, el espesor es siempre revisado por un encargado que va midiendo con una varilla graduada. La plancha del enrasador debe ser calibrada para estar a la temperatura de la mezcla y evitar enfriamiento prematuro de la mezcla asfáltica.(Ver figura N°. 14)



Figura 14. Aplicación de mezcla asfáltica modificada

- Se procede a compactar, esto consiste en comprimir el volumen de mezcla asfáltica para así obtener un volumen menor con el fin de aumentar la resistencia y estabilidad de la mezcla, también de cerrar los espacios por donde pueda colarse agua o aire, debido a que estos dos factores son dañinos. La carpeta fue compactada a 132 - 141°C (270 -285°F), se deben evitar temperaturas menores debido a que el tipo de asfalto utilizado ha sido modificado con polímeros de tipo elastómeros, lo cual hace que el bitumen se vuelva más viscoso y esta propiedad aumenta conforme la temperatura disminuye. (Ver figura No. 15)



Figura N° 15 Compactado de la mezcla Asfáltica Modificada

CAPÍTULO III: Materiales y Normas

3.1. Materiales

Para el presente trabajo se utilizó caucho de llanta triturada, proveniente de la empresa SICONOR PERÚ S.A.C.

3.1.1 Caucho de Llanta Triturada

El caucho de llanta triturada utilizado para el presente trabajo proviene de la empresa SICONOR PERÚ S.A.C.

“La composición del producto es caucho vulcanizado granulado proveniente de la unidad estratégica orientada al reciclaje, aprovechamiento y valoración de las llantas en desuso. Se obtiene a través de un proceso que se realiza por trituración mecánica y separación de los materiales que conforman las llantas”.

En la Tabla N° 06 se presenta la descripción técnica del producto realizada por el distribuidor.

Tabla N° 06 Ficha Técnica de Caucho Granulado

| FICHA TECNICA | |
|----------------------------|---|
| Descripción | Caucho Vulcanizado Granulado |
| Densidad | 1.109 gr/cm ³ a 25°C (según norma ASTM D792) |
| Forma Física | Gránulos de forma irregular |
| Rango de Dimensión | 0.50 – 0.85 mm |
| % de presencia de Acero | Menos de 0.1% |
| % de presencia de Textiles | Menos de 0.1% |

En la Figura N° 16 se muestra la curva granulométrica correspondiente al caucho vulcanizado granulado, entregada por el distribuidor.

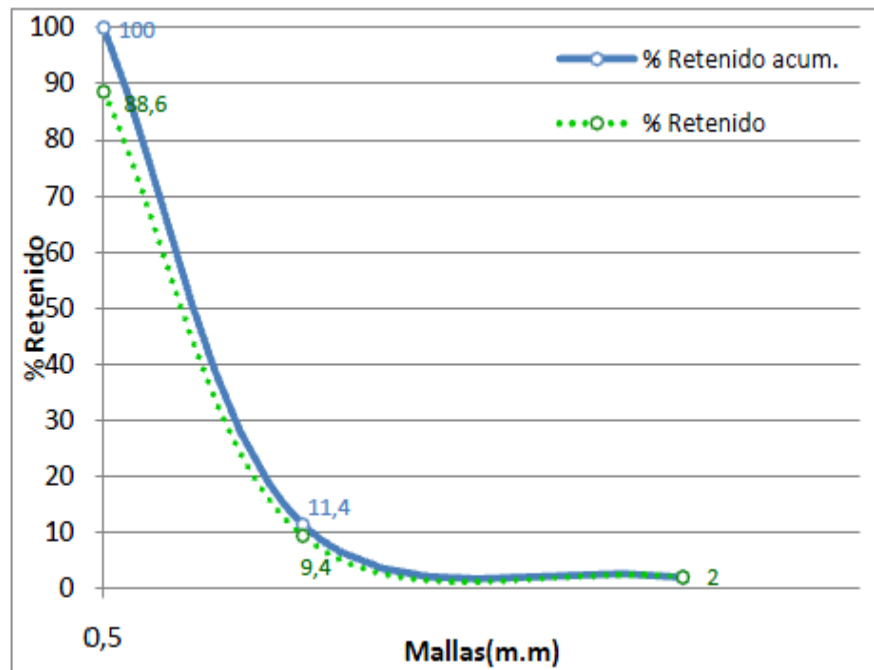


Figura N° 16 Curva granulométrica del caucho vulcanizado granulado



Figura N° 17 Caucho vulcanizado granulado pasa malla 30

3.2 Normas

3.2.1 Penetración ASTM D-5

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean utilizados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Es aplicable a materiales con viscosidades dentro de un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), equivalentes a 0.036 a 200,000 P.



Figura Nº 18 Equipo para Ensayo de Penetración

3.2.2 Punto de ablandamiento (Anillo y bola): ASTM D 36, AASHTO T-53

Proporciona una relación de la dureza del asfalto (duro o blando). Para realizar este ensayo, una pelotita de acero es colocada en el centro de un anillo de acero, el cual es sumergido en un baño de agua o de glicerina. Se utiliza agua cuando el asfalto posee un punto de ablandamiento menor a 80°C y la glicerina es utilizada cuando el punto de ablandamiento es mayor a 80°C. La temperatura del baño debe estar controlada y aumentar a una tasa de 5°C por minuto. En el momento en que la pelotita toca la base (25mm por debajo del anillo) la temperatura es tomada y este, es el punto de ablandamiento del asfalto.



Figura Nº 19 Equipo para Ensayo de Punto de Ablandamiento por Anillo y Bola

3.2.3 Recuperación Elástica por Torsión NLT 329

Se utiliza para determinar la elasticidad que presentan los cementos asfálticos modificados.

Este método de prueba es útil para confirmar que el material que ha sido añadido a la muestra tiene propiedades elásticas. No necesariamente identifica y especifica el tipo y el porcentaje de polímero utilizado. Para llevar a cabo la prueba se utiliza un cilindro de dimensiones especificadas, el cual se sumerge en la muestra de asfalto modificado y mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina después de 30 minutos, el ángulo recuperado por el cilindro. Es importante hacer notar que esta prueba a pesar de ser aceptada en varios países de Europa, además de México y Argentina no está dentro de las normas AASHTO ni ASTM.



Figura N° 20 Equipo para Ensayo de Recuperación Elástica por Torsión

3.2.4 Recuperación Elástica por Ductilómetro ASTM D-6084

La recuperación elástica de un material se determina mediante la tensión recobrada, después de alargar severamente el espécimen de muestra del material. Este se estira a una distancia, velocidad y temperatura específicas. A menos que se determine otra cosa la prueba debe realizarse a una temperatura de $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de $5 \pm 5 \text{ cm. / min.}$



Figura N° 21 Equipo para Ensayo de Recuperación Elástica con Ductilómetro

CAPÍTULO IV: Métodos

4.1 Modificación del Asfalto

Para la modificación del asfalto según el diseño de experimentos se inició con la mezcla asfalto – caucho- azufre.

4.1.1 Mezcla asfalto – caucho – azufre

Las cantidades de materiales azufre el 1.5% y el 20% de caucho obedecen a datos obtenidos de ensayos hechos en Colombia que cumplen con las Especificaciones Internacionales y están dentro de los parámetros de ASTM 6114-97

Para la realización de la modificación se utiliza un mezclador que alcanza las 2000 rpm, para la unión de los materiales se requiere de un mezclado lento por lo tanto se utilizó a un mínimo de revoluciones por minuto aproximadamente 500 o 600 rpm.

Se inicia incorporando el azufre al asfalto previamente caliente, luego de tener el asfalto caliente se adiciona el azufre, calentándolo hasta llegar a su punto de fundición.

Se inicia el mezclado por un tiempo de 10 minutos, transcurrido este tiempo se adiciona el caucho vulcanizado triturado previamente calentado a la temperatura actual del asfalto se continua con el mezclado por una hora.

Al terminar el mezclado se procede a vaciar los moldes de penetración y los anillos de punto de ablandamiento para la realización de los ensayos.



Figura N° 22 Mezclado del asfalto - caucho – azufre.

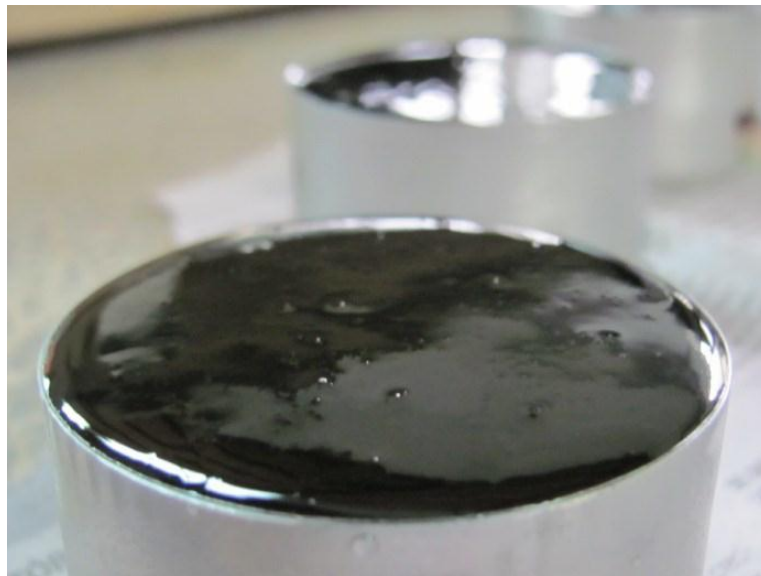


Figura N° 23 Espécimen para prueba de penetración asfalto - caucho– azufre.



Figura N° 24 Espécimen para prueba de punto de ablandamiento aparato anillo y bola asfalto - caucho – azufre.

Tabla N° 7 Especificaciones Asfaltos Modificados con polvo de Llanta (ASTM D-6114-97)

| PROPIEDADES | NORMA | TIPO I | | TIPO II | | TIPO III | |
|---|------------------------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. |
| Viscosidad. Cp a 175°C (347°F) | Método A (ver 5.4) ^{B.C.} | 1500 | 5000 | 1500 | 5000 | 1500 | 5000 |
| Pen. 25°C (77°F) 100g, 5s:1/10mm | D5 | 25 | 75 | 25 | 75 | 50 | 100 |
| Pen. 4°C (39.2°F) 200g, 60s:1/10mm | D5 | 10 | --- | 15 | --- | 25 | --- |
| P. de Ablandamiento. °C (°F) | D36 | 57.2 (135) | --- | 54.4 (130) | --- | 51.7 (125) | --- |
| Resiliencia %, 25°C (77°F) | D5329 | 25 | --- | 20 | --- | 10 | --- |
| P. de Chispa: °C (°F) | D93 | 232.2 (450) | --- | 232.2 (450) | --- | 232.2 (450) | --- |
| TFOT% | D1754 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| Penet. Ret. % (Después de envejecida), 4°C (39.2°F) | D5 | 75 | --- | 75 | ---- | 75 | ---- |

CAPITULO V: ENSAYOS DE LABORATORIO Y RESULTADOS

5.1 Penetración

5.1.1 Definición

Esta prueba describe el procedimiento para determinar la consistencia de los materiales asfálticos, así como la calidad de los mismos.

La prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones asfálticas y rebajados asfálticos, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo, y temperatura.

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste.

5.1.2 Equipo

5.1.2.1 Aparato de Penetración o Penetrómetro para Asfaltos.

Como el mostrado en la Figura N° 25, capaz de sujetar una aguja de penetración, provisto de un dispositivo, extensómetro, para medir la profundidad de penetración de la aguja, en décimos de milímetro. También contará con un mecanismo que permita aproximar la aguja a la muestra y con pesas o lastres de 50 y 100gms.



Figura N° 25 Penetrómetro

5.1.2.2 Agujas.

De acero inoxidable, totalmente endurecidas y perfectamente pulidas, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura N° 26, que se acoplen al penetrómetro mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable, sobresaliendo de éste último entre 40 y 45 centímetros.

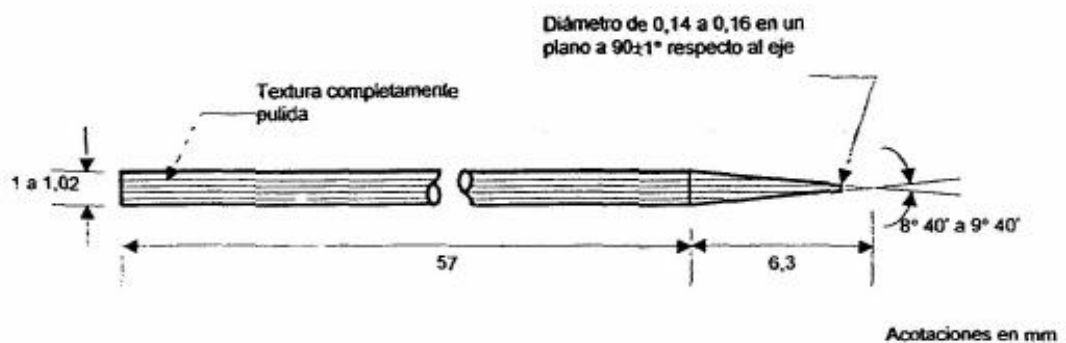


Figura N° 26 Aguja para Prueba de Penetración.

5.1.2.3 Cápsulas de Penetración.

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica y con el fondo plano; con diámetro interior de 55mm y altura interior de 35mm, para penetraciones menores de 200 x 10⁻¹ mm; o diámetro de 70mm y altura interior de 45mm para penetraciones entre 200 y 350 x 10⁻¹ mm.

5.1.2.4 Baño de Agua.

Con temperatura controlable hasta 50°C y aproximaciones de 0.1°C, con dimensiones y características tales que permitan una capacidad mínima de 10L.

Estará provisto de un entrepaño con perforaciones, colado a no menos de 5cm del fondo del baño y no a menos de 10cm de la superficie libre del líquido.

5.1.2.5 Termómetro.

Con un rango de 0 a 50°C y aproximación de 1°C.

5.1.2.6 Cronómetro.

Con aproximación de 0.20seg.

5.1.2.7 Recipiente de Manejo.

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la cápsula de penetración que contenga la muestra de prueba; de 350 cm³ de capacidad y con relieves en el fondo para evitar que la muestra que contiene se mueva durante el proceso de ensaye.

5.1.2.8 Espátula de Níquel

De 20cm de longitud, cuando se prueben residuos por destilación.

5.1.3 Procedimiento de la Prueba

- Se coloca la cápsula de penetración que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo, para introducirlos posteriormente en el baño de agua, cuando este mantenga una temperatura de 25°C o lo que se especifique para la prueba. Se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por un espacio de 2 hrs, con el objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.
- Se coloca el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la aguja y se lastra para que el elemento que se desplaza tenga una masa de $100 \pm 0.10g$ o la masa que se especifique para la prueba y finalmente se nivela perfectamente el penetrómetro.
- Se saca del baño de agua el recipiente de manejo, el cual contiene la muestra de prueba en su cápsula de penetración, cuidando que tenga agua suficiente para cubrir completamente la cápsula. Se colocan el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la aguja. Se ajusta la altura de la aguja hasta que tenga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.

- Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su carátula, hecho esto se oprime el sujetador para liberar la aguja únicamente durante 5 segundos, o durante el tiempo que se especifique para la prueba, después de lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetro.
- Se deben hacer por lo menos tres penetraciones sobre puntos diferentes de la superficie de la muestra de prueba, separándolos entre sí y de la pared de la cápsula de penetración 10mm como mínimo. Se limpiara cuidadosamente la aguja después de cada penetración sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a 25°C o a la especificada para la prueba, se regresara el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua. Para la limpieza de la aguja se utilizara un paño humedecido con tricloroetileno, y después un paño seco y limpio.
- Para materiales asfálticos suaves, con penetraciones mayores de 225 x 10⁻¹ mm, se tiene que emplear por lo menos tres agujas, las que se deben ir dejando introducidas en la muestra de prueba al hacer las penetraciones.

5.1.4 Cálculos y Resultados

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en décimos de milímetro y con aproximación a la unidad, valor conocido también como “grado de penetración”.

Las penetraciones utilizadas para el cálculo del promedio, deben estar dentro de las diferencias permisibles, de lo contrario la prueba se repetirá.

En el reporte quedaran asentados la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con los que se realicen la prueba.

5.2 Punto de Ablandamiento por Anillo y Esfera (ASTM D 36).

5.2.1 Definición

La prueba para obtener el punto de Ablandamiento por anillo y esfera, tiene como objetivo estimar la consistencia de los cementos asfálticos, se basa en la determinación a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25mm, en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

5.2.2 Equipo

5.2.2.1 Anillos.

Dos anillos de latón, con el diseño y dimensiones señalados en la siguiente

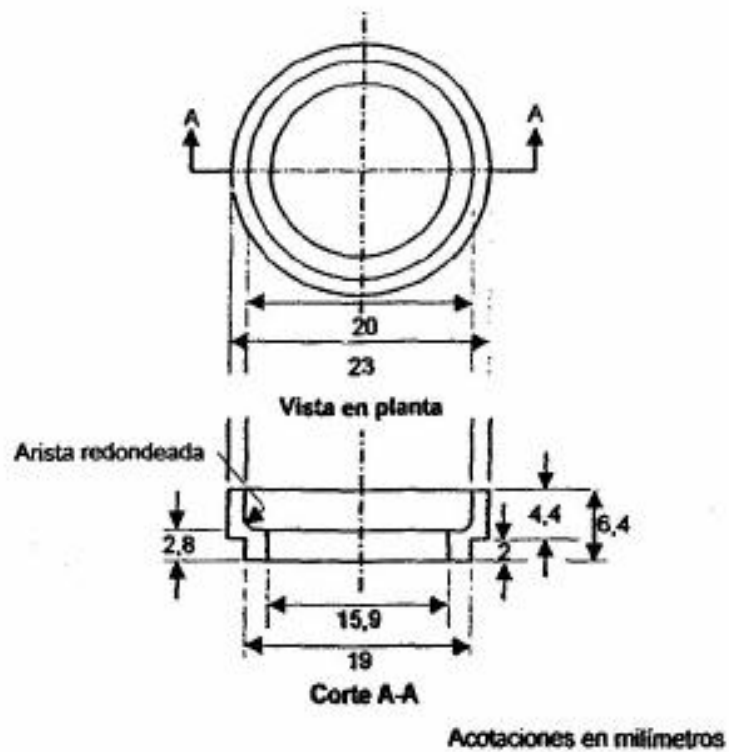


Figura N° 27 Anillo para prueba de Ablandamiento.

5.2.2.2 Vasos de Vidrio Refractario.

Con diámetro interior mínimo de 85mm y altura de 120mm.

5.2.2.3 Sistema de Soporte

Un porta anillos de latón, con la forma y dimensiones señaladas en la Figura N° 27, con un soporte de metal resistente a la corrosión, integrado por dos columnas que sostengan al porta anillos y una placa rectangular inferior, de forma que la distancia entre la parte inferior de aquel y la superior de ésta sea de 25mm, y sujetas a una placa circular que sirva de tapa para el vaso refractario. El soporte debe estar dispuesto de manera que la parte inferior de la placa rectangular se ubique a 16 ± 3 mm del fondo del vaso, como se muestra en la Figura N°28.

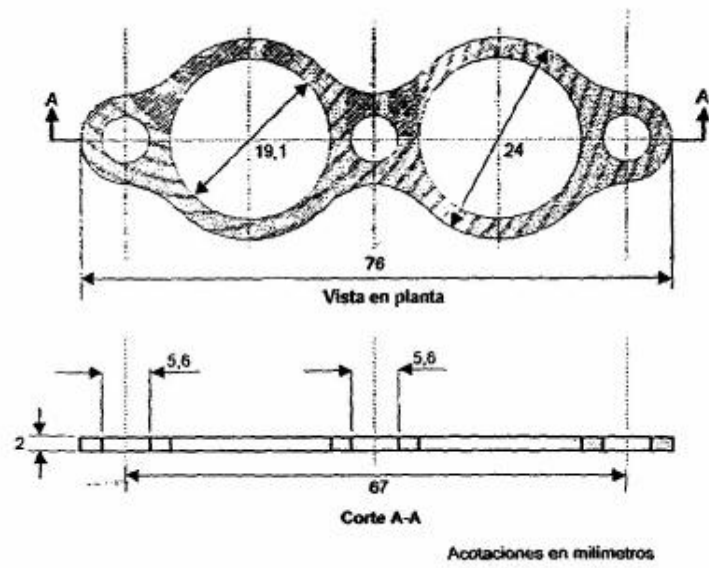


Figura N° 28 Por tornillos para la Prueba de Punto de Ablandamiento.

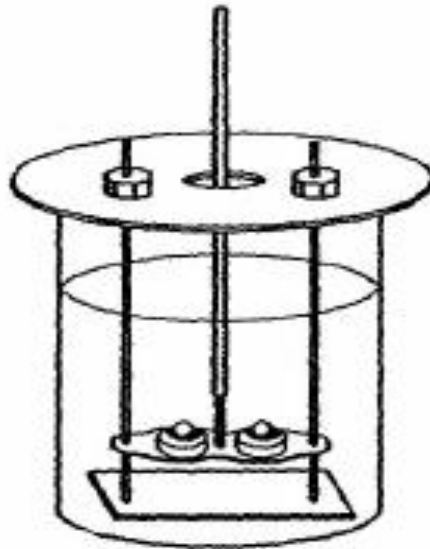


Figura N° 29 Montaje del Sistema de Soporte.

5.2.2.4 Esferas

Dos esferas de acero, de 9.5mm de diámetro y de $3.5 \pm 0.05g$ de masa.

5.2.2.5 Guías

Dos guías de latón para centrar las esferas, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura N° 29.

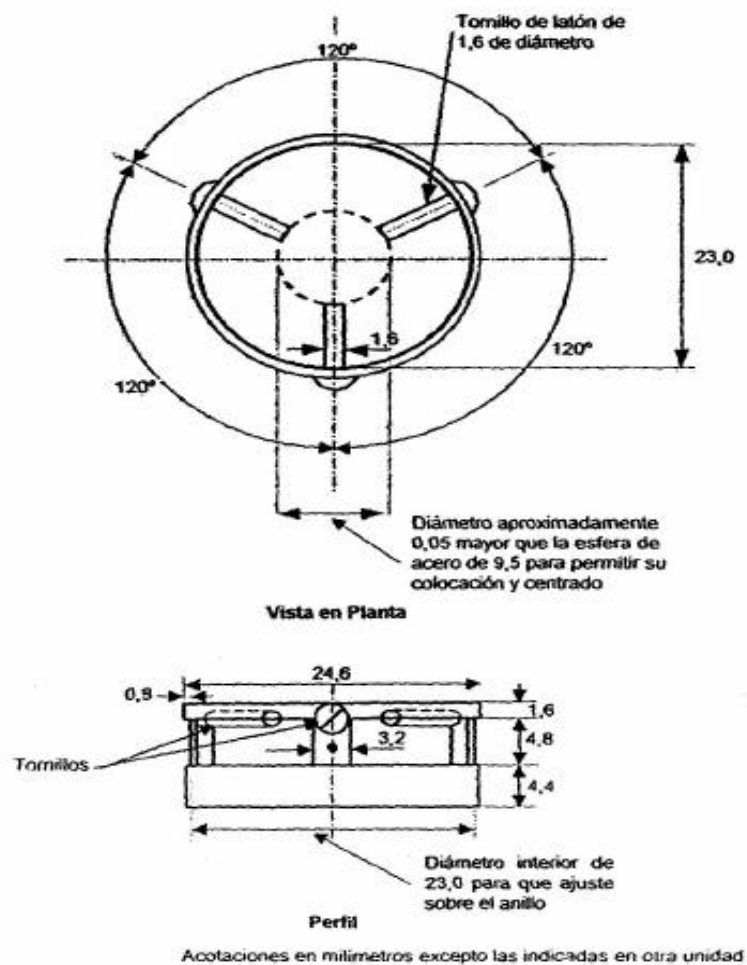


Figura N° 30 Guia para centrar la Esfera.

5.2.2.6 Placa de apoyo

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, de 5 x 10cm como mínimo.

5.2.2.7 Parrilla eléctrica o mechero

Adaptada para controlar la aplicación de calor. Si se emplea un mechero, se debe proteger de las corrientes de aire o de la radiación excesiva, mediante una pantalla que no sobresalga del nivel inferior del vaso.

5.2.2.8 Termómetro

De inmersión total con escala rango de -1 a 175°C y aproximación de 0.5°C .

5.2.2.9 Pinzas

Adecuadas para manejar las esferas.

5.2.2.10 Espátula o cuchillo

De acero flexible, de 15mm de ancho y 150mm de largo.

5.2.2.11 Agua limpia o glicerina

Agua potable cuando se prueben cementos asfálticos con punto de reblandecimiento menor de 80°C o glicerina para temperaturas mayores.

5.2.2.12 Antiadherente.

Aceite o grasa de silicón, una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

5.2.3 Procedimiento

- Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra de prueba, las guías y el termómetro de manera que la parte inferior de su bulbo quede al mismo nivel que la parte inferior de los anillos, sin que toque las paredes del orificio central del porta anillos. Se llena el vaso de vidrio hasta una altura de 10cm, con agua potable a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ si el punto de reblandecimiento esperado es menor a 80°C o glicerina a $30 \pm 1^\circ\text{C}$ si es mayor y con las pinzas se colocan las esferas en el fondo del vaso. Se introduce en el vaso el sistema de soporte y se deja el conjunto durante 15minutos, manteniéndolo a la temperatura indicada para el líquido que se utilice, introduciendo el vaso en agua helada si es necesario.
- Se extrae el sistema de soporte, con las pinzas se colocan las esferas en las guías e inmediatamente se vuelve a introducir en el vaso, quedando el montaje del equipo como se muestra en la Figura N° 28.
- Se coloca el conjunto en la parrilla eléctrica o mechero y se incrementa uniformemente la temperatura del líquido a razón de $5^\circ\text{C}/\text{min}$, con una tolerancia $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en lecturas hechas cada minuto después de los primeros 3 minutos.
- Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte. Las temperaturas registradas no deben diferir en más de 1°C , de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.

5.2.4 Resultados

Se reporta como punto de Ablandamiento el promedio de

las temperaturas registradas como se indica en el último punto del procedimiento, con aproximación de 0.5° C.

5.3 Recuperación elástica por torsión (CEDES NLT – 329 – 91).

5.3.1 Definición

La finalidad de esta prueba es determinar la elasticidad que presentan los cementos asfálticos modificados, en particular con polímeros de aplicación en la construcción de carreteras.

En el procedimiento que se describe, un cilindro de dimensiones especificadas, se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina, después de 30min, el ángulo recuperado por el cilindro.

5.3.2 Equipos

5.3.2.1 Aparato de Torsión.

Un aparato, para imponer un esfuerzo de torsión a la muestra, con las dimensiones y la forma de la Figura N°30, constituido fundamentalmente por un cilindro metálico, semicorona con escala graduada de 0 a 180°, baño de agua y recipiente para la muestra.

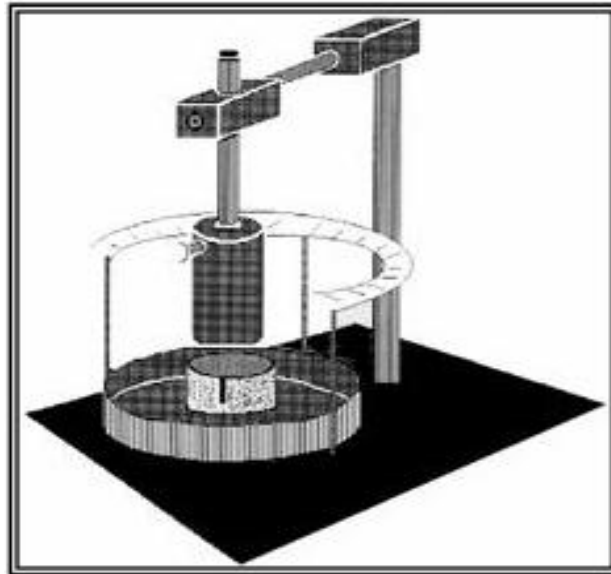


Figura N° 31 Equipo de Torsión

5.3.2.2 Termómetro.

Termómetro para controlar la temperatura del baño de agua, graduado en 0.1°C y escala de 19 a 27°C .

5.3.2.3 Cronómetro para medir tiempos de $30\text{min} \pm 1\text{seg}$.

Material de uso general en laboratorio, estufa, cápsula, varillas, vidrio, espátulas, disolvente, etc.

5.3.3 Procedimiento

- Se adoptan todas las medidas y precauciones necesarias para que la porción de muestra para el ensayo sea representativa de la muestra de laboratorio, que a su vez presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.
- Una cantidad suficiente de la muestra de laboratorio se calienta con cuidado y con agitación continua hasta conseguir una consistencia de la misma.

- Se ajusta el cilindro del aparato por torsión, de forma que su base inferior quede a una distancia de 20mm del fondo del recipiente para ensayo, situado en posición centrada, y ajustado en el resalte, que para tal fin se dispone en el fondo del baño.
- Se transfiere, por vertido, la muestra al recipiente de ensayo en cantidad bastante para enrasarla con la marca gravada que dispone el cilindro a 10mm de su base inferior.
- Se deja enfriar el conjunto recipiente – muestra temperatura ambiente, durante una hora como mínimo. A continuación, se hace circular agua por el baño termostático a temperatura de $25 \pm 0.1^{\circ} \text{C}$ durante al menos 90min, para equilibrar la temperatura del agua del baño y de la muestra. El nivel del agua estará por encima del recipiente.
- Transcurridos los 90min, antes referidos, se introduce el pasador en el alojamiento que a defecto tiene el cilindro, y con su ayuda se hace girar este 180° en sentido de las manecillas del reloj 180 a 0° , en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Inmediatamente se retira de su alojamiento el pasador y después de 30 minutos, $\pm 1\text{seg}$ se procede a la lectura indicada por la varilla sobre la semi-corona graduada. La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.

5.3.4 Resultados

El resultado del ensayo se expresa, como “recuperación elástica por torsión”, en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de 180°.

$$\text{Recuperación elástica por torsión} \quad Re = \quad L \quad \frac{180}{100}$$

Donde L = Ángulo recuperado.

5.4 Recuperación Elástica por Variante del Ductilómetro (ASTM D 6084).

La recuperación elástica de un material bituminoso se determina mediante la tensión recobrada, después de alargar severamente el espécimen de muestra de material. La muestra se estira a una distancia, velocidad y temperatura específica. A menos que se determine otra cosa la prueba debe realizarse a una temperatura de $25 \pm 5^\circ \text{C}$, y a una velocidad de $5 \pm 5.0\%$ centímetros/min. Este método de prueba es útil para confirmar que el material que ha sido añadido a una muestra tiene propiedades elásticas. No necesariamente especifica e identifica el tipo y cantidad agregados.

5.4.1 Equipo

5.4.1.1 Molde.

Debe estar hecho de cobre o latón, las terminaciones “b” y “b”, también conocidas como clips, y las partes “a” y “a’”, como lados del molde.

5.4.1.2 Baño de Agua.

El agua debe mantenerse a la temperatura especificada

para la prueba, no debiendo variar más de 0.1°C. El volumen de agua no debe ser menor a 10lts, la muestra debe sumergirse a una profundidad no menor a 10cm y debe ser soportada por un estante perforado a no menos de 5cm del fondo del tanque.

5.4.1.3 Máquina de Prueba.

Para el alargamiento del espécimen de material asfáltico, se puede utilizar cualquier aparato que mantenga la muestra sumergida en el agua, mientras los dos clips se deben separar a una velocidad uniforme, como se especifica, evitando cualquier vibración. La máquina de pruebas debe contar con algo capaz de medir el alargamiento en centímetros. Figura N° 32

5.4.1.4 Termómetro.

Con un rango de temperatura de -8 a 32° C ó 63° C. En los casos cuando la recuperación elástica de la muestra esta condicionada en la penetración estándar del baño a 25° C, el termómetro recomendado para la prueba es el de 63° C.

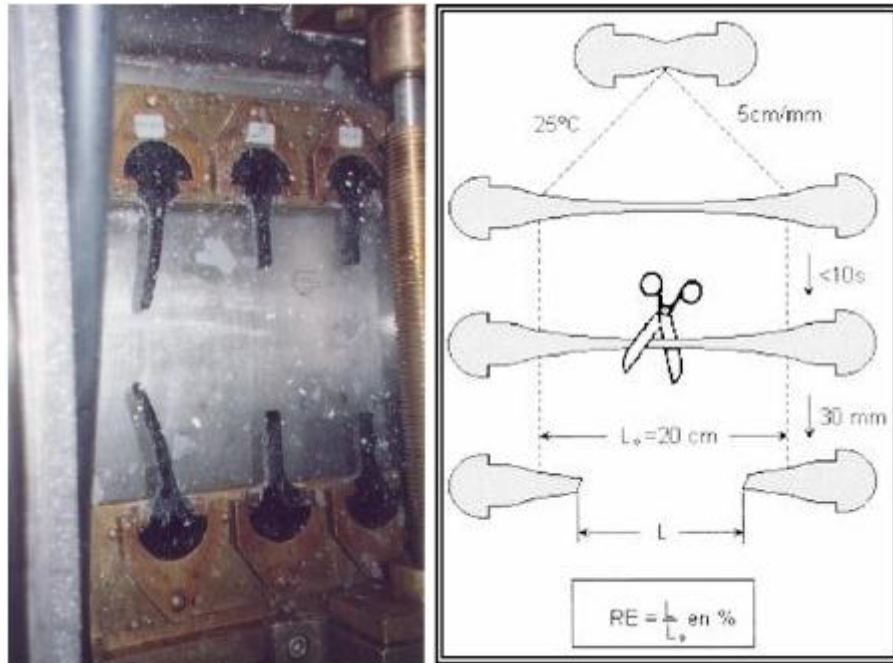


Figura N° 32 Ductilómetro

5.4.1.5 Tijeras.

Cualquier tipo de tijeras convencionales, capaces de cortar el material asfáltico a la temperatura de prueba.

5.4.1.6 Horno.

Capaz de mantener una temperatura de $135 \pm 5^\circ \text{C}$.

5.4.2 Procedimiento

- Ensamble el molde al brazo del plato. Cuidadosamente cubra la superficie del plato y las superficies de los lados a y a' del molde con una capa delgada de glicerina, dextrina, talco o caolín (lodo chino) para prevenir que el material de prueba que se encuentra en el molde rebese el nivel indicado y el fondo del mismo no haga contacto con este. Después de la penetración de la muestra que se indica anteriormente cuidadosamente

agite la muestra y viértala en el molde, teniendo mucho cuidado de no desacomodar las piezas del molde y distorsionar la forma, así mismo cuando se este llenando el molde, tenga cuidado de llenarlo perfectamente no más del nivel llenado. El molde lleno debe dejarse a la temperatura ambiente por 35 ± 5 minutos y entonces pásela al baño de agua a la temperatura de prueba por 30 minutos. Retire la muestra del baño e inmediatamente quite con un cuchillo o espátula el material sobrante para hacer que los moldes queden a nivel de llenado.

- Coloque la muestra recortada y el molde en el baño de agua a la temperatura especificada por 90 ± 5 minutos antes de efectuar la prueba. Retire las muestrasliterales a y a', siendo cuidadoso en no distorsionar o fracturar la muestra. Retire la muestra del plato en una acción de corte entre la muestra y el plato, quitando cualquier deformación. Ponga la muestra en la máquina de prueba e inmediatamente inicie la prueba.
- Prueba. Ponga los anillos a cada terminación de los clips, de los pins o ganchos en la máquina de prueba y jale los dos clips a una velocidad uniforme para el alargamiento de $10 \pm 0.15\text{cm}$, a menos que se especifique otra cosa. Una variación de $\pm 5\%$ de la velocidad es permisible. Pare el alargamiento e inmediatamente corte la muestra en dos, a la mitad, con la ayuda de las tijeras. Permita que la muestra repose a la temperatura especificada por un espacio de 60min. Con cuidado mueva el carrete de viaje hasta el final donde apenas toque la muestra. Si el final de la muestra se encuentra más bajo, con mucho cuidado levántela al nivel original

donde se pueda tocar. Registre la longitud total de la muestra midiéndola con los topes finales. Mientras se realiza la prueba, el agua en el tanque de la máquina de prueba debe cubrir perfectamente la muestra tanto arriba como por debajo de ella, por un mínimo de 2.5cm, y debe conservarse continuamente a la temperatura especificada entre 0.5° C.

- Si el material bituminoso se pone en contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, la prueba no puede ser considerada normal. Ajuste la densidad, apártela del líquido del baño añadiendo alcohol etílico o clorato de sodio de manera que el material bituminoso no toque la superficie o el fondo.

5.4.3 Reporte

- Calcule el porcentaje de recuperación de la siguiente forma:

$$\text{Recuperación \%} = \frac{E - X}{X} 100$$

- Si la muestra se fractura antes de obtener la medida específica de alargamiento, la prueba no puede considerarse como normal.
- Si no se obtiene una prueba normal después de tres intentos de realizarla, se debe reportar como no obtenida bajo las condiciones de prueba.

5.5 Comparación Técnica y Económica

Tabla N° 07 Cuadro comparativo de los Resultados Ensayados en el Laboratorio

| PRUEBA | ASFALTO CONVENCIONAL | ASFALTO MODIFICADO | UNIDADES |
|---|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| Penetración 100 gr., 5 seg., 25°C | 77 | 58 | mm |
| Penetración 200 gr., 60 seg., 4°C | 5 | 28 | mm |
| Recuperación Elástica por Ductilómetro 25°C | 10 | 85 | % |
| Recuperación Elástica por Torsión 25°C | 3 | 40 | % |
| Punto de Ablandamiento | 47 | 66 | °C |

Comparación Económica

Longitud: 1 km.

Ancho: 7.20 m.

Espesor: 2" (0.05 m)

Volumen

$$1000 \times 7.20 \times 0.05 = 360 \text{ m}^3$$

$$360 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ 000 kg.}$$

Cantidad de Asfalto (Aproximadamente 6% del peso de la mezcla)

$$360 \text{ 000} \times 0.06 = 21 \text{ 600 kg.}$$

Asfalto en litros

$$21 \text{ 600} / 1.03 = 20 \text{ 970.8 litros}$$

Cantidad de Galones

$$20\ 970 / 3.75 = 5\ 592.2 \text{ Galones}$$

Costo del Asfalto RC – 70 (s/. 6.90)

$$5\ 593 \times 6.90 = \text{s/. } 38\ 591.7$$

Asfalto Modificado

Costo del Caucho

$$1 \text{ kg.} = \$. 0.6$$

$$\$ 0.6 \times 3.29 = \text{s/. } 1.97$$

Cantidad de caucho (20%)

$$21\ 600 \times 0.2 = 4\ 320 \text{ kg.}$$

Costo del Caucho Reciclado de Llantas

$$4\ 320 \times 1.97 = \text{s/. } 8\ 510.4$$

Cantidad de Azufre

$$21\ 600 \times 0.015 = 324 \text{ kg.}$$

Costo del Azufre

$$1 \text{ kg} = \$. 1.50$$

$$1.50 \times 3.29 = \text{s/. } 4.93$$

$$21\ 600 \times 4.93 = \text{s/. } 1\ 597.3$$

COSTO TOTAL

$$8\ 510.4 + 1\ 597.3 = \text{s/. } 10\ 107.3$$

Costo expresado en Porcentaje

$$(10\ 107.3 \times 100) / 38\ 591.7 = 26.2\%$$

Nota: El costo del Asfalto Modificado resulta ser 26.2 % más que el convencional, pero se compensa con la mayor durabilidad de la vía y el menor costo en mantenimiento.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Si en su proceso de mezclado en caliente, en los que se emplea de manera convencional: cemento asfáltico, agregados, en temperaturas del orden de los 150 a 180 °C, se le agrega polvo de llantas usadas, el producto resultante, de acuerdo a las experiencias realizadas, se puede mejorar la calidad de la mezcla asfáltica, reducir la contaminación ambiental, al darle utilidad a los neumáticos desechables, así como aumentar la resistencia de la carpeta asfáltica, resistencia a las deformaciones, así como a los esfuerzos de tensión repetida, reducir los agrietamiento y alargar el tiempo de servicio de las vías.

Bajo esas premisas, hemos realizado ensayos de laboratorio y cuyos resultados, contenido en la presente Tesis, demuestran que es posible emplear, dicho procedimiento en nuestro país, en donde aún no se ha aplicado, posibilitando con ello el mejoramiento de las condiciones viales de nuestra red caminera, cuyos costos de mantenimiento se tornan elevados, debido a las temperaturas cambiantes y otras condiciones climatológicas, las que deterioran tempranamente nuestros pavimentos.

Por otro lado, también hemos comprobado que las técnicas de producción y aplicación del polvo de llanta es un procedimiento sencillo y que la materia prima es abundante en nuestro país a costo cero, puesto que las llantas usadas son desechadas.

Finalmente, podemos señalar que la hipótesis de la investigación que nos propusimos lograr, luego de haber realizado los ensayos, sus resultados ratifican que nuestro planteamiento inicial fue correcto, siendo por lo tanto positivo y de potencial aplicación en los trabajos de pavimentación, por lo que exhortamos su aplicación y empleo en la pavimentación, por las bondades de esta nueva tecnología.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

- Queda demostrado mediante los ensayos realizados que la adición del polvo de llantas mejora el comportamiento físico-mecánico del asfalto convencional RC-70, usado en esta tesis.
- La adición de polvo de llantas mejora la resistencia a la deformación plástica de una mezcla asfáltica. Esto se observa en el comportamiento del RC - 70 en la recuperación elástica por torsión, siendo el asfalto modificado 37 % más recuperable que el convencional.
- La disminución de la susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica modificada se refleja en las propiedades físico-mecánicas del RC - 70, específicamente el punto de ablandamiento aumenta hasta 19°C más y la penetración a 25° C disminuye en 19 mm menos.
- Cuando se utilizan el caucho reciclado de llantas en la mezcla asfáltica, el punto de ablandamiento aumenta, garantizando que el asfalto tendrá un buen desempeño trabajando a altas temperaturas.
- El uso de mezclas modificadas no altera los procedimientos usados normalmente en los trabajos de pavimentación.
- Quedan expuestas las ventajas físico-mecánicas del asfalto modificado con polvo de llanta y además las ventajas económicas a largo plazo que se encuentran en el mantenimiento y tiempo de servicio de la carpeta asfáltica.

CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES

- Es recomendable aplicar esta nueva técnica a la pavimentación de carreteras, debido a que se pueden disminuir los espesores de la capa de rodadura y la capacidad estructural de ésta sigue siendo la misma; además de disminuir costos en el mantenimiento preventivo.
- Es recomendable observar la temperatura de compactación de la mezcla modificada, se deben evitar temperaturas menores a 180°C. De lo contrario la mezcla se vuelve muy viscosa por lo tanto no es trabajable.
- Capacitar a todo el personal involucrado en el manejo de mezcla asfáltica modificada a efecto de optimizar el proceso de aplicación.
- Educar a los transportistas sobre la importancia de mantener la mezcla modificada tapada hasta el momento de descarga.
- Capacitar a los miembros de las entidades gubernamentales sobre las ventajas de este tipo de mezcla.

CAPITULO XI: BIBLIOGRAFÍA

- Cárdenas Grisales, J. (2002), *Diseño Geométrico de Carreteras*, (1°.ed.). Colombia: ECOE Ediciones.
- García Martínez, A (1990), *Modificación de Cementos Asfálticos*, (1°.ed.).México: Proyectos, Asesoría y Control de calidad
- Alfonso Montejo, F (2002), *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*, (2°.ed.). Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Reyes Lizcano, F (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*, (1°.ed.). Colombia: CEJA.
- Rivera, G (1987), *Emulsiones Asfálticas*, (3°.ed.). México: Representaciones y Servicios de ingeniería.
- Rodríguez Rico, H. (1990), *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*, (3°.ed.). México: Limusa.
- Salgado Torres, M. (2002), *Tecnología del Asfalto*, (1°.ed.). México: Mac Graw Hill.
- Texto Guía (2004), *Carreteras II*.
- Rafael, L. (2004), *Determinación de la calidad de los asfaltos modificados en campo*, México: Asociación Mexicana del Asfalto.

ANEXO
FICHA TÉCNICA
ASFALTO LÍQUIDO RC - 70

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

| CLASE DE PRODUCTO | | ASFALTO LÍQUIDO | | <i>Fecha efectiva:</i> Enero 2014 | |
|--|--|--------------------------------------|--------|--|--|
| TIPO DE PRODUCTO | | ASFALTO LÍQUIDO CURADO RÁPIDO | | <i>Reemplaza edición de:</i> Noviembre 2007 | |
| NOMBRE DE PRODUCTO | | | | | |
| ASFALTO LÍQUIDO RC-70 | | | | | |
| ENSAYOS | ESPECIFICACIONES (a) | | MÉTODO | | |
| | MIN. | MAX. | ASTM | AASHTO | |
| FLUIDEZ | | | | | |
| Viscosidad cinemática a 60°C, cSt | 70 | 140 | D-2170 | T-201 | |
| DESTILACIÓN | | | | | |
| Total destilado hasta 360°C, %V | | | D-402 | T-78 | |
| a 190°C | 10 | | | | |
| a 225°C | 50 | | | | |
| a 260°C | 70 | | | | |
| a 316°C | 85 | | | | |
| Residuo de destilación a 360°C, %V por diferencia | 55 | | | | |
| Pruebas sobre el residuo de la destilación | | | | | |
| Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm ó | 80 | 120 | D-5 | T-49 | |
| Viscosidad absoluta a 60°C, poises | 600 | 2400 | D-2171 | T-202 | |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm | 100 | | D-113 | T-51 | |
| Solubilidad en tricloroetileno, % masa | 99,0 | | D-2042 | T-44 | |
| CONTENIDO DE AGUA, % V | | 0,2 | D-95 | T-55 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| REQUERIMIENTO GENERAL: | El asfalto líquido debe presentar un aspecto homogéneo y sin grumos antes de ser usado y no debe formar espuma cuando es calentado a la temperatura de aplicación. | | | | |
| OBSERVACIONES: | | | | | |
| (a) En concordancia con la Norma Técnica Peruana NTP 321.027 y con los estándares ASTM D 2028 y AASHTO M-81. | | | | | |

PETROPERÚ ... LA ENERGÍA QUE MUEVE TU MUNDO