

CAPÍTULO 1

EL ASFALTO

1.1 Orígenes del asfalto

Como se explica en el manual del Instituto del Asfalto, el asfalto es uno de los componentes ingenieriles más arcaico utilizado desde los inicios del hombre para la construcción. Fue en Egipto, aproximadamente en el año 2500 a.c. que el asfalto fue descubierto; es una palabra cuyo vocablo que deriva del acadio “Sphalto” que significa “que deja caer”, este término se utilizaba en Asiria entre los años 1400 y 600 a.c., tiempo después esta palabra fue adoptada por los griegos, quienes le otorgaron el significado de “que rigidiza o estabiliza, y finalmente evolucionó al latín y después al francés (Asphalte) y al español (Asfalto), hasta llegar al inglés (Asphalt).

En el antiguo mundo el asfalto era utilizado como mortero para la pega de bloques en la construcción, en la realización de pavimentos interiores y como impermeabilizante en la industria naval y numerosas aplicaciones más. Como ejemplos históricos de ello se encuentran: la industria naval que producía y utilizaba el asfalto en Sumeria cerca de los 6000 a.c., el uso del asfalto como mortero en la construcción de las Torres de Babel y la utilización como material impermeable que le daban los egipcios al igual que como material de relleno del cuerpo humano en el proceso de momificación.

En aquel entonces era común encontrar asfalto natural depositado en estanques y lagos de asfalto, así como en piedras porosas como la caliza y la arenisca (piedras conocidas también como “piedras asfálticas”). Esto se explica debido a las fuerzas geológicas que provocaron el ascenso del asfalto a la superficie y al hacer contacto este con los elementos de la atmósfera provocaban su endurecimiento, ejemplo de esto son los depósitos del lago de asfalto de Trinidad, el cual se encuentra en la isla del mismo

nombre en la Costa Septentrional de Venezuela. Sin embargo, en la actualidad el asfalto que se utiliza es artificial y se deriva del petróleo.

El asfalto refinado comenzó a utilizarse hace casi doscientos años como sustituto del asfalto natural debido a que este último sólo se encontraba en lugares apartados y su reología no era tan buena, ya que su contenido malténico al calentarse se evaporaba con rapidez y se endurecía con mucha facilidad. Al mismo tiempo, la industria automotriz empezó a expandirse por lo que una nueva industria llegó para mejorar las condiciones de las carreteras proporcionándoles texturas más suaves y diseños más modernos, por lo que el asfalto comenzó a verse como un producto industrial barato e inagotable; fue así como se inició el uso del asfalto en la construcción de las carreteras.

A principios del siglo XIX, sus aplicaciones se enfocaron en el ámbito de las vías terrestres, por lo que fue en 1802 cuando se utilizaron por primera vez en Francia rocas asfálticas como material para la construcción de banquetas, y en Filadelfia se utilizaron en 1838, pero la evolución del asfalto y su aplicación en las vías terrestres se dio en 1870 en Newark, New Jersey, cuando se construyó el primer pavimento de asfalto en el mundo.

Conforme la industria de las mezclas asfálticas iba en ascenso, comenzaron a surgir nuevas investigaciones para conocer el comportamiento de los asfaltos por medio numerosas pruebas que fueron desarrollándose. En 1925, Prevost Hubbard desarrolló uno de los primeros métodos de evaluación para determinar el Gmb (Propiedad física de una mezcla asfáltica compactada) con el fin de simular el comportamiento de ésta en campo.

Cinco años más tarde, Francis Hveem desarrolló un método de evaluación para evitar el sangrado por exceso de asfalto en una mezcla asfáltica compactada y también obtener una mezcla más estable. Al mismo tiempo, Bruce Marshall desarrolló uno de

los métodos más importantes de la historia, el cual determina la cantidad óptima de asfalto y de densidad que debe tener una mezcla asfáltica compactada para resistir las cargas transmitidas por los vehículos hacia la estructura.¹

1.2 Cemento Asfáltico

La ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como “un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfaltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo”.²

El asfalto posee características tanto químicas como físicas, que son los elementos que le proveen todas sus particularidades y hacen de éste el producto esencial que es hoy en la industria de la construcción. Este cementante contiene tres importantes propiedades químicas: consistencia, pureza y seguridad, donde la primera se debe a su habilidad para fluir a diferentes temperaturas, esto en razón a que el asfalto es un material termoplástico, es decir, se fluidifica a altas temperaturas. La segunda define la composición química del asfalto, donde las impurezas de éste, son prácticamente inertes. La tercera precisa el comportamiento de afinidad química con las diferentes cargas eléctricas. De la misma manera, dentro de su composición química contiene características de aglutinación, esto debido a su constitución principalmente de asfaltenos y maltenos, (Fig.1.1) que son los elementos que le proporcionan dichas particularidades; este último define la capacidad del asfalto para ser manejado a altas temperaturas con seguridad.

Asimismo, el asfalto posee las siguientes propiedades de reología físico-mecánicas, mismas que son determinantes para calificar la capacidad de un asfalto:

¹ Asphalt Institute. (1989). *The Asphalt Handbook, Manual Series No.4*, U.S. Library of Congress, Washington, D.C.

² Asphalt Institute. (1993). *Superpave, Performance graded asphalt binder specifications and testing superpave series No. 1 (SP-1)*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. (Pag.1)

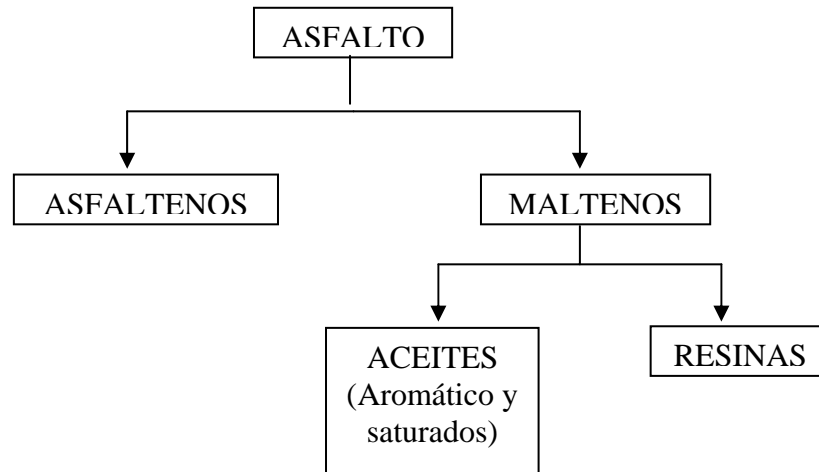


Figura 1.1 Conformación del Asfalto.³

- a) *Viscosidad*: Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan mayor resistencia a fluir en comparación de un fluido con baja viscosidad que fluye con facilidad. Es importante mencionar que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; a mayor temperatura, menor viscosidad.
- b) *Elasticidad*: Propiedad que tienen los materiales para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los modifica.
- c) *Resistencia al corte*: Es la capacidad de resistencia a altas temperaturas, la cual se determina con un “reómetro de corte dinámico”, que es el aparato que imprime una fuerza cortante cosenoidal con la que se miden dichas resistencias.
- d) *Ductilidad*: Es la capacidad de disipación de energía que tiene un material dentro de su rango plástico. La rotura del material es dependiente de la deformación del mismo. En el caso del asfalto, la ductilidad le permite normalmente tener mejores propiedades aglomerantes, y los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.

³ Asfáltica Revista Técnica No. 8, Enero 2007, Pág. 48.

e) *Pérdida de masa*: Es la pérdida de solventes o ligeros (máximo 0.8% en prueba RTFO).

Como se mencionó anteriormente, el asfalto refinado utilizado hoy en día proviene de la refinación del petróleo crudo, que es producto constituido por materia orgánica que se generó de manera natural al estar expuesto a extremas variaciones de presión y temperatura durante millones de años; es la parte pesada del petróleo crudo, por lo que el asfalto no se evapora con la destilación del crudo, por ello es obtenido como residuo del proceso de refinación.

Dicho producto en su forma natural no cuenta con función alguna como tal, es por eso que se le somete a un proceso de refinación con el cual se convierte la energía primaria (petróleo crudo) a energía secundaria (distintos combustibles), con el fin de separar y obtener diversos hidrocarburos del mismo, para así adecuarlos a las necesidades de la sociedad. Este proceso consiste en extraer el petróleo de los pozos para luego ser sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas (Fig.1.2) de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas, dejándolo libre de materias orgánicas y otros minerales, no obstante, esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla de estructuras químicas complejas.

A continuación se explica el proceso de refinación del petróleo según una investigación realizada por la Universidad Latina de Costa Rica:

“Actualmente más del 90% de los asfaltos utilizados como ligantes en las mezclas asfálticas son producidos por la destilación fraccionada del crudo. Este proceso de destilación fraccionada o refinación del crudo comienza con su llegada en tanques cilíndricos, desde donde es bombeado a

las unidades de destilación primaria, después de la deshidratación y desalación.

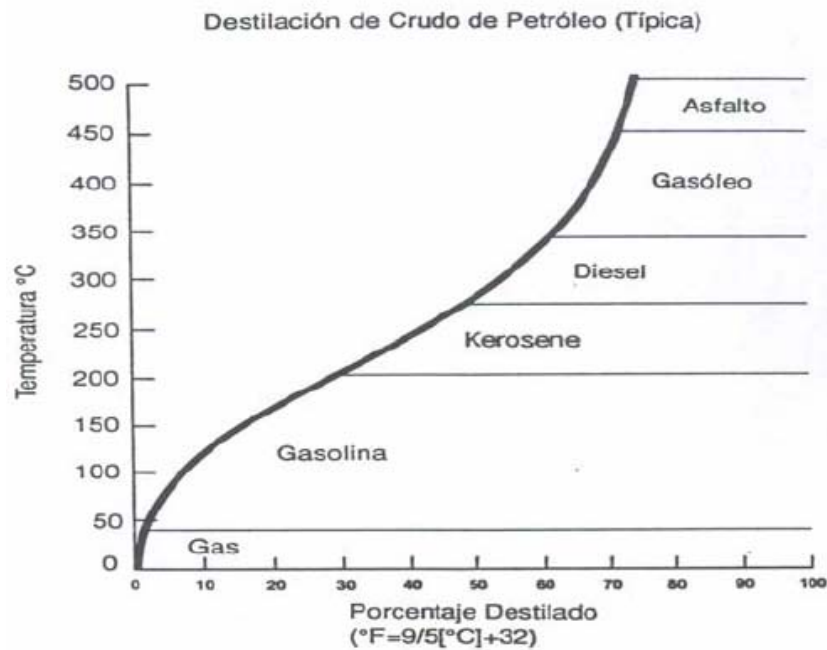


Figura 1.2 Productos y Temperaturas de Destilación.⁴

El petróleo se hace circular por el interior de un horno alcanzando elevadas temperaturas, donde se vaporiza parcialmente para luego pasar a la torre atmosférica, en la cual, por diferencia de temperaturas de condensación (punto inicial y punto final), se obtiene las fracciones más livianas, como los gases de cima, la nafta, el JP-A (combustible para avión), el queroseno y el gasóleo atmosférico. Los elementos más volátiles alcanzan los niveles más altos del las torres y los más pesados no logran ascender. El crudo residual constituido por los componentes más pesados del petróleo y que no se lograron vaporizar a estas condiciones de presión y temperatura, pasan a una destilación al vacío donde se recuperan los gasóleos de vacío. En el fondo de la torre de vacío, se obtienen los residuos finales de esta destilación; que se conoce con el nombre de fondos de vacío. Si las características del crudo de alimentación son adecuadas, estos fondos de vacío son empleados

⁴ Maxil Coyopotl, Roberto y Salinas Hernandez, Marco A. (2006). *Ventajas y Desventajas del uso de polímeros en el Asfalto.*, Tesis de licenciatura, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de las Américas-Puebla. Pag. 7

directamente como asfalto para pavimentación; en caso contrario, el fondo es sometido a otros procesos. Se somete a tratamiento con disolventes de desasfaltado donde se extraen un poco más de gasóleos."⁵

En pocas palabras, el asfalto refinado es el residuo de la refinación del petróleo crudo, en otras palabras, es el último de los componentes obtenidos en el proceso de refinación del mismo. Sin embargo, de acuerdo con el Manual del Instituto del Asfalto, el total existente de asfalto refinado en el mundo no está compuesto únicamente por asfalto ya que de igual manera se encuentran variaciones de acuerdo con el contenido del mismo, por lo que éstos se clasifican en:

- a) Petróleos crudos de base asfáltica.
- b) Petróleos crudos de base parafínica.
- c) Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto refinado resulta ser de gran relevancia en el ámbito de las estructuras viales, no obstante, el asfalto derivado de crudos de base parafínica afecta las propiedades físicas provocando pérdida de ductilidad, a diferencia de los asfaltos de base asfáltica que tienen una composición diferente. Estos últimos son propios para la industria de la construcción de pavimentos pues reflejan las siguientes características:

- a) Impermeabilización del pavimento, anulando cualquier entrada de agua proveniente de la lluvia.
- b) Aumenta la resistencia de carga de la estructura del pavimento permitiendo reducir su espesor.
- c) Provee una fuerte acción de adherencia entre los agregados, lo que permite

⁵ Arqhys. 18 de marzo 2007. Funciones del Asfalto. Costa Rica.
Véase: <http://www.arqhys.com/arquitectura/asfalto-funciones.html>

evitar el desgranamiento de la carpeta provocado por la acción de cargas transmitidas por vehículos.⁶

1.3 Comportamiento físico-mecánico del asfalto

El comportamiento del cemento asfáltico está basado en su naturaleza visco-elástica; entonces, la conducta del mismo está en función tanto de las condiciones de carga como de la temperatura. Asimismo, tal conducta también depende del envejecimiento del asfalto. Como se muestra a continuación en la figura 1.3, las altas temperaturas en un corto periodo de tiempo, son directamente proporcionales a lo que ocurre a bajas temperaturas en un largo periodo de tiempo.

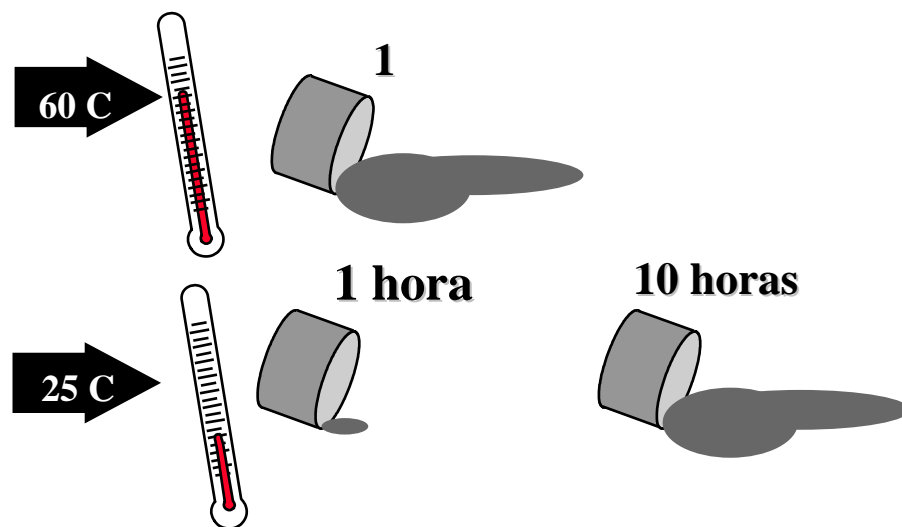


Figura 1.3 Conducta Visco-Elástica.⁷

1.3.1 Reacción del Asfalto ante Altas Temperaturas

El cemento asfáltico expuesto a temperaturas extremadamente calurosas, como los desiertos, o a condiciones de velocidad y cargas sostenidas, como un trailer a velocidad lenta, puede comportarse como un líquido viscoso, por esta razón que se le considera un fluido Newtoniano, puesto que hay una conducta lineal entre la fuerza de resistencia

⁶ El Prisma. 01 de Marzo de 2007. Asfalto – Introducción. México.
Véase: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/asfalto/

⁷ Elaboración propia.

y la velocidad relativa.

A los líquidos viscosos como el cemento asfáltico también se les conoce como “Plásticos”, ya que una vez que comienzan a fluir pierden su forma y jamás la recuperan, es por esta razón que cuando aplicas este tipo de mezclas en caliente sobre todo en un día caluroso, ésta tiende a fluir bajo el tránsito vehicular y el peso del mismo, en pocas palabras su conducta es la de un plástico, lo que puede ocasionar roderas y movimiento de las intersecciones. Al mismo tiempo que pierde adherencia entre el agregado y el asfalto, lo cual puede ocasionar un desprendimiento de la carpeta asfáltica.

1.3.2 Reacción del Asfalto ante Bajas Temperaturas

Como ya se mencionó en el inciso anterior, las condiciones de climatológicas pueden llegar a afectar el comportamiento del cemento asfáltico, en este caso al ser expuesto a temperaturas extremadamente bajas, o al ser expuesto al tráfico pesado a una alta velocidad generando cargas repetitivas, tiende a comportarse como un sólido elástico, contrario a los líquidos “plásticos” que se comentaron con anterioridad, y con la diferencia de que estos tienen la capacidad para recuperar su forma original una vez que la carga se ha desplazado, pero si se excede la capacidad de carga, los sólidos líquidos no se expandirán simplemente se fracturaran.

Para comprender esto mejor, se debe decir que las tensiones internas que sufre el asfalto se acumulan en el pavimento en el momento en el que este intenta contraerse, al mismo tiempo que es detenido por la subcapa de la estructura del camino, por lo que se forman hendiduras transversales en la superficie de la misma debido al cambio de temperatura; es por esta razón que esta mezcla se considera frágil.

1.3.3 Reacción del Asfalto a Temperatura Ambiente

Cuando el cemento asfáltico se encuentra a temperatura ambiente, la capa asfáltica tiende a comportarse de las dos formas descritas anteriormente, líquida plástica y sólida elástica, lo cual permite que el asfalto tenga una buena adherencia con el agregado. Por otro lado esto explica el buen funcionamiento de éste, porque utiliza las ventajas de ambos estados, por un lado al calentarse se fluidifica cubriendo el agregado, formando así una mezcla. Después una vez que el asfalto se enfría, este trabaja como ligante uniendo al agregado formando una mezcla sólida, la cual, en su estado final se comporta de manera visco-elástica.

Lo anterior puede ser explicado haciendo uso del resorte-amortiguador de aire mostrado en la figura 4. Cualquier fuerza ejercida en el asfalto causa una reacción paralela en el resorte y el amortiguador de aire. En la mezcla en caliente, el resorte representa la respuesta elástica inmediata del asfalto y del agregado. El amortiguador de aire simboliza la reacción más lenta y viscosa del asfalto, particularmente en temperaturas más calientes.

1.3.4 Envejecimiento del Asfalto

La “oxidación” es una reacción química del asfalto cuando éste entra en contacto con el ambiente, la cual afecta al cemento asfáltico ocasionando que se vuelva más frágil, ya que existe un endurecimiento excesivo de la carpeta. Y a pesar de que esta reacción generalmente se da en forma lenta, ésta puede acelerarse cuando el asfalto está expuesto a altas temperaturas. Por otro lado las carpetas asfálticas con un número considerable de años, por no llamarlas antiguas, o las que sufrieron una mal compactación son candidatas perfectas para presentar oxidación, la primera por el deterioro, y la segunda

por que al estar mal compactada sufre un mayor porcentaje de vacíos, lo cual genera una mayor penetración del oxígeno en la mezcla.

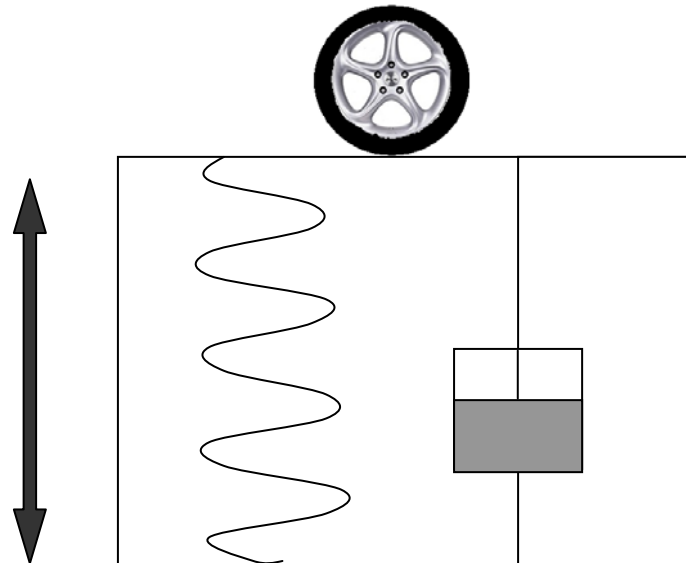


Figura 1.4 Modelo de Comportamiento Visco-Elástico.⁸

Estas reacciones del cemento asfáltico ante las distintas temperaturas descritas anteriormente son conductas generales para cualquier asfalto, sin embargo, estas pueden variar según la capacidad de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mismo para mejorar su comportamiento.

Cabe mencionar que esta investigación sólo se enfoca en las mejoras que puede presentar el asfalto aditivado especial que se está estudiando con respecto a las conductas generales ya antes mencionadas.

1.4.1 Clasificación de los materiales asfálticos

Como se mencionó anteriormente, los productos asfálticos para pavimento se obtienen de la refinación del crudo en la torre de vacío, estos son:

- a) *Asfaltos rebajados*: Materiales asfálticos líquidos compuestos por asfalto y un solvente, utilizados regularmente en la elaboración de carpetas de mezclas en frío e

⁸ Elaboración propia.

impregnaciones. Actualmente son considerados peligrosos para el medio ambiente debido a que el solvente se evapora al esparcirlo en el pavimento.

b) *Emulsiones asfálticas*: Materiales asfálticos líquidos estables, compuestos por la unión de agua y asfalto a través de una solución jabonosa.

c) *Asfaltos sopladados con aire*: Son asfaltos sometidos a un tratamiento de soplado de aire a altas temperaturas para proporcionar ciertas características deseadas para la realización de ciertos trabajos como aplicaciones hidráulicas, material para techar, etc.

d) *Asfaltos AC*: Son los cementos asfálticos obtenidos del proceso de destilación del petróleo. También se les conoce como asfaltos no modificados.

e) *Asfaltos modificados*: Son los cementos asfálticos combinados con algún polímero para mejorar las propiedades físicas de éste.

Es preciso aclarar que debido al enfoque de esta investigación sólo se centra la atención en los últimos dos, siendo éstos, los asfaltos seleccionados para el proyecto de diseño.

1.4.1 Asfaltos no modificados

Los asfaltos no modificados son el primer tipo de asfalto utilizado desde el siglo pasado en el diseño de pavimentos. Años atrás, de acuerdo con la norma AASHTO-M20, el asfalto se clasificaba en cinco grados estándares de consistencia obtenidos de la prueba de penetración: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300, donde los números indicaban el valor de penetración permitido por grado, e iban en un rango de mayor a menor en el orden aquí presentado.

Actualmente, la prueba de penetración se ha vuelto un método empírico

extemporáneo, dejado atrás por el gran avance de la tecnología. En su lugar, la prueba de viscosidad se ha vuelto fundamental para la clasificación de los asfaltos, misma que los ha graduado según su viscosidad, la cual se mide en poises a 60°C de temperatura. Esta clasificación, según la norma AASHTO-M226, está dividida en dos series de grados: la primera consiste en grados de AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-40 y a veces AC-30, donde la numeración indica la viscosidad en cientos de poises a 60 °C, con un margen de error de ± 20 , y que va de mayor a menor. La segunda, consiste en grados de AR-1000, AR-2000, AR-4000, AR-8000 y Ar-16000, donde la numeración indica la viscosidad en poises pero después de que el asfalto ha sido sometido a la prueba de RTFO, con un margen de error de ± 25 .

1.4.2 Asfaltos modificados

Los asfaltos modificados surgen de la inquietud de proveer mejoras a los cementos asfálticos existentes en sus propiedades físicas con el fin de desarrollar una gama más amplia de productos, tal que su aplicación sea más eficaz bajo diferentes condiciones desfavorables de servicio.

Ante esta situación, se pensó en hacer uso de agentes externos que pudieran darle al asfalto las propiedades necesarias para competir contra condiciones adversas; entonces, surgió la combinación de asfaltos aditivados. No obstante que son muchos los aditivos existentes actualmente, el más común es el polímero.

Después de haber conversado con varios de los laboratorista de la empresa SMM, se dedujo que las ventajas que brinda el asfalto modificado con polímero son:

- a) Mayor resistencia a las deformaciones a altas temperaturas, menor susceptibilidad a la formación de roderas.
- b) Menor rigidez ante bajas temperaturas, resistiendo así la formación de grietas

térmicas, esto debido a la red de polímeros que contrarresta el efecto de agrietamiento.

c) Mejora la adherencia y daño por humedad, resistiendo así problemas de desgranamiento o desprendimientos.

d) Mayor elasticidad que mejora la resistencia al agrietamiento por fatiga; son capaces de disipar los esfuerzos aplicados y recobrar su forma original.

e) Reduce la exudación del asfalto.

f) Mayor duración de la mezcla; alarga la vida útil de la mezcla.

g) Mayor cohesión, trabajabilidad y compactación.

h) Reduce costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica en el tiempo.

Asimismo, de acuerdo con el M.I. Javier Cruz, este producto presenta las siguientes desventajas:

a) Mayor temperatura en el tendido de la mezcla ($150^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$), esto debido a las propiedades físicas del polímero.

b) Mayor temperatura durante la compactación ($150^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$), por las mismas razones expuestas en el punto anterior.

c) Envejecimiento prematuro del asfalto debido a las altas temperaturas ($> 180^{\circ}\text{C}$) a las que es elaborada la mezcla; esto ocasiona una pérdida de color en ésta, dando así, una mala presentación de la misma, sin afectar sus propiedades físicas.

d) Limpieza de tuberías de la planta en caliente cada que se termine la jornada de trabajo.