

INDICE

CAPITULO I ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1.- Introducción.....	1
1.2.- Justificación del Proyecto.....	2
1.3.- Objetivos Generales.....	5
1.3.1.- Objetivos específicos.....	6

CAPITULO II CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1.- Mezcla asfáltica.....	7
2.2.- Comportamiento del ligante asfáltico.....	7
2.3.- Comportamiento del agregado mineral.....	10
2.4.- Características de las mezclas asfálticas.....	15
2.5.- Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes.....	16
2.6.- Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.....	18

CAPITULO III COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFLATICAS

3.1.- Deformación permanente.....	20
3.2.- Fisuración por fatiga	24
3.3.- Figuración por baja temperatura.....	28
3.4.- Deterioros de las mezclas asfálticas.....	30
3.5.- Deterioros de la superficie.....	31
3.5.1.- Desprendimientos.....	31

3.5.2.- Alisamientos.....	35
3.5.3.- Exposición de los agregados.....	37
3.6.- Deterioros de la estructura.....	38
3.6.1.- Deformaciones.....	38
3.6.2.- Agrietamientos.....	42
3.7.- Deterioros por defectos constructivos.....	46

CAPITULO IV FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD

4.1.- Factores que afectan la durabilidad.....	47
4.1.1.- Evaporación de los componentes volátiles.....	47
4.1.2.- La acción química del oxígeno de la atmósfera.....	50
4.1.3.- El endurecimiento por envejecimiento.....	50
4.1.4.- La polimerización producida por los cambios químicos en el asfalto.....	51
4.2.- Proceso que conducen al envejecimiento de los asfaltos.....	51
4.3.- Procedimiento de envejecimiento del asfalto.....	52
4.4.- Comportamiento de los ligantes y mezclas asfálticas.....	57

CAPITULO V RECUPERACIÓN DEL ASFALTO ENVEJECIDO

5.1.- Técnicas para modificar asfaltos envejecidos.....	59
5.2.- Cambio de propiedades en el ligante asfáltico.....	61
5.3.- Proceso constructivo del asfalto envejecido modificado.....	62

CAPITULO VI TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN ESTE CAMPO

6.1.- Asfalto envejecido modificado con polímero.....	65
6.1.1.- Definición de polímero.....	65
6.1.2.- ¿Qué es un asfalto envejecido modificado?.....	68
6.1.3.- Principales modificadores utilizados en el asfalto.....	68
6.1.4.- ¿Porqué se modifican los asfaltos?.....	71
6.1.5.- Modificación del asfalto envejecido.....	72
6.1.6.- Estructura de los asfaltos envejecidos modificados.....	73
6.1.7.- Compatibilidad de los polímeros.....	73
6.2.- Especificaciones.....	76
6.3.- Metodología aplicada en el laboratorio.....	76

CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- Conclusiones.....	97
7.2.- Recomendaciones.....	103

BIBLIOGRAFÍA.....	105
--------------------------	------------

LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO VI

Tabla 6.1 Penetración Sierra

Tabla 6.2 Penetración Costa

Tabla 6.3 Ductilidad Sierra

Tabla 6.4 Ductilidad Costa

Tabla 6.5 Reblandecimiento Sierra

Tabla 6.6 Reblandecimiento Costa

Tabla 6.7 Punto de inflamación Sierra

Tabla 6.8 Punto de Inflamación Costa

Tabla 6.9 Resultado de los ensayos realizados

Tabla 6.10 Ensayo de Envejecimiento Sierra

Tabla 6.11 % de penetración Sierra

Tabla 6.12 Ensayo de Envejecimiento Costa

Tabla 6.13 % de penetración Costa

Tabla 6.14 Resultados de los ensayos de Envejecimiento

Tabla 6.15 Ensayo con el 1% de polímero (Sierra)

Tabla 6.16 Ensayo con el 1% de polímero (Costa)

Tabla 6.17 Ensayo con el 2% de polímero (Sierra)

Tabla 6.18 Ensayo con el 2% de polímero (Costa)

Tabla 6.19 Ensayo con el 3% de polímero (Sierra)

Tabla 6.20 Ensayo con el 3% de polímero (Costa)

Tabla 6.21 Ensayo con el 4% de polímero (Sierra)

Tabla 6.22 Ensayo con el 4% de polímero (Costa)

Tabla 6.23 Ensayo con el 5% de polímero (Sierra)

Tabla 6.24 Ensayo con el 5% de polímero (Costa)

Tabla 6.25 Ensayo con el 6% de polímero (Sierra)

Tabla 6.26 Ensayo con el 6% de polímero (Costa)

Tabla 6.27 Prueba del contenido del polímero Sierra

Tabla 6.28 Prueba del contenido del polímero Costa

Tabla 6.29 Resultado de los ensayos realizados con polímeros

Tabla 6.30 Comparaciones de asfalto envejecido y con polímeros (Sierra)

Tabla 6.31 Comparaciones de asfalto envejecido y con polímeros (Costa)

LISTADO DE CUADROS

CAPÍTULO I

Cuadro 1.1 Relación Tensión Fatiga

CAPÍTULO VI

Cuadro 6.1 Gráfica de Penetración Sierra

Cuadro 6.2 Gráfica de Penetración Costa

Cuadro 6.3 Gráfica de Ductilidad Sierra

Cuadro 6.4 Gráfica de Ductilidad Costa

Cuadro 6.5 Gráfica de Reblandecimiento Sierra

Cuadro 6.6 Gráfica de Reblandecimiento Costa

Cuadro 6.7 Gráfico de Punto de inflamación Sierra

Cuadro 6.8 Gráfico de Punto de Inflamación Costa

Cuadro 6.9 Gráfico del contenido del polímero Sierra

Cuadro 6.10 Gráfico del contenido del polímero Costa

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Dependencia tiempo-temperatura del cemento asfáltico

Figura 2.2 Comportamiento visco-elástico del asfalto

Figura 2.3 Esqueleto pétreo del agregado

Figura 2.4 Comportamiento del agregado a las capas de corte

Figura 2.5 Dilatación de dos partículas de agregado cuando están sometidas a esfuerzos de corte

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Ahuellamiento de una subrasante débil

Figura 3.2 Ahuellamiento de una mezcla débil

Figura 3.3 Fisuramiento (por fatiga) tipo piel de cocodrilo

Figura 3.4 Tensiones de tracción en la parte inferior de la capa de HMA

Figura 3.5 Fisuramiento por baja de temperatura

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 Composición del asfalto

Figura 4.2 Composición del asfalto

Figura 4.3 Composición interna del asfalto

CAPÍTULO VI

Figura 6.1 Microfotografías

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A Ensayo de Penetración

Anexo B Ensayo de Ductilidad

Anexo C Ensayo de Ablandamiento

Anexo D Ensayo de Punto de Inflamación

Anexo E Ensayo de Envejecimiento

CAPÍTULO I

1.1.- INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, los administradores viales han tomado conciencia sobre la importancia de alargar el ciclo de vida de los materiales que forman parte de los firmes.

La construcción de una nueva carretera o el refuerzo y acondicionamiento de las existentes vías, está siendo llevado a cabo, en la mayoría de los casos, utilizando nuevos áridos y ligantes para la fabricación de las nuevas capas.

Por otra parte, cada día es más común en las obras de refuerzo o rehabilitación de firmes el empleo del procedimiento de fresado de las capas asfálticas envejecidas y reposición con nuevas mezclas, esta técnica da lugar a la generación de materiales con un alto potencial de reutilización de los áridos y ligante contenidos en ello.

Parece claro pues, que desde el punto de vista del aprovechamiento de materiales, las técnicas de reciclado son altamente interesantes y beneficiosas, sin embargo, el reciclado de mezclas a base de polímeros no ha sido un procedimiento comúnmente empleado hasta el momento.

Se entiende por “Recuperación de Asfaltos” al proceso mediante el cual los materiales recuperados de capas bituminosas de firmes deteriorados, son mezclados con agentes rejuvenecedores (polímeros), en proporciones adecuadas, para producir nuevas mezclas que cumplan con los requerimientos de calidad,

resistencia y durabilidad exigidos para el tipo de capa en que será utilizado.

El proceso de recuperación del asfalto, en laboratorio, consiste en envejecer el asfalto simulando el desgaste que existe en la vía, utilizando el ensayo de película delgada, y procediendo al mezclado con polímeros, para identificar el porcentaje óptimo necesario para una recuperación del asfalto envejecido.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el Ecuador existen aproximadamente 8,500 kilómetros correspondientes a la Red Fundamental de caminos y carreteras pavimentadas. Cada año, varios de estos pavimentos requieren de rehabilitaciones mayores.

El Ministerio de Obras Públicas, está invirtiendo gran cantidad de dinero anualmente, en un intento para mantener sus carreteras seguras y funcionales. Sin embargo, debido a inadecuados presupuestos de vialidad y transporte y al alto costo de los procesos de rehabilitaciones convencionales, han generado la acumulación de carreteras deterioradas alrededor de nuestro país y cuyo volumen es significativo.

Los pavimentos deteriorados están caracterizados por viajes incómodos y por tener mal formaciones físicas como grietas, huecos, ahuellamientos, deformaciones y desmoronamientos.

El deterioro del pavimento está altamente influenciado por condiciones climáticas severas, alto volumen de tráfico y cargas excesivas en los camiones, así como también por la calidad de su construcción y su

mantenimiento; el deterioro de los pavimentos se acelerará después de varios años de servicio pero una rehabilitación a tiempo con tratamientos como la adición de una nueva capa de rodadura, el reciclaje o la recuperación de los asfaltos envejecidos pueden devolver la calidad del pavimento y extender la vida útil de la carretera.

Es por ello que se hace importante conocer las propiedades del asfalto oxidado con el propósito de rehabilitarlo mediante procesos físicos y químicos con el fin de restaurar en un alto porcentaje las propiedades iniciales.

Estudios realizados por Banco Mundial han demostrado que el rejuvenecimiento de pavimentos de asfalto es particularmente eficaz en términos económicos cuando es realizado antes de que el deterioro del pavimento sea extremo.

La capa de rodadura de los pavimentos flexibles está compuesta por cemento asfáltico (ligante de asfalto), el cual es un derivado del petróleo, y agregados minerales que son una mezcla de roca y arena de alta calidad. En muchas regiones del país éstos materiales son escasos, haciendo que la ejecución de proyectos de pavimentación asfáltica en las vías del país sean de ellos más costosos.

El envejecimiento de asfalto altera significativamente sus propiedades reológicas y como consecuencia de ello, impide el buen comportamiento del pavimento asfáltico frente a las condiciones de tránsito y de clima.

El envejecimiento de asfalto se produce en dos etapas diferentes en cuanto a Magnitud y Velocidad de los cambios físico-químicos experimentados. La primera etapa tiene relación con los cambios

durante el proceso constructivo y la segunda con aquellos que sufre durante su vida en servicio por causa de los factores climáticos.

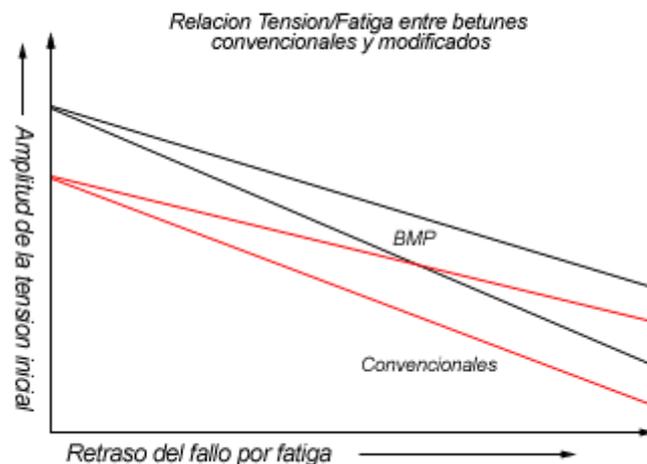
Para establecer el envejecimiento de las mezclas de asfálticas, los pavimentos, se consideran los más relevantes y se han agrupado en tres grandes categorías; los de superficie, los de estructura y los que encuentran su origen en la construcción.

Los deterioros se encuentran dentro de las tres grandes categorías se agrupan a su vez en las subcategorías de:

- ✓ Desprendimientos
- ✓ Alisamientos
- ✓ Exposición de agregados
- ✓ Deformaciones
- ✓ Agrietamientos

Los cambios reológicos que experimenta el asfalto se manifiestan en incrementos de la viscosidad absoluta, del punto de ablandamiento y una sensible disminución de la penetración, lo cual hace que el betún vaya perdiendo sus propiedades viscoelásticas originales.

Paralelamente a estos cambios producidos en las propiedades físicas del betún también se altera la composición química del mismo.



La recuperación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos envejecidos, con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su [resistencia](#) a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

1.3.- OBJETIVOS GENERALES

Se referirá a la determinación de las características y condiciones de envejecimiento de los cementos asfálticos actualmente en servicio en los diferentes pavimentos flexibles de las carreteras y vías urbanas de nuestro país con el objeto de estar en condiciones

de reutilizarlos en diferentes trabajos de reciclado en su rehabilitación y reconstrucción.

Para este estudio y análisis se utilizarán las muestras de asfalto producidas en la refinería en Esmeraldas, a los cuales se realizarán ensayos físicos de caracterización de este material, y luego se lo someterá a procesos de envejecimiento acelerado.

La recuperación de asfaltos envejecidos es un proceso para la rehabilitación de pavimentos de asfalto deteriorados. La operación es realizada completamente en el laboratorio en donde el material asfáltico, que es removido y suelto por instrumentos perfiladores, es mezclado conjuntamente con o sin la adición de un agente rejuvenecedor.

1.3.1.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer las condiciones de rejuvenecimiento de los asfaltos en servicio en los diferentes pavimentos.
- ✓ Conocer las características de envejecimiento a lo largo del tiempo.
- ✓ Establecer con detenimiento los parámetros que intervienen en el envejecimiento del asfalto.
- ✓ Comprobar si el asfalto de la Refinería de Esmeraldas cumple con las condiciones que exige el Ministerio de Obras Públicas.
- ✓ Determinar el porcentaje óptimo de polímero, para obtener un rejuvenecimiento del asfalto envejecido.

CAPÍTULO II

2.1.- MEZCLA ASFÁLTICA

Concreto asfáltico (algunas veces llamado “mezcla asfáltica en caliente” o simplemente "HMA" = "hot mix asphalt") es un material vial compuesto de un ligante asfáltico y un agregado mineral. El ligante asfáltico, que puede ser un cemento asfáltico o un cemento asfáltico modificado, actúa como un agente ligante que aglutina las partículas en una masa cohesiva. Al ser impermeable al agua, el ligante asfáltico también impermeabiliza la mezcla.

El agregado mineral, ligado por el material asfáltico, actúa como un esqueleto pétreo que aporta resistencia y rigidez al sistema.

Al incluir la HMA tanto ligante asfáltico como agregado mineral, su comportamiento es afectado por las propiedades individuales de

cada componente y por la interrelación de aquellos dentro del sistema.

2.2.- COMPORTAMIENTO DEL LIGANTE ASFÁLTICO.

El ligante asfáltico por sí mismo es un material de construcción atractivo y estimulante con el cual trabajar. Su más importante característica, muchas veces una ventaja, a veces una desventaja, es su susceptibilidad térmica. Esto es, sus propiedades mensurables dependen de la temperatura.

Por esta razón, casi todos los ensayos de caracterización de cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura. Sin una temperatura de ensayo especificada, el resultado del ensayo no puede ser efectivamente interpretado.

El comportamiento del cemento asfáltico depende también del tiempo de aplicación de la carga. Para la misma carga y el mismo asfalto, diferentes tiempos de aplicación de la carga implicarán propiedades diferentes. Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos deben también especificar la velocidad de carga.

Como el comportamiento del cemento asfáltico es dependiente de la temperatura y de la duración del tiempo de aplicación de la carga, estos dos factores pueden intercambiarse (figura 2.1). Es decir, una baja velocidad de carga puede simularse con temperatura elevadas y una alta velocidad de carga puede simularse con bajas temperaturas.



Figura 2.1 (Dependencia tiempo-temperatura del cemento asfáltico)

El cemento asfáltico es a veces llamado material visco-elástico porque exhibe simultáneamente características viscosas y elásticas (Figura 2.2). A altas temperaturas, el cemento asfáltico actúa casi como un fluido viscoso.

En otras palabras, calentado a temperaturas elevadas (por ejemplo: $>100^{\circ}\text{C}$), muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores. A muy baja temperatura (p. ej., $< 0^{\circ}\text{C}$), el cemento asfáltico se comporta casi como un sólido elástico. Es decir, actúa como una banda de goma. Cuando es cargado se estira o comprime adoptando diferentes formas. Cuando es descargado, retoma fácilmente su forma original. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista en el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de ambos estados, un fluido viscoso y un sólido elástico.

Queda otra característica importante del cemento asfáltico a tener en cuenta. Al estar compuesto de moléculas orgánicas, reacciona con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se denomina "oxidación" y cambia la estructura y composición de las moléculas de asfalto. Al reaccionar con el oxígeno, la estructura del asfalto se hace más dura y frágil y da origen al término "endurecimiento por oxidación" o "endurecimiento por envejecimiento".

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación. Este es también el motivo por el cual la oxidación es más crítica en cementos asfálticos utilizados en pavimentos en climas cálidos y desérticos. Los ligantes asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original, mejorando así la performance del pavimento a largo plazo.

Si bien los modificadores pueden afectar muchas propiedades-, la mayoría de ellos intenta reducir la dependencia con la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.

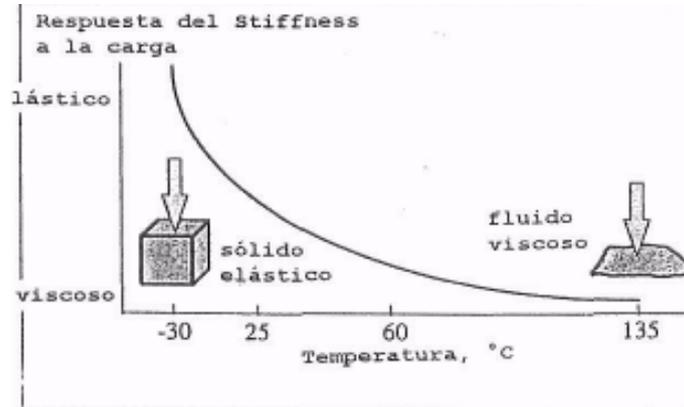


Figura 2.2 (Comportamiento visco-elástico del asfalto)

2.3.- COMPORTAMIENTO DEL AGREGADO MINERAL

Una amplia variedad de agregados minerales ha sido empleada para producir HMA. Algunos materiales son llamados agregados naturales porque simplemente son extraídos de depósitos fluviales o

glaciares y utilizados luego sin ningún procesamiento para elaborar la HMA (en inglés, son llamados frecuentemente "back-run" o "pit-run").

Los agregados elaborados pueden incluir a los naturales que han sido separados en distintas fracciones según su tamaño, lavados, triturados o tratados para mejorar ciertas características de comportamiento de la HMA.

Sin embargo, en muchos casos el agregado es explotado en canteras y el más importante proceso al que es sometido es la trituración y la división según sus tamaños.

El agregado sintético es cualquier material no extraído de depósitos ni explotado en canteras; en muchos casos, es un sub-producto industrial. La escoria de alto horno es un ejemplo. Ocasionalmente, se produce un agregado sintético para aportar una característica deseada al desempeño de la HMA. Por ejemplo, la arcilla expandida o los esquistos se incorporan a veces para mejorar la resistencia al deslizamiento de la HMA.

Un pavimento existente puede ser removido y reprocesado para elaborar una nueva HMA. El pavimento reciclado o RAP ("reclaimed asphalt pavement") es una cada vez más utilizada e importante fuente de agregados para pavimentos asfálticos.

Crecientemente, los residuos son usados como agregados o bien incorporados en los pavimentos asfálticos para resolver un problema ambiental. Neumáticos y vidrio son dos de los más conocidos residuos con los que se han "rellenado" pavimentos asfálticos.

En algunos casos, los residuos pueden realmente aportar una mejora en ciertas características del desempeño de las HMA. En otros casos, se ha considerado suficiente resolver el problema de la

disposición de los residuos sólidos sin esperar una mejora en la performance de la HMA. No obstante, es deseable que el comportamiento de la HMA no se sacrifique en aras de la simple eliminación de los residuos sólidos.

Independientemente de la fuente, métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir las repetidas aplicaciones de carga.

Agregados de textura rugosa, de buena cubricidad, dan más resistencia que los redondeados y de textura lisa (Figura 2.3).



Agregado cúbico

Agregado redondeada

Figura 2.3 (Esqueleto pétreo del agregado)

Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna de una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una fuerte masa de material. Las partículas redondeadas, en vez de trabarse, tienden a deslizarse una sobre otras. Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano por el que las partículas sean deslizadas o cizalladas unas respecto de las otras (Gráfico 2.4), lo cual resulta en una deformación permanente de la masa. Es en este plano donde las "tensiones de corte" exceden a la "resistencia a] corte" de la masa de agregados. La resistencia al corte del agregado es de crítica importancia en las HMA.

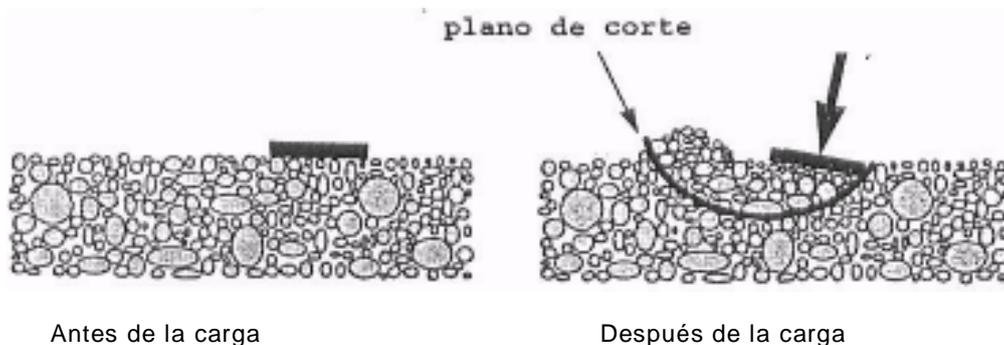


Figura 2.4 (Comportamiento del agregado a la cargas de corte)

El diferente comportamiento a la resistencia al corte de distintos agregados puede fácilmente observarse en las pilas de acopio, en las cuales los agregados triturados (esto es, predominantemente cúbicos) forman pilas más empinadas y estables que los redondeados. En ingeniería se llama ángulo de reposo a la pendiente de la pila de acopio. El ángulo de reposo de una pila de agregado triturado es mayor que el de una pila de material no triturado.

Ingenierilmente, se explica el comportamiento al corte de los agregados (y de otros materiales) usando la teoría de Mohr-Coulomb, denominada así en honor a sus autores. Esta teoría enuncia que la resistencia al corte de una mezcla de agregados depende de: cuán unidas estén las partículas del agregado (el término usual es cohesión), la tensión normal a que están sometidos los agregados y la fricción interna de los agregados. La ecuación de Mohr-Coulomb usada para expresar la resistencia al corte de un material es:

$$\tau = c + \sigma * \tan \phi$$

Donde:

τ : es la resistencia al corte de la mezcla de agregados c : es la cohesión del agregado

σ : es la tensión normal a la cual está sujeto el agregado

Φ : es el ángulo de fricción interna

Una masa de agregados tiene una relativamente baja cohesión. Así, la resistencia al corte principalmente depende de la oposición al movimiento que ofrecen los agregados.

Además, cuando es cargada, la masa de agregados tiende a ser más fuerte porque la tensión resultante tiende a unir a los agregados más estrechamente entre sí. En otras palabras, la resistencia al corte aumenta. El ángulo de fricción interna indica la capacidad del agregado para entrelazarse (interlocking) y, así, crear una masa de agregados casi tan fuerte como las partículas individuales.

Una última consideración en la comprensión de las propiedades de corte del agregado, es el concepto de dilatación (dilatancy). Al someter a una masa de agregados a tensiones de corte, las partículas deben fracturarse o arrastrarse unas sobre otras si un desplazamiento ha de producirse. Este fenómeno se llama dilatación pues resulta en una expansión o incremento del volumen de la masa de agregados (Figura 2.5). Materiales resistentes, con una mayor densificación y un alto ángulo de fricción interna, tienden a dilatarse más que los materiales más débiles.

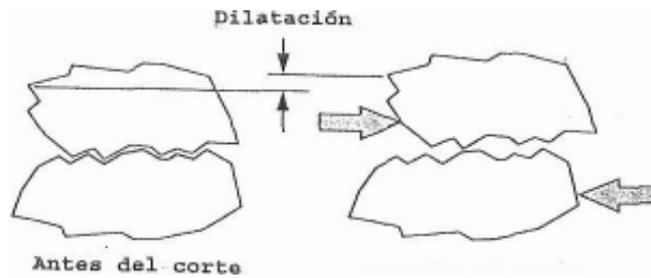


Figura 2.5 (Dilatación de dos partículas de agregado cuando están sometidas a esfuerzos de corte)

Para asegurar una mezcla de materiales resistente para HMA, se han especificado las propiedades del agregado que mejoran la fricción interna, una componente de la resistencia al corte. Para ello, normalmente, se recurre a los porcentajes de caras fracturadas en el material grueso que integra la mezcla de agregados. Como las arenas naturales tienden a ser redondeadas, con una baja fricción interna, su aporte a las mezclas es con frecuencia limitado.

2.4.- CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en su diseño y proyecto:

- ✓ La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- ✓ La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables.

2.5.- FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LOS FIRMES.

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación.

Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura.

Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Las cualidades funcionales del firme residen fundamentalmente en su superficie.

De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- ✓ La adherencia del neumático al firme.
- ✓ Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
- ✓ El desgaste de los neumáticos.
- ✓ El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
- ✓ La comodidad y estabilidad en marcha.
- ✓ Las cargas dinámicas del tráfico.
- ✓ La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- ✓ El envejecimiento de los vehículos.
- ✓ Las propiedades ópticas.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una

consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- ✓ Estabilidad.
- ✓ Durabilidad.
- ✓ Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- ✓ Resistencia al deslizamiento.
- ✓ Regularidad.
- ✓ Permeabilidad adecuada.
- ✓ Sonoridad.
- ✓ Color, entre otras.

2.6.- PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CAPAS DE RODADURA.

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las

propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en

los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero.

Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente.

En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

CAPÍTULO III

3.- COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

El comportamiento de la mezcla asfáltica se explica mejor considerando que el cemento asfáltico y el agregado mineral actúan como un sistema. Un camino para entender mejor el comportamiento de las mezclas asfálticas es considerar los tipos básicos de deterioros que el ingeniero trata de evitar: la deformación

permanente, la fisuración por fatiga y fisuración por baja temperatura.

3.1.- DEFORMACIÓN PERMANENTE (permanent deformation)

La deformación permanente es el deterioro caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original, se llama deformación “permanente” pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga. Esta deformación es irrecuperable. Si bien el ahuellamiento puede tener varias causas existen dos principales.

En un caso, el ahuellamiento es causado por muchas aplicaciones repetidas de carga al suelo natural (es decir, la sub-rasante), la sub base, o la base por debajo de la capa asfáltica (Figura 3.1).

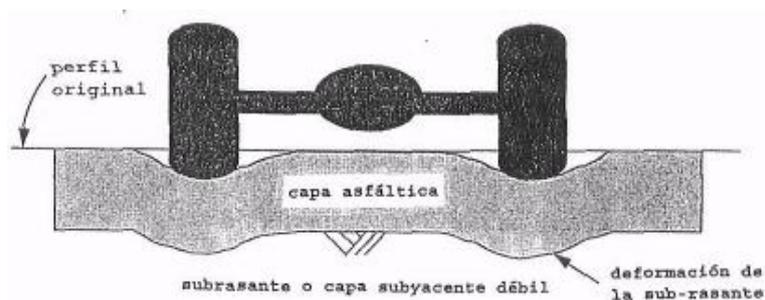


Figura 3.1 (Ahuellamiento de una subrasante débil)

Aunque la utilización de materiales viales más rígidos reduce parcialmente este tipo de ahuellamiento, el fenómeno es normalmente considerado más un problema estructural que un problema de los materiales. Frecuentemente, es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, sin la suficiente profundidad para reducir, a niveles tolerables, las tensiones sobre

la sub-rasante cuando las cargas son aplicadas. Podría ser también el resultado de una sub-rasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad. La acumulación de la deformación permanente ocurre más en la sub-rasante que en las capas asfálticas.

El otro tipo principal de ahuellamiento (el que más nos concierne aquí) se debe a la acumulación de deformaciones en las capas asfálticas. Este tipo de ahuellamiento es causado por una mezcla asfáltica cuya resistencia al corte es demasiado baja soportar las cargas pesadas repetidas a las cuales está sometida (Figura 3.2).



Plano de corte

Figura 3.2 (Ahuellamiento de una mezcla débil)

A veces el ahuellamiento ocurre en una capa superficial débil. En otros casos, la capa superficial no es en sí misma propensa al ahuellamiento, pero acompaña la deformación de una inferior más débil

Cuando una mezcla asfáltica se ahuella, es evidente que tiene una baja resistencia al corte. Cada vez que un camión aplica una carga, una deformación pequeña, pero permanente, se ocasiona. La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente. Con un número dado de repeticiones de carga aparecerá el ahuellamiento. Los pavimentos asfálticos ahuellados tienen una seguridad deficiente porque los surcos que se forman retienen suficiente agua para provocar hidropneumático o acumulación de hielo.

El ahuellamiento de las mezclas asfálticas débiles es un fenómeno asociado a las altas temperaturas. Así, ocurre más frecuentemente en verano. Si bien esto podría sugerir que es un problema del cemento asfáltico, es más correcto enfocarlo como un problema conjunto del agregado mineral y del cemento asfáltico.

De hecho, la ecuación de Mohr-Coulomb $\tau = c + \sigma * \tan \phi$ puede emplearse nuevamente para ilustrar como ambos materiales pueden influir en el ahuellamiento.

En este caso, τ es la resistencia al corte de la mezcla asfáltica. La cohesión (c) puede considerarse la fracción de la resistencia al corte de la mezcla asfáltica provista por el cemento asfáltico. Debido a que el ahuellamiento es una acumulación de muy pequeñas deformaciones permanentes, una forma de asegurar que

el cemento asfáltico aporte una aceptable resistencia al corte es usar un cemento asfáltico no sólo duro sino de comportamiento lo más próximo posible a un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento.

Así, cuando una carga es aplicada al cemento asfáltico en la mezcla, aquel tiende a actuar como una banda de goma y a recuperar su posición original en lugar de permanecer deformado.

Otra forma de incrementar la resistencia al corte de las mezclas asfálticas es eligiendo un agregado con un ángulo de fricción interna alto (ϕ). Esto se logra con la selección de un agregado de buenas cubicidad y rugosidad, y con una granulometría tal que se desarrolle un buen contacto partícula-partícula.

Cuando una carga es aplicada al agregado en la mezcla, las partículas del agregado se juntan y funcionan no sólo como una masa de partículas individuales sino como una *enorme, única, roca elástica*. Al igual que con

el cemento asfáltico, el agregado actuará como una banda de goma que recuperará su forma original cuando es descargado. De esta forma, no se acumularán deformaciones permanentes.

Si bien el mayor aporte a la resistencia a la deformación permanente de la mezcla proviene del agregado, también es importante la colaboración del ligante asfáltico, Los ligantes con bajas características de corte -por composición o por temperatura-minimizan la cohesión y, hasta cierto punto, la tensión "normal" de confinamiento. Así la mezcla comienza a comportarse como una masa de agregados no ligados.

3.2.- FISURACIÓN POR FATIGA (*fatigue cracking*)

Como el ahuellamiento, la fisuración por fatiga es un tipo de deterioro que con mucha frecuencia se produce en la huella donde las cargas pesadas son aplicadas. Las fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella (esto es, -en la dirección del tránsito) son un signo prematuro de la fisuración por fatiga.

Esta es un deterioro de tipo progresivo porque, en algún momento, las fisuras iniciales se unirán con otras, causando aún más fisuras. Un estado intermedio de la fisuración por fatiga es el denominado "piel de cocodrilo" -así llamado porque su forma se asemeja a la piel de un cocodrilo (Figura 3.3).

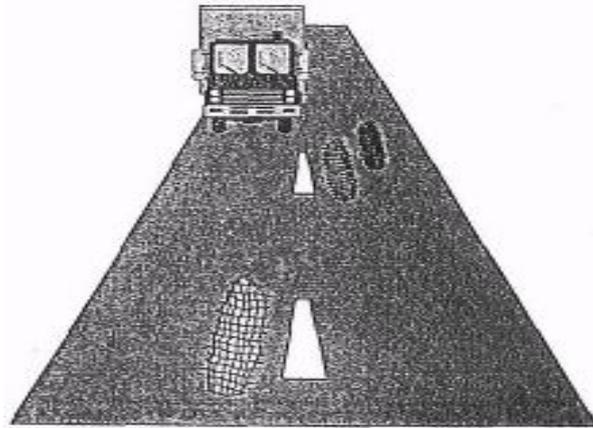


Figura 3.3 (Fisuramiento (por fatiga) tipo piel de cocodrilo)

En algunos casos extremos, el estado final de la fisuración por fatiga es la desintegración con la formación de baches. Un bache se forma cuando varias piezas comienzan a dislocarse y desprenderse bajo la acción del tránsito.

Los ingenieros han largamente reconocido que una mezcla asfáltica muy rígida tiende a oponer baja resistencia a la fatiga cuando la estructura permite deflectar a la capa asfáltica. Materiales rígidos, altas deflexiones y altos niveles de tensiones conducen a vidas útiles reducidas por la fatiga.

Si bien el mecanismo de fatiga es fácil de comprender, sus causas no siempre lo son. No puede ser enfocado como un problema de los materiales exclusivamente. La fisuración por fatiga es usualmente causada por un número de factores que deben producirse simultáneamente.

Obviamente, las cargas pesadas repetidas deben estar presentes. Algunos ingenieros creen que una subrasante con pobre drenaje,

resultando en pavimentos blandos con altas deflexiones, es la causa principal del fisuramiento por fatiga.

Pobres diseños y/o deficiente construcción de capas del pavimento que son también propensas a sufrir altas deflexiones cuando cargadas, probablemente contribuyen al fisuramiento por fatiga. Así, capas de pavimentos delgadas, muy rígidas, sujetas a altas deflexiones por cargas repetidas son más susceptibles al fisuramiento por fatiga.

En muchos casos, el fisuramiento por fatiga es sólo un signo de que un pavimento ha sido transitado por el número de cargas para el cual fue diseñado. Luego, está simplemente “agotado” y necesita una rehabilitación planificada.

Asumiendo que la ocurrencia del fisuramiento por fatiga coincide aproximadamente con el periodo de diseño, esto no

sería necesariamente una falla, sino la progresión natural de una estrategia de diseño del pavimento. Si el fisuramiento observado ocurre mucho antes de concluido el periodo de diseño, sería un signo de que el pavimento recibió más cargas pesadas, antes de lo previsto.

En consecuencia, la mejor forma de superar el fisuramiento por fatiga es:

- ✓ Estimación adecuada del número de cargas pesadas en la etapa de diseño.
- ✓ Mantener, por lo medios posibles, seca la sub-rasante

- ✓ Usar pavimentos de mayor espesor
- ✓ Emplear materiales que no sean excesivamente débiles ante la presencia de la humedad, y
- ✓ Utilizar materiales para pavimentos que sean lo

suficientemente resilientes para resistir deflexiones normales.

En general las mezclas asfálticas no son afectadas por la humedad al ser mayormente impermeables. En casos extremos no obstante, se ha comprobado que el vapor de agua puede despojar al agregado mineral del cemento asfáltico.

Si bien la remoción del asfalto de una capa asfáltica subyacente puede traducirse como un fisuramiento por-fatiga en una capa superior, esto no es considerado una falla por fatiga. Una instancia más común del fisuramiento por fatiga causado por una capa debilitada por la humedad es el de una

base no ligada cuyas demasiadas partículas finas impiden el rápido drenaje. Las bases no ligadas deberían ser seleccionadas de manera tal que no atrapen la humedad.

Solo el último ítem, elección de materiales resilientes, puede abordarse estrictamente desde la perspectiva de la selección de los materiales. En el momento de aplicación de la carga, se producen tensiones de tracción horizontales cerca del fondo de la capa asfáltica (Figura 3.4).

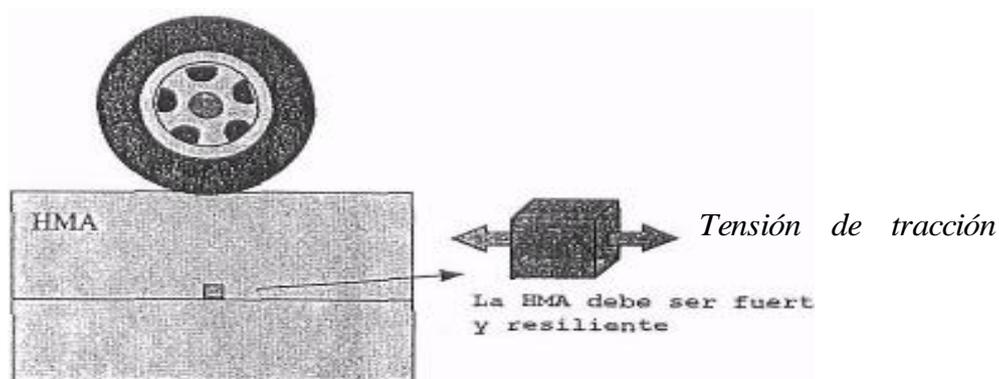


Figura 3.4 (Tensiones de tracción en la parte inferior de la capa de HMA)

Evidentemente, el material en esa zona debe ser muy resistente, con suficiente resistencia a tracción para soportar las tensiones de tracción aplicadas. No obstante, para superar el fisuramiento por fatiga, dicho material debe ser también resiliente. En este contexto, resiliente significa que el material puede resistir, sin fisurarse, muchas cargas a niveles de tensión mucho menores que la resistencia a tracción.

De este modo, para vencer el fisuramiento por fatiga desde la perspectiva de los materiales, la HMA debe ser seleccionada de modo tal que se comporte como un material elástico blando. Esto se logra, al ser el comportamiento a la tracción de la HMA

fuertemente influido por el cemento asfáltico, con la selección de un cemento asfáltico cuyos límites superiores están ubicados en la parte elástica de su stiffness. En efecto, asfaltos blandos tienen mejores propiedades de fatiga que los duros.

3.3.- FISURACION POR BAJA TEMPERATURA (low temperatura ranking)

Como su nombre lo indica, la fisuración por baja temperatura es un deterioro causado más por las condiciones adversas del medio ambiente que por la aplicación de las cargas del tránsito. Se caracteriza por fisuras transversales (es decir, perpendiculares a la dirección del tránsito) intermitentes que se producen con un espaciamiento notablemente uniforme (Figura 3.5).

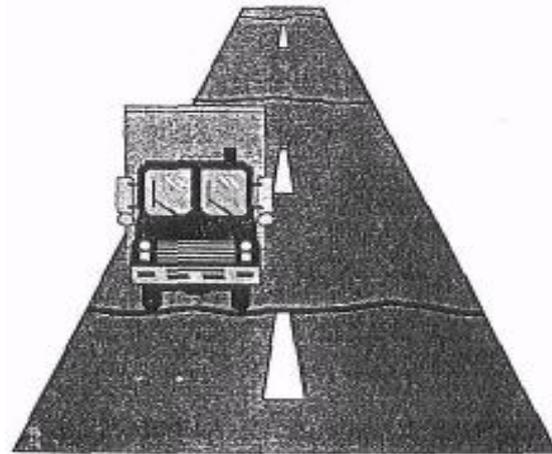


Figura 3.5 (Fisuramiento por baja temperatura)

Las fisuras por baja temperatura se forman cuando una capa de pavimento asfáltico se contrae en climas fríos. Cuando el pavimento se contrae, se originan tensiones de tracción dentro de la capa.

En algún lugar a lo largo del pavimento, la tensión de tracción excede la resistencia de tracción y la capa asfáltica se fisura. Así, las fisuras por baja temperatura ocurren principalmente a partir de un ciclo de baja temperatura.

Algunos ingenieros, no obstante, también creen que es un fenómeno de fatiga debido al efecto acumulativo de varios ciclos climáticos fríos.

Ambos grupos concuerdan en que el ligante asfáltico juega el rol central en la fisuración por baja temperatura. En general, los ligantes asfálticos duros son más propensos a la fisuración por baja temperatura que los blandos. Los ligantes asfálticos excesivamente oxidados, sea por excesiva propensión a la oxidación o por pertenecer a una mezcla con muy alto porcentaje de vacíos, o por ambas causas, son más susceptibles al fisuramiento por baja temperatura.

Así, para evitar la fisuración por baja temperatura, los ingenieros deben usar un ligante blando, un ligante no muy propenso al

envejecimiento, y controlar in situ el contenido de vacíos de aire de forma tal que el ligante no resulte excesivamente oxidado.

3.4- DETERIOROS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los defectos que presenta un pavimento y que disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de esa estructura, frecuentemente corresponden a defectos constructivos y difícilmente pueden clasificarse como deterioros.

Sin embargo, atendiendo al hecho de que habrán de ser corregidos mediante labores de mantenimiento o conservación, como es el caso de juntas mal acabadas, en el presente Capítulo se han incluido como deterioros.

Adicionalmente puede argüirse que tales defectos pueden sufrir un deterioro gradual con el paso de los vehículos y convertirse así en verdaderos deterioros del pavimento.

En la literatura especializada de pavimentos, los fines didácticos perseguidos orientan el ordenamiento de los deterioros atendiendo a sus causas y origen, más que a las labores para su corrección. El interés del presente Capítulo se orienta a la identificación de los deterioros con miras a los trabajos de conservación, rehabilitación o reconstrucción.

Los deterioros de pavimentos incluidos se consideran los más relevantes. Se han agrupado en tres grandes categorías; los de superficie, los de estructura y los que encuentran su origen en la construcción.

Los deterioros dentro de las tres grandes categorías se agrupan a su vez en las subcategorías de:

- ✓ Desprendimientos
- ✓ Alisamientos
- ✓ Exposición de agregados
- ✓ Deformaciones
- ✓ Agrietamientos

De esta manera se tratan quince deterioros, en los cuales, incluye el nombre del deterioro con el grupo y subgrupo en el que se ha clasificado; la descripción del deterioro; una imagen o aspecto superficial; una forma propuesta para su evaluación; los trabajos típicos de corrección asociados a las fronteras establecidas en la evaluación y finalmente, las causas más comunes que dan origen al deterioro descrito.

Se considera que el presente Capítulo cumple con las expectativas formuladas en su origen.

3.5. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE

3.5.1.- DESPRENDIMIENTOS

- a) *Pérdida de agregados*
- b) *Pérdida de la capa de rodadura*
- c) *Pérdida de la base*

<p>DETERIORO:</p>	<p>3.5 DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 3.5.1 Desprendimientos. a) Pérdida de agregados (calaveras o surcos)</p>		
<p>DESCRIPCION</p>	<p>Desprendimiento de agregados pétreos en superficie</p>		
	<p>De tratamientos superficiales: Pérdida parcial del agregado dejando expuestas áreas aisladas de la capa de apoyo.</p>	<p>De capas asfálticas: Pérdida en la superficie de los agregados de capas asfálticas con espesor mayor que 5 cm.</p>	
<p>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</p>			
<p>EVALUACIÓN</p>	<p>Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m, por banda de circulación.</p>		
	<p>LIGERO</p>	<p>LIGERO < 5%</p>	<p>LIGERO < 5%</p>
	<p>MEDIO</p>	<p>5% < MEDIO < 30</p>	<p>5% < MEDIO < 10%</p>
	<p>FUERTE</p>	<p>30% < FUERTE</p>	<p>10% < FUERTE</p>
<p>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION</p>	<p>LIGERO</p>	<p>Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.</p>	<p>Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.</p>
	<p>MEDIO</p>	<p>Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico.</p>	<p>Reposición del material perdido y tratamiento superficial, en mantenimiento periódico.</p>
	<p>FUERTE</p>	<p>Sobrecapa asfáltica > 5 cm.</p>	
<p>CAUSAS COMUNES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esparcido irregular del ligante (asfalto) ✓ Ligante inadecuado. ✓ Agregado pétreo (árido) inadecuado por falta de adherencia (afinidad) en el ligante (asfalto). ✓ Agregado sucio, con polvo adherido. ✓ Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del ligante (asfalto). 		

Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

<p>DETERIORO:</p>	<p>3.5 DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 3.5.1 Desprendimientos b) Pérdida de capa de rodadura (peladuras)</p>				
<p>DESCRIPCION</p>	<p>Desprendimiento de la última capa delgada, de tratamientos superficiales, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Lechadas (Slurry Seal). ✓ Microcarpetas (1 a 2 cm). ✓ Capas de rodadura (carpetas) de 2 a 3 cm. ✓ Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas de 3 a 5 cm. 				
<p>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</p>					
<p>EVALUACION</p>	<p>Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por banda de circulación.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>LIGERO < 5 %</td> </tr> <tr> <td>5 % < MEDIO < 30 %</td> </tr> <tr> <td>30 % < FUERTE</td> </tr> </table>		LIGERO < 5 %	5 % < MEDIO < 30 %	30 % < FUERTE
LIGERO < 5 %					
5 % < MEDIO < 30 %					
30 % < FUERTE					
<p>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION</p>	<p>LIGERO:</p>	<p>Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo</p>			
	<p>MEDIO:</p>	<p>Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico. Generalmente se tratamiento. en mantenimiento requiere un doble</p>			

CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpieza insuficiente previa al tratamiento superficial. ✓ Esparcido heterogéneo del ligante (asfalto). ✓ Ligante inadecuado. ✓ Dosificación árido (pétreo) – ligante (asfalto) inadecuada. ✓ Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce delaminación. Compactación deficiente (si procede). Fraguado incompleto después de apertura al tránsito. ✓ Envejecimiento del ligante (asfalto).
---------------------------	---

Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

DETERIORO:	3.5 DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 3.5.1 Desprendimientos c) Pérdida de base (calavera o bache superficial)	
DESCRIPCION	Desprendimiento del material de la base en la que se apoya la capa de rodadura (carpeta) después de la pérdida de ésta; generalmente en bases no tratadas (hidráulicas).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100m., por banda de circulación. <div style="text-align: center;"> LIGERO < 5 % 5 % < MEDIO < 30 % 30 % < ALTA </div>	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo
	MEDIO:	Base sin tratar: Recuperación, reperfilado y recompactación de la base.
	FUERTE:	Base tratada: Colocación de una capa correctiva (carpeta reniveladora) y una nueva capa de rodadura (carpeta o tratamiento superficial).

CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Insuficiente penetración (< 0.5 cm.) del riego de imprimación en bases hidráulicas. ✓ Dosificación insuficiente de ligante (asfalto) en bases tratadas con cemento asfáltico, aplicado en caliente, diluido o emulsificado. ✓ Ligante (asfalto) inadecuado o de mala calidad. ✓ Espesor insuficiente de la capa de rodadura (carpeta)
---------------------------	---

Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

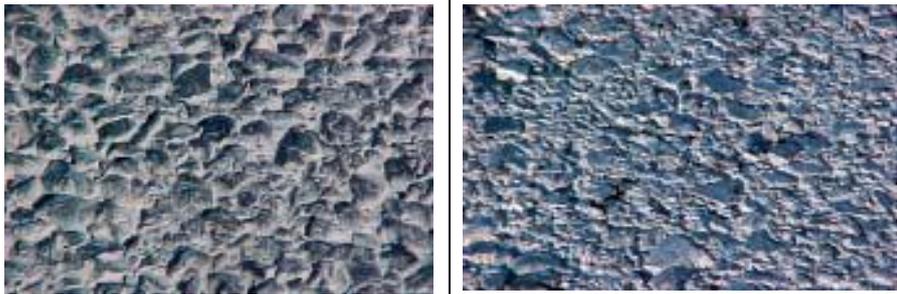
3.5.2 Alisamientos

- a) *Exudación del ligante (asfalto)*
- b) *Desgaste de áridos (agregados)*

DETERIORO:	3.5.DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 3.5.2 Alisamientos a) Exudación de asfalto (llorado)			
DESCRIPCION	Presencia de asfalto sin agregado (árido) en la superficie			
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL				
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por banda de circulación. <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">LIGERO < 10 %</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10 % < MEDIO < 50 %</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50 % < FUERTE</td> </tr> </table>	LIGERO < 10 %	10 % < MEDIO < 50 %	50 % < FUERTE
LIGERO < 10 %				
10 % < MEDIO < 50 %				
50 % < FUERTE				

FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario
	MEDIO:	Fresado superficial < 1 cm. de inmediato.
	FUERTE:	Colocación de nueva capa de rodadura.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exceso de ligante (asfalto) en la dosificación ✓ Uso de ligante (asfalto) muy blando ✓ Derrame de solventes 	

Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

DETERIORO:	3.5 DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 3.5.2 Alisamientos b) Desgaste de áridos (agregados)	
DESCRIPCION	Presencia de agregados (áridos) que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el ligante (asfalto).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Se mide el coeficiente de fricción en forma continua o puntual. Los tramos con coeficiente de fricción menor que uno deben ser atendidos de inmediato.	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	Los tramos afectados, sí corresponden a una capa de rodadura mayor que 5 cm., se fresan de inmediato. Si corresponden a un tratamiento superficial o micro carpeta, se aplica un nuevo tratamiento, con áridos (agregados) duros.	
CAUSAS COMUNES	Uso de áridos (agregado) suaves (p. ej. calizas) susceptibles al pulimiento.	

Nota: La resistencia a la fricción (valor pulido) de los áridos (agregado) después de pulidos puede medirse en el ensayo Tex – 438 - A

3.5.3 Exposición de agregados

<p>DETERIORO:</p>	<p>3.5 DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 3.5.3 Exposición de agregados</p>	
<p>DESCRIPCION</p>	<p>Presencia de agregados parcialmente expuestos fuera del mortero ligante (asfalto) – arena.</p>	
<p>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</p>		
<p>EVALUACION</p>	<p>Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m. por banda de circulación.</p> <p style="text-align: center;">LIGERO < 20 %</p> <p style="text-align: center;">20 % < MEDIO < 50 %</p> <p style="text-align: center;">50 % < FUERTE</p>	
<p>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION</p>	<p>LIGERO:</p>	<p>No requiere intervención</p>
	<p>MEDIO:</p>	<p>Nueva capa de rodadura en áreas afectadas</p>
	<p>FUERTE:</p>	<p>Nueva capa de rodadura al siguiente año en mantenimiento periódico en todo el tramo.</p>

CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de agregados (áridos) con tamaño inadecuado y distribución ✓ granulométrica deficiente en el rango de las arenas. ✓ Circulación de llantas con clavos. ✓ Segregación de los agregados (áridos) durante su manejo en obra.
---------------------------	--

Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

3.6. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA

3.6.1 Deformaciones

- a) *Roderas*
- b) *Canalizaciones*
- c) *Baches profundos*
- d) *Ondulaciones*

DETERIORO:	3.6. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.1 Deformaciones a) Roderas	
DESCRIPCION	Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas, con la aparición de cordones laterales a cada lado de la rodera.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Profundidad máxima de la rodera, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m o más. <div style="text-align: center;"> LIGERO < 2 cm. 2 cm. < MEDIO < 4 cm. 4 cm. < FUERTE </div>	
FRONTERA Y	LIGERO:	Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.

TIPO DE INTERVENCION	MEDIO:	Rellenar la rodera en forma continua en mantenimiento rutinario.
	FUERTE:	Fresar la capa de rodadura (carpeta) y sustituirla en la banda de circulación afectada.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de ligantes (asfalto) blandos. ✓ Dosificación del ligante (asfalto) en exceso. ✓ Uso de áridos (agregados) redondeados. ✓ Compactación o calidad deficiente de la base. 	

DETERIORO:	3.6. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.1 Deformaciones b) Canalizaciones (blandones)	
DESCRIPCION	Deformación del perfil transversal, tanto por hundimiento a lo largo de las rodadas como por elevación de las áreas vecinas adyacentes a las rodadas. Las deformaciones presentan una configuración más amplia que las roderas.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACIÓN	Profundidad máxima de la canalización, medida a partir de una regla colocada transversalmente sobre las elevaciones laterales, cada 100 m o más.	
	LIGERO < 2 cm.	
	2 cm.< MEDIO < 4 cm.	
	4 cm.< FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Aisladamente rellenar en sus puntos críticos la canalización en mantenimiento rutinario. Bacheo profundo.
	MEDIO:	Rellenar la rodera en forma continua en mantenimiento rutinario y programar mantenimiento periódico.
	FUERTE:	Recuperar la capa de rodadura más parte de la base para estabilizar de 15 a 20 cm., con asfalto o cemento Pórtland y reforzar la estructura. Colocar nueva capa de rodadura del espesor necesario.

CAUSAS COMUNES	✓ Capacidad estructural del pavimento insuficiente
----------------	--

DETERIORO:	3.6. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.1 Deformaciones c) Baches profundos	
DESCRIPCION	Hundimiento local de la calzada, con agrietamiento en malla cerrada y generalmente pérdida parcial de bloques de la capa de rodadura (carpeta).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, con hundimiento mayor que 2 cm., medidos a partir de una regla de 3 m.	
	LIGERO < 1 %	
	1 % < MEDIO < 10 %	
10 % < FUERTE		
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario. Bacheo
	MEDIO:	Tratamiento aislado y nueva capa de rodadura (carpeta) para refuerzo en el tramo afectado.
	FUERTE:	Recuperación de la capa de rodadura y base para estabilización en 15 ó 20 cm. Agregar nueva capa de rodadura del espesor necesario.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estructura inadecuada. ✓ Defecto constructivo aislado. ✓ Subdrenaje inadecuado. 	

Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

DETERIORO:	3.6. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.1 Deformaciones d) Ondulaciones	
DESCRIPCION	Deformaciones del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados a distancias cortas. Generalmente están acompañadas, en los sitios críticos, por grietas semicirculares.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Profundidad máxima de los valles medida a partir de una regla de 3 m colocada longitudinalmente.	
	LIGERO < 1 cm.	
	1 cm. < MEDIO < 2 cm.	
	2 cm. < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	No requiere intervención
	MEDIO:	Sustitución local de la capa de rodadura en mantenimiento rutinario.
	FUERTE:	
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Circulación lenta en pendientes pronunciadas. ✓ Frenado de vehículos pesados en intersecciones. ✓ Dosificación de ligante (asfalto) inadecuado. ✓ Áridos (agregados) redondeados. ✓ Ligantes (asfalto) blandos. 	

3.6.2 Agrietamientos

- a) *Grietas longitudinales*
- b) *Grietas transversales*
- c) *Fisuras, solas o en retícula*
- d) *Piel de cocodrilo*

DETERIORO:	3.6 DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.2 Agrietamientos a) Grietas longitudinales
DESCRIPCION	Rotura longitudinal sensiblemente paralela al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm.
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL	
EVALUACIÓN	Longitud de las grietas en tramos de 100 m., respecto a la longitud del tramo.
	LIGERO < 20 %
	20% < MEDIO < 100%
	100% < FUERTE
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	En cualquier nivel, reparar las grietas en mantenimiento rutinario, calafateándola.

CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Juntas longitudinales de construcción inadecuadamente Trabajadas. ✓ Gradiente térmico superior a los 30° C. ✓ Uso de ligantes (asfaltos) muy duros. ✓ Ligantes (asfaltos) envejecidos.
---------------------------	---

DETERIORO:	3.6 DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.2 Agrietamientos b) Grietas transversales	
DESCRIPCION	Rotura transversal sensiblemente perpendicular al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Número de grietas por tramos de 100 m. LIGERO < 2 grietas 2 grietas < MEDIO < 15 grietas 15 grietas < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO: MEDIO: FUERTE:	Reparación en mantenimiento rutinario, calafateándolas. Sustitución de la capa de rodadura (carpeta) o recapeado (rencarpetado) con espesor suficiente.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Juntas transversales de construcción inadecuadamente trabajadas. ✓ Gradiente térmico superior a 30° C. ✓ Uso de ligantes (asfaltos) muy duros. ✓ Reflejo de grietas en bases rígidas (losas de hormigón o bases estabilizadas). 	

<p>DETERIORO:</p>	<p>3.6 DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.2 Agrietamientos c) Fisuras solas o en retícula (malla)</p>							
<p>DESCRIPCION</p>	<p>Rotura longitudinal o transversal, con abertura menor que 3 mm., y separación mayor que 15 cm.</p>							
<p>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</p>								
<p>EVALUACION</p>	<p>Relación del área rectangular, de ancho igual a 0.5 m y largo igual a la longitud de cada fisura, respecto al área total en tramos de 100 m.</p> <table border="1" data-bbox="507 1352 1450 1487"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIGERO < 10 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">10% < MEDIO < 50 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">50 % < FUERTE</td> </tr> </table>		LIGERO < 10 %		10% < MEDIO < 50 %		50 % < FUERTE	
LIGERO < 10 %								
10% < MEDIO < 50 %								
50 % < FUERTE								
<p>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION</p>	<p>LIGERO:</p>	<p>Calafateo de cada fisura individual en mantenimiento rutinario.</p>						
	<p>MEDIO:</p>	<p>Lechada superficial o microcarpeta, en toda el área afectada.</p>						
	<p>FUERTE:</p>	<p>Recapeado (rencarpetado) con una nueva capa de rodadura con espesor > 5 cm.</p>						
<p>CAUSAS COMUNES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de ligantes (asfaltos) muy duros. ✓ Reflejo de fisuras en bases estabilizadas. 							

<p>DETERIORO:</p>	<p>3.6 DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.6.2 Agrietamientos d) Piel de cocodrilo (malla cerrada)</p>	
<p>DESCRIPCION</p>	<p>Roturas longitudinales y transversales, con separación menor que 15 cm., y con abertura creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada.</p>	
<p>IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL</p>		
<p>EVALUACION</p>	<p>Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m.</p>	
	<p>LIGERO < 10 %</p>	
	<p>10 % < MEDIO < 50 %</p>	
	<p>50 % < FUERTE</p>	
<p>FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION</p>	<p>LIGERO:</p>	<p>Lechada superficial en cada área afectada.</p>
	<p>MEDIO:</p>	<p>Lechada superficial en todo el tramo.</p>
	<p>FUERTE:</p>	<p>Recuperación de la capa de rodadura (carpeta) y parte de base para estabilización como refuerzo. Nueva capa de rodadura</p>
<p>CAUSAS COMUNES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incompatibilidad de deflexiones con el espesor de la carpeta de rodadura (carpeta). ✓ Subdrenaje inadecuado en sitios aislados. ✓ Uso de ligantes (asfaltos) muy duros. 	

NOTA: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

3.7. DETERIOROS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS

DETERIORO:	3.7 DETERIOROS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS	
DESCRIPCION	Deterioros que se producen por defectos en la construcción de instalaciones bajo los pavimentos. Siguen un patrón bien definido en concordancia con la instalación. Se muestran como hundimientos localizados, grietas longitudinales o transversales, etc.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
		
EVALUACION	Aplica el criterio según el tipo de deterioro	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	Aplica lo correspondiente al tipo de deterioro y su categoría.	
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inadecuado relleno de zanjas abiertas para colocar instalaciones o equipamientos. ✓ Inadecuada estructura del pavimento sobre relleno de zanjas. ✓ Materiales inadecuados en el relleno de zanja y en el pavimento sobre él. 	

CAPÍTULO IV

4.1.- FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD

Las características del cemento asfáltico es un factor de primordial importancia en la durabilidad de las capas de rodadura asfálticas.

Entre los factores más importantes que producen la disminución de la durabilidad de un asfalto en las condiciones normales de trabajo son:

4.1.1.- evaporación de los componentes volátiles.

Todo asfalto en su estructura contiene una cierta proporción de malternos conformados por compuestos de características muy diferentes, que le proporcionan la adherencia y flexibilidad; pero que dadas sus propiedades pueden llegar a volatilizarse cuando son sometidos a cambios intensos de temperatura. Esta disminución de los malternos mediante una alteración de sus componentes, se presenta en los siguientes casos:

- a. Durante el proceso de mezclado en la planta.
- b. Durante la vida útil del pavimento.

a.- Durante el proceso de mezclado en la planta

Todos conocemos el endurecimiento que se produce en los ligantes por efecto de su largo tiempo de permanencia a altas temperaturas en los tanques de almacenamiento y sobre todo durante el proceso de mezclado, al ser pulverizados en caliente sobre la superficie mineral.

Debido al espesor de película tan delgado y a las altas temperaturas a las que se sometido, el asfalto pierde fracciones volátiles.

Mientras se mantienen grandes cantidades de cemento asfáltico a temperaturas elevadas, en el recipiente calentado que lo contiene, debe haber poco cambio en sus propiedades.

Sin embargo, cuando se mezcla es asfalto caliente son los agregados, cuando se mezcla el asfalto caliente con los agregados también calientes extendiéndolos en películas delgadas sobre su superficie durante el proceso de mezclado, las condiciones son muy favorables a la pérdida de volátiles y a la oxidación.

El control de las temperaturas del asfalto, de los áridos y de la reducción al mínimo del tiempo de mezclado, evita en gran parte el endurecimiento perjudicial.

Durante el mezclado, tanto la evaporación como la oxidación son mucho más rápidas que a la temperatura del pavimento, así mismo, la naturaleza de las reacciones son diferentes a temperaturas altas y bajas, produciendo cambios físicos también muy diferentes.

b.- En el pavimento

Este es un proceso de larga duración aunque el asfalto es sometido a temperaturas moderadas, las características propias de la mezcla pueden llegar a afectar irreversiblemente su durabilidad.

Una vez puesta en obra la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo la acción del oxígeno, caracterizada por la radiación ultravioleta de la luz solar, y la elevación de temperatura, producen una oxidación de las moléculas más susceptibles y como consecuencia un envejecimiento del ligante.

Como resultado final, los ligantes presentan una mayor o menor evolución o envejecimiento. Las alteraciones anteriores van a modificar las propiedades de flujo y variar su consistencia; el asfalto va perdiendo su poder ligante, se torna frágil y quebradizo permitiendo que el agua penetre a través de la película y desplace el asfalto con el consiguiente deterioro de la mezcla.

Estudios realizados demuestran que los mayores cambios ocurren durante el mezclado; el ensayo utilizado con mayor frecuencia para reproducir dicha acción es el de pérdida por calentamiento en película delgada (ASTM-D-1754).

4.1.2.- La acción química del oxígeno de la atmósfera.

El asfalto tiene como principal componente los hidrocarburos y, como todos los materiales, son oxidados por el oxígeno proveniente

de la atmósfera, lo que provoca un cambio de la estructura coloidal del material de tipo sol a gel, lo cual se traduce en un aumento en el contenido de los asfaltenos y una disminución de los maltenos, con el consiguiente aumento en la rigidez constituyendo una estructura no flexible y que fácilmente se puede romper.

4.1.3.- El endurecimiento por envejecimiento.

Otro cambio que se presenta, independiente de las pérdidas por evaporación o la oxidación, es el endurecimiento con el tiempo, en el cual el cemento asfáltico se endurece solamente por un lento cambio en su estructura molecular interna.

El comportamiento deficiente de la capa de rodadura, descartada la oxidación y la volatilización, se debe a la cristalización, producida muy posiblemente, por las reacciones filler-asfalto.

Se ha demostrado que los asfaltos tipo gel son especialmente propensos a endurecerse con el tiempo.

Es posible que los cambios endurecidos por otros factores, generen en el asfalto una estructura que favorezca el endurecimiento con el tiempo.

4.1.4.- La polimerización producida por los cambios químicos en el asfalto.

Particularmente cuando es sometido tanto a altas como a bajas temperaturas, se produce un cambio en la estructuración de las moléculas de asfalto, en donde se van a formar enlaces débiles carbono-carbono en grandes cadenas lineales, lo que conlleva a

una pérdida de poder ligante facilitando la acción del agua.

4.2.- PROCESOS QUE CONDUCEN AL ENVEJECIMIENTO DE LOS ASFALTOS

El envejecimiento de los asfaltos se produce por consecuencia lógica del desgaste producido por el uso y sin número de factores, que ocurren diariamente.

Después de un periodo de servicio resulta necesario hacer una serie de trabajos tendientes a dejar la obra en las mismas condiciones en que se encontraba en el momento de su puesta en servicio, y en algunos casos hacer un nuevo tipo de pavimentos

que se adapten a los mayores requerimientos del tránsito que puedan haberse producido.

Además del uso normal pueden existir otros factores que aceleran el envejecimiento tales como:

- ✓ Aumento de tránsito por desvíos, reconstrucciones, etc.
- ✓ Aumentos de las cargas por eje.
- ✓ Conocimientos sólo parciales de algunos materiales locales utilizados.
- ✓ Factores climáticos adversos que han superado las previsiones.
- ✓ Escasa conservación o falta de oportunidad de las mismas debido a la permanente limitación de recursos.

4.3.- PROCEDIMIENTO DE ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO

Todos los asfaltos tienen una combinación de elementos químicos básicamente similares, el asfalto ecuatoriano lo tiene en aproximadamente un 84% de carbono, 10,2% de hidrogeno y 0,6% de Nitrógeno a lo que se agregan otros elementos en mínimas proporciones.

Lo que produce las diferencias entre los distintos componentes es la forma en que los átomos de Carbono se unen entre sí para formar las moléculas, identificamos las tres formas diferentes en las que se agrupan la mayoría de los compuestos presentes en el asfalto. Los grupos parafínicos pertenecen a las cadenas lineales o ramificadas, también llamadas asfálticas.

Los grupos nafténicos corresponden a anillos simples o complejos saturados en los que se presenta la mayor cantidad de átomos de hidrógeno vinculada al carbono.

Los aromáticos en forma de anillos con enlaces de nitrógeno, sulfuros u otros compuestos polares.

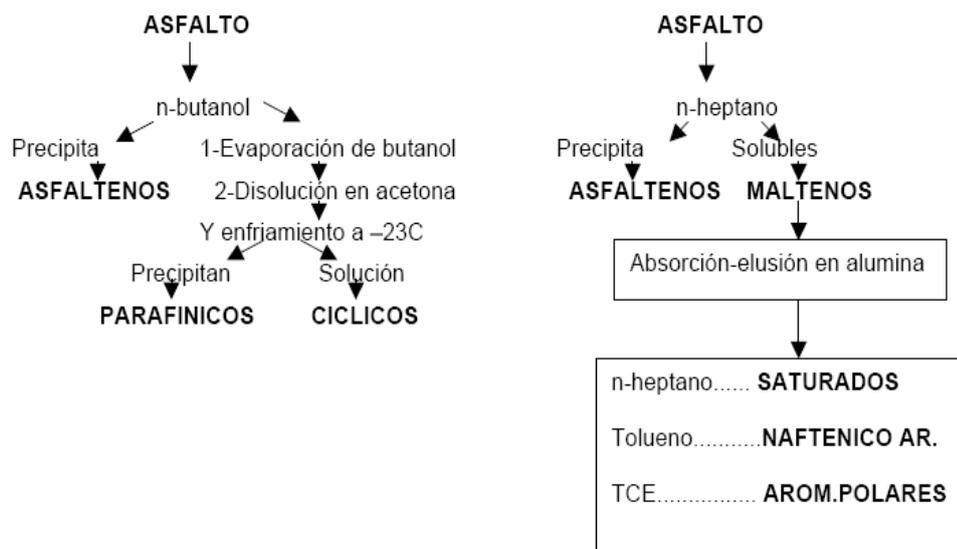


Figura 4.1 (Composición del Asfalto)

En términos ingenieriles dividimos los asfaltos en tres fracciones: oleosas, resinas y asfáltenos; siendo esta última la que tiene mayor incidencia en las propiedades viales de los asfaltos debido a su baja solubilidad en los otros componentes.

La relación existente entre ellas produce comportamientos diferentes, el comportamiento vial más deseado se obtiene cuando la relación entre las fracciones mantiene en equilibrio un estado de solución coloidal.

Los rayos ultravioleta de la luz solar, los ciclos de temperatura, la humedad ambiente, la acción del oxígeno contenido en el aire, y el flujo vehicular son agentes agresivos para la composición química

de los asfaltos. Todos los compuestos constitutivos sufren este cambio de composición, en distinto grado y son aquellos que poseen moléculas de hidrógeno u otros elementos en posiciones en las que su vínculo es débil, donde se produce la oxidación de esa molécula reduciéndose de esa manera el porcentaje de aromáticos y de resinas, incrementándose la fracción relativa de asfáltenos.

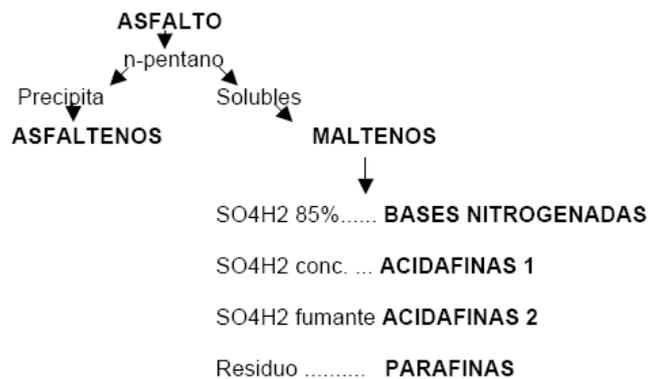


Figura 4.2 (Composición del Asfalto)

La pérdida de estado de solución coloidal se percibe como un endurecimiento del asfalto, con pérdida o disminución de sus propiedades ingenieriles.

Como resultado de la búsqueda de productos que mejoran el comportamiento de los asfaltos envejecidos, se han encontrado en aceites ricos en maltenos, que incorporados al asfalto incrementan la solubilidad de los asfaltenos y regeneran los comportamientos de solución coloidal.

Desde el mismo principio de vida en servicio de la capa asfáltica, para determinadas condiciones de temperatura y velocidad de desplazamiento de las cargas, se producen fisuras microscópicas

en la misma. Ello posibilita el ingreso de moléculas de agua y de aire, ambas con un efecto oxidante.

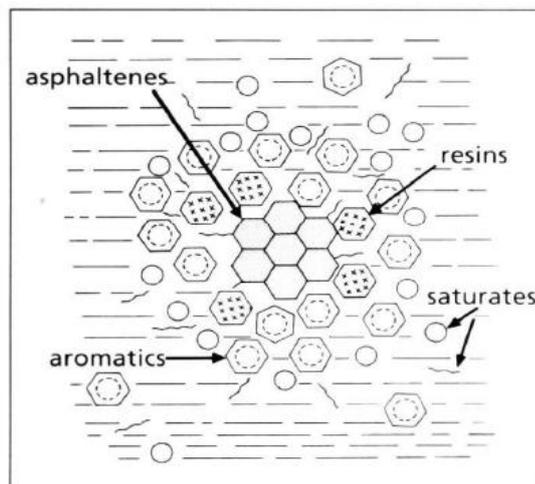


Figura 4.3 (Composición interna del Asfalto)

En ambos casos lo que finalmente ocurre es que se pierde la ligazón de una pared de la fisura con la otra y entonces la capa comienza a aumentar los esfuerzos verticales y causan fuertes compresiones, produciendo la degradación de los agregados.

Hay entonces movimientos diferenciales dentro de la capa posibilitando mayor ingreso de elementos exógenos y un aceleramiento del proceso de deterioro. También se produce el deterioro de la carpeta por inadecuado diseño de la mezcla o de la estructura.

Es factible restaurar las propiedades iniciales del ligante a través del rejuvenecimiento asfáltico, para ello se utilizarán agentes rejuvenecedores en la cantidad que resulte necesaria según sea el grado de envejecimiento alcanzado y las propiedades iniciales del ligante. En cuanto a regenerar la composición granulométrica de la mezcla, también es factible obtener una granulometría similar a

la del origen, para ello se utilizará en el proceso de reciclado un corrector granulométrico adecuado.

La técnica de Rejuvenecimiento asfáltico es el proceso mediante el cual se produce la restitución de las características físicas y químicas del ligante bituminoso y de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que han sufrido deterioro debido a la acción del clima y del tránsito principalmente.

En esta técnica los materiales reciclados requieren correcciones en su composición granulométrica y la restitución de la consistencia y estructura química del asfalto envejecido. Los principales factores que han contribuido al desarrollo de las técnicas de recuperación de asfaltos son:

- ✓ El progresivo agotamiento de las fuentes de los materiales pétreos y los costos de transporte cuando los áridos de calidad se encuentran a distancias importantes de las obras.
- ✓ El inadecuado manejo de residuos de bacheo y remoción de carpetas causan graves problemas ambientales.
- ✓ El desarrollo de equipos modernos, eficientes, permiten rendimientos y costos que hacen económicamente comparable las técnicas de recuperación con las tecnologías tradicionales,

resultando para algunos casos, como la alternativa más económica.

- ✓ Los problemas técnicos y constructivos originados por los métodos tradicionales de superposición de capas, en calzadas urbanas, puentes, túneles, etc. se minimizan utilizando la técnica de rejuvenecimiento porque se conservan las cotas y cargas muertas originales.
- ✓ El desarrollo de ésta tecnología en lo referente a procedimientos de laboratorio para diseño y control, a la producción de materiales correctores y rejuvenecedores, ha permitido el aprovechamiento de los áridos y del ligante bituminoso presentes en las mezclas asfálticas de pavimentos en mal estado que requieran actividades de rehabilitación.

4.4.- COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su [comportamiento](#). El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto.

A altas temperaturas de [servicio](#), puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El [riesgo](#) de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados.

Por otro lado a temperaturas de [servicios](#) bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo [poder](#) de [resistencia](#) a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones.

El grado de susceptibilidad a la figuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por el tráfico, disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el [riesgo](#) de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de la mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas.

CAPÍTULO V

5.- RECUPERACIÓN DEL ASFALTO ENVEJECIDO

5.1.- TÉCNICAS PARA MODIFICAR ASFALTOS ENVEJECIDOS.

Cuando se añade polímeros al asfalto envejecido, las propiedades del asfalto envejecido modificado dependen de los siguientes parámetros:

- ✓ Tipo de polímero a emplearse ya sean elastómeros o plástomeros
- ✓ Su forma física
- ✓ Tipo de equipo
- ✓ Tiempo y temperatura durante el mezclado
- ✓ La compatibilidad Asfalto – polímero

El proceso apropiado de modificación es variable de acuerdo al tipo de polímero, polímeros del tipo SBS requieren etapas de molienda y otros como el tipo EVA requieren solamente proceso de agitación.

Se mencionan de manera general las etapas importantes del proceso de modificación.

Para tipo I. SBS:

Etapas 1. Evaluar el asfalto base.

Etapas 2. Incrementar la temperatura del asfalto.

Etapas 3. Proceso de molienda y/o homogeneización asfalto –

Polímero. Se requiere de un molido de alto corte.

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

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

Las temperaturas de mezclado oscilan entre 180 grados centígrados y 190 grados centígrados. Y el tiempo de mezclado varía dependiendo la dispersión del polímero.

Para tipo II. Látex SBR.

La operación de modificación se lleva a cabo a una temperatura de 160 – 170 grados centígrados. La adición del látex se realiza mediante una bomba de diafragma que puede ser adicionada mediante aire o motor eléctrico.

El tiempo de agitación depende del equipo empleado. Los tiempos normales para todo el proceso del látex y mezclado oscilan entre 1.5 y 2 horas.

Para tipo III. EVA.

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

5.2.- Cambio de propiedades en el ligante asfáltico.

El objetivo perseguido con las adiciones de polímero en el asfalto envejecido, es recuperar las propiedades físicas y reológicas del ligante, buscando:

- ✓ Aumentar la viscosidad, dependiendo de la cantidad y tipo de polímero.
- ✓ Disminuye la penetración.
- ✓ Disminuye la susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- ✓ Recuperación elástica del asfalto envejecido hasta un 70% en comparación al envejecido.
- ✓ Amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento.
- ✓ Mejora intervalo de plasticidad
- ✓ Mejora resistencia a la acción del agua

Las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores:

- ✓ Tipo y composición del polímero incorporado.
- ✓ Características y estructura coloidal del asfalto envejecido base.
- ✓ Proporción relativa del asfalto envejecido base.

5.3.- Proceso constructivo del Asfalto Envejecido Modificado.

El proceso de elaboración del asfalto envejecido modificado en planta se realiza con los siguientes pasos:

1. Se retira el asfalto envejecido de la vía, utilizando el fresado en frío.
2. Se procura fresar y/o machacar el material hasta lograr un tamaño máximo de partículas de 38 mm.

3. Se realiza el ensayo de "Contenido de ligante en mezclas bituminosas, NTL 164/90", utilizando como disolvente diclorometano y como método de extracción cualquier que implique la utilización de centrifugas de filler.
4. Luego la solución de ligante en disolvente se someterá al ensayo "Recuperación de mezclas bituminosas para su caracterización, NLT- 353/85", preferente utilizando el método del destilados rotatorio.
5. Una vez realizado estos ensayos se procede agregar el rejuvenecedor (polímero compatible), en el porcentaje calculado y se agrega un cierto porcentaje de asfalto nuevo, para que nos ayude a recuperar las características

perdidas por el asfalto envejecido contenido en el material fresado y cumplir con los contenidos de ligante total en mezcla exigidos para el tipo de capa del que se trate.

La idea de la incorporación de un porcentaje de asfalto de aportación es que, junto con el ligante envejecido, constituyan un ligante final de características similares a las que ofrece un asfalto nuevo en una mezcla en caliente convencional.

El ligante final será la suma del ligante envejecido y el ligante de aportación y deberá tener unas características lo más próximas a un betún nuevo en cuanto a su composición, y con una penetración que se ajuste a los valores especificados para el tipo de mezcla, climatología y tráfico del proyecto del que se trate.

La mezcla se lo realiza de la siguiente manera:

1. Se transfiere asfalto envejecido al tanque de modificado (34400 lts.).
2. Una vez terminado el proceso de transferencia de asfalto, se inicia la agitación.
3. Se somete el asfalto a calentamiento a una temperatura controlada de 185 – 190 grados centígrados.
4. Se dosifica el polímero (1030 Kg.) dependiendo del volumen del tanque (34400 lts.), para prepara un concentrado al 3.0% de polímero.
5. El polímero se agrega al molino a una velocidad de 20 a 25 Kg. /minuto.
6. El asfalto debe mantenerse en un rango de temperatura de 180 a 190 grados centígrados. Al mismo tiempo es agitado por aproximadamente 5 horas en condiciones de agitación constante y en rango de temperatura antes mencionado.
7. Después de que el periodo de dispersión a transcurrido, se debe observar que el polímero este incorporado completamente al asfalto envejecido.
8. Se procede a la mezcla del asfalto envejecido modificado con el asfalto nuevo, para constituir un ligante final.
9. El asfalto se debe controlar a una temperatura de $175^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por una hora, antes de su utilización.

CAPÍTULO VI

6.- TRABAJO DE INVESTIGACIÓN APLICADO EN ESTE CAMPO

6.1.- ASFALTO ENVEJECIDO MODIFICADO CON POLIMERO.

Haciendo un poco de historia, los asfaltos se utilizaron primero en las emulsiones para impermeabilizantes y después se empezaron a utilizar en la pavimentación; en riego como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente se empezó a modificar el cemento asfáltico para utilizarse cuando se requería un asfalto de mejor calidad o mayor resistencia que la que ofrecía un elemento asfáltico normal.

6.1.1 Definición de Polímero.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

- ✓ Homopolímeros: Que tienen una sola unidad estructural (monómero).

- ✓ Copo limeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).
- ✓ Elastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tiene deformaciones pseudos plásticas con poca elasticidad.

Dentro de estos tenemos:

- ✓ EVA: etileno-acetato de vinilo.
- ✓ EMA: Etileno-acrilato de metilo
- ✓ PE: (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- ✓ PP: (Polipropileno).
- ✓ Poliestireno: no son casi usados.
- ✓ Elastómeros: al estirarlos, a diferencia de los anteriores, estos vuelven a su posición original, es decir, son elásticos.

Dentro de estos tenemos:

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

- ✓ EPDM: (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al [calor](#) y a los agentes químicos.
- ✓ Termoendurecibles: estos tienen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Son ejemplos de estos las resinas epóxi; estas se usan en grandes porcentajes, mayores al 20%, son muy costosas y se utilizan para casos especiales (ejemplo: playa de camiones).

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero y la otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una [matriz](#) continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una [inversión](#) de fases, estando la fase continua constituida por el polímero y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Esta micromorfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del [cambio](#) de propiedades.

6.1.2.- ¿Qué es un asfalto envejecido modificado?

Los materiales asfálticos envejecidos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto envejecido, de un polímero o de hule molido de neumático, que son sustancias

estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añade al material asfáltico para

modificar sus propiedades físicas y reológicas y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua.

También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperaturas.

6.1.3.- Principales modificadores utilizados en el Asfalto.

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- ✓ POLÍMERO TIPO I: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como bajas temperaturas. Es fabricado

con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radicales de tipo bloque, mediante configuraciones como Estireno – Butadieno – Estireno (SBS) o Estireno– Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas

estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados,

en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- ✓ POLÍMERO TIPO II: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas: Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno – Látex o Neopreno – Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- ✓ POLÍMERO TIPO III: Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- ✓ **HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS:** Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que se compatible con el asfalto base.

En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia y flexibilidad al pavimento, mientras que

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 que se utiliza.

6.1.4.- ¿Por qué se modifican los asfaltos?

Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito.

Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular aunado al

exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos

convencionales en la construcción de carreteras actualmente no satisfagan sus expectativas como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son causados además por la selección en los diseños, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta.

Además con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos envejecidos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a asfaltos envejecidos modificados.

6.1.5.- Modificación del Asfalto Envejecido.

La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento afectivo de asfaltos en la pavimentación de vías carreteras. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos envejecidos con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetos que se persiguen con la modificación de los asfaltos envejecidos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (roderas), de las mezclas que componen las capas o superficies del rodamiento, aumentando la rigidez.

Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

6.1.6.- Estructura de los Asfaltos Envejecidos Modificados.

Los asfaltos envejecidos modificados con polímeros están constituidos por fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hincado y otra por asfalto.

En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existen entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos envejecidos con polímeros.

6.1.7.- Compatibilidad de los Polímeros.

Para que los asfaltos envejecidos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas hay que seleccionar

cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material

asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje.

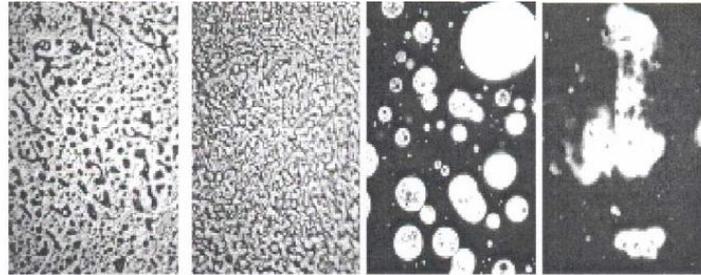
Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.); y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos envejecidos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En las microfotografías (Figura 6.1) muestran polímeros tipo SB o SBS en diferentes asfaltos (lo blanco es polímero y lo negro es asfalto). Las dos primeras presentan una red

continua de polímero, teniendo en estructura estable que no se separa, tomando ventaja de las propiedades elásticas del polímero. Las dos siguientes no están en red, separadas durante el almacenaje, y por tanto, no tendrán el mismo incremento benéfico sobre las distintas propiedades.



AC-20 Madero Con Reacción	AC-20 Tula Con Reacción	AC-20 Tula Sin Reacción	AC-20 Salamanca Sin Reacción
------------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------------

Figura 6.1 (Microfotografías)

Algunos productores de asfalto envejecido polimerizado utilizan procesos especiales para lograr compatibilidad entre el polímero y el asfalto. Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades del ligante pueden reducir el efecto de las roderas, el desprendimiento de petróleos al agrietamiento térmico o fluencia de la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

6.2.- ESPECIFICACIONES

En razón que los asfaltos presentan un comportamiento reológico de tipo viscoelástico, la adición de un polímero incrementa su componente elástico. Los [ensayos](#) típicos de "Penetración" y "Punto de Ablandamiento", no miden elasticidad ni recuperación elástica, características típicas de los asfaltos modificados, de ahí que deba recurrirse a otros tipos de [ensayos](#).

Un [método](#) que ha sido adoptado en muchos países de [Europa](#), es el de "Recuperación elástica", basado en [el ensayo](#) convencional de "Ductilidad".

Hasta el momento no se tiene [conocimiento](#) de una especificación para asfaltos envejecidos modificados con polímeros, por parte de [instituciones](#) oficiales. Sí se conocen especificaciones que se ajustan a determinados [productos](#) comerciales; en estas especificaciones se incluyen, el [ensayo](#) de "Recuperación elástica".

6.3.- METODOLOGIA APLICADA EN EL LABORATORIO.

La metodología utilizada consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

1. Selección de un asfalto que por su consistencia de a la combinación de ligantes. Las propiedades reológicas requeridas para la nueva mezcla reciclada.
2. Recolección de muestras de asfalto de la Refinería de Esmeraldas con el fin de caracterizarlo para su posterior utilización en el diseño del rejuvenecimiento posterior a la oxidación.

3. Caracterización del Asfalto original de la Refinería de Esmeraldas utilizando las siguientes pruebas:

- ✓ Penetración (anexo N° 1)
- ✓ Ensayo de ductilidad (anexo N° 2)
- ✓ Ensayo de Reblandecimiento (anexo N° 3)
- ✓ Ensayo Cleveland (anexo N° 4)

4. Resultados de los ensayos realizados para la caracterización del asfalto.

5. Envejecimiento del asfalto por medio del siguiente ensayo

- ✓ Ensayo de Película Delgada (anexo N° 5)

6. Resultado del ensayo de película delgada.

7. Recuperación del asfalto envejecido por medio de la utilización de polímeros a diferentes porcentajes

8. Resultado del porcentaje que presentó mejor desempeño, entendiéndose como aquel que afecto de forma más positiva las características mecánicas y de durabilidad de las mezclas recicladas.

A continuación se realizará una detallada explicación de las diferentes actividades realizadas en laboratorio mencionadas anteriormente

2.- Recolección de muestras de asfalto de la Refinería de Esmeraldas

Para realizar las diferentes actividades en el laboratorio, se requería obtener una muestra de asfalto AP3 de penetración (60-70) utilizado en la Costa y el asfalto AP3 de penetración (80-100), utilizado en la Sierra Ecuatoriana.

3.- Caracterización del Asfalto

Una vez obtenida las muestras de asfalto, tanto para la sierra como para la costa, en el laboratorio de asfaltos de las Escuela Politécnica del Ejército, se realizó los ensayos necesarios que exige el Ministerio de Obras Publicas, con el propósito de comprobar si las características del asfalto son las necesarias para la utilización como ligante para capa de rodadura.

Para esta comprobación realizamos el ensayo de Penetración cuyo objetivo es la determinación de las propiedades de fluencia de los productos asfálticos de viscosidad muy elevada.

Para este ensayo, calentamos la muestra en una hornilla procurando no superar los 150°C temperatura ya que si se sobrepasa esta temperatura el asfalto pierde parte de sus propiedades y características.

Una vez el asfalto calentado, se verte en un recipiente ya sea de vidrio o metal, cuyas dimensiones son de 55 milímetros de diámetro y 35 milímetros de altura.

Ya preparada la muestra se la deja enfriar aproximadamente unos 60 a 90 minutos, mientras tanto se procura llenar de agua y regular la temperatura en el baño maría a 25°C, manteniéndola constante durante una hora.

Fría la muestra se la coloca dentro del agua del baño maría, procurando que la muestra se encuentre totalmente sumergida, y

se la deja en el baño durante una hora, hasta que el conjunto por completo tenga una temperatura de 25°C con un error de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Luego retiramos la muestra del baño maría, y la llevamos al aparato de penetración, el mismo que tiene una aguja estándar hecha de una barra cilíndrica de acero de aproximadamente 50,8 mm. (2 ") de longitud y de 1,00 a 1,02 mm. de diámetro.

Esta aguja debe ser afilada simétricamente en un extremo hasta formar un cono de aproximadamente 6,35 mm. (1/4 ") de altura y cuyo ángulo este dentro del rango de $8^{\circ} 40'$ y $9^{\circ} 40'$.

Después de afilada se recortará la punta para formar un cono truncado cuya base menor tenga un diámetro de 0,14 a 0,16 mm. La aguja terminada será endurecida y finalmente pulida. La longitud expuesta de la aguja, una vez montada en el herrete del aparato de penetración debe ser aproximadamente de 41,27 mm.

Se coloca la muestra de asfalto sobre la plataforma del penetrómetro e inmediatamente se baja la aguja cuidadosamente hasta que la punta esté tocando la superficie de la muestra.

Se procede a encerar el dial que se encuentra en la parte superior del aparato y con ayuda de un contador electrónico, se deje caer la aguja dentro de la muestra por un tiempo de 5 segundos. Una vez realizado esto se toma el valor marcado en el dial. Se realiza este procedimiento en la misma muestra con la condición que se deje caer la aguja a una distancia de un centímetro de la última huella deja por el anterior ensayo.

Este ensayo se realizó 8 veces para determinar las posibles variaciones, por lo que se obtuvo los siguientes resultados:

El segundo ensayo que se realizó con las muestras de asfalto fue el de Ductilidad.

Este ensayo tiene como objetivo determinar la distancia en centímetros que una muestra normalizada de un producto asfáltico puede alargarse antes de romperse.

Para lo cual se procede a colocar un líquido (mercurio-cromo), en la placa y las piezas laterales. Este líquido ayuda a que la muestra de asfalto con las piezas y la placa no queden adheridas al momento del ensayo.

El asfalto se calienta hasta que este completamente líquido procurando que la temperatura a la que se lo calentó sea menor a 100°C, agitándolo

con ayuda de una espátula constantemente para poder eliminar las burbujas de aire que pueda contener.

Una vez realizado el calentamiento y la eliminación del contenido de aire, se procede a verter el asfalto en la placa, procurando que el llenado sea constante y equitativo, para lo cual se procura tener un chorro fino, y recorrer el molde de un extremo a otro, hasta que se llene el molde completamente, procurando que el asfalto no rebase el molde y evitando las burbujas de aire.

Teniendo la muestra dentro de la placa y las piezas laterales, se procede con ayuda de una espátula caliente a retirar el exceso de asfalto procurando que se encuentre al ras del las piezas laterales. Una vez realizado esto; el conjunto se lo deja enfriar a temperatura ambiente por un tiempo de aproximadamente una hora.

Transcurrido el tiempo de enfriamiento el conjunto se lo introduce al baño maría durante una hora a una temperatura constante de 25°C, temperatura a la que se realizara el ensayo de ductilidad.

Mientras tanto la piscina del aparato de ductilidad se la llena con agua, procurando que la temperatura sea de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ durante 20 minutos para poder comenzar el ensayo.

Una vez cumplido todos los requerimientos necesarios; se retira del baño maría la muestra de asfalto e inmediatamente, se retira la placa y las piezas laterales para colocarlo en la máquina de ductilidad.

Ya en la máquina de ductilidad; se coloca la muestra de tal manera que se acoplen los orificios de las abrazaderas con los pasadores del aparato, y se somete a la muestra de asfalto a tracción a una velocidad de $5 \pm 0,25$ cm. por minuto.

Durante la ejecución del ensayo observamos que el asfalto, empezó a alargarse, el momento de su rotura se detiene la máquina para medir la distancia a la que la muestra deja de actuar a la tracción

EL ensayo de ductilidad se realizó 8 veces para determinar las posibles variaciones, por lo que se obtuvo los siguientes resultados:

A continuación se realizó el ensayo de ablandamiento también conocido como punto de reblandecimiento.

Se conoce como punto de reblandecimiento de un material bituminoso, como la temperatura a la cual una probeta (pastilla) del material en forma de disco, mantenida horizontalmente dentro de un anillo, es obligada a deformarse por el peso de una bola de acero y toca una superficie de un baño (matraz de vidrio) situada a una pulgada (2,54 cm.) cuando se calienta a una velocidad determinada dentro del baño con agua destilada y glicerina.

Para realizar este ensayo se calienta la muestra de asfalto a una temperatura inferior a los 100°C con el fin de que, la muestra se encuentra en estado líquido para verter.

Se coloca los dos anillos sobre una placa, la misma que tiene que estar con mercurio cromo para el momento del llenado y enfriamiento de los anillos con el asfalto no queden adheridas a la placa.

Ya obtenido es estado líquido del asfalto, se procede a verter en los anillos, con un chorro fino con movimientos circulares para evitar la acumulación en ciertos sectores y la presencia de burbujas de aire, las

mismas que no permitirán obtener buenos resultados al momento de la ejecución del ensayo.

Con ayuda de una espátula previamente caliente, se procede a retirar el exceso de asfalto, para dejar al ras la parte superior del anillo que contiene la muestra, y todo este conjunto se lo deja enfriar a temperatura ambiente durante una hora a hora y media.

Mientras tanto se llena de agua destilada en un baso de precipitación, y se lo expone al calor para mantener una temperatura inicial de 25°C, luego se introduce el soporte de los anillos, la muestra con el anillo y la esfera (bola de acero de 9.53mm de diámetro y con un peso entre 3,45 a 3,55 gramos) durante 20 minutos para que todo el conjunto tenga una temperatura de 25°C.

Después se coloca la guía de la esfera sobre el anillo, y la esfera dentro de la guía, y se procede aplicar calor a todo el conjunto; de tal manera que la temperatura del agua destilada aumente de $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ por minuto.

A medida que incrementa la temperatura, la esfera empieza a empujar la muestra de asfalto en el anillo, y esta empieza a reblandecerse hasta tocar la base inferior; que se encuentra a una distancia de 2.54 cm.

El ensayo de reblandecimiento se realizó 8 veces para determinar las posibles variaciones, por lo que se obtuvo los siguientes resultados:

Procedemos a realizar el ensayo de punto de inflamación

Se define el punto de Inflamación (o de llama) como la temperatura a la que se producen destellos por inflamación de los vapores desprendidos por el material bituminoso al ser éste tratado en las condiciones que se especifican en el ensayo.

El punto de combustión (o de fuego) es la temperatura a la que se produce la combustión de estos vapores, por lo menos durante cinco segundos, en condiciones de ensayo.

El punto de inflamación indica la temperatura crítica por encima de la cual habrán de tomarse las precauciones adecuadas durante la manipulación y puesta en obra del producto bituminoso de manera de evitar el peligro de incendio, así como para determinar la calidad del solvente y del asfalto.

Para comenzar con el ensayo, se calienta el asfalto a una temperatura menor de 100°C, con el fin de que el asfalto quede en estado líquido para poder verterlo en vaso abierto Cleveland.

El vaso Cleveland antes de su llenado, se debe revisar que no contenga algún tipo de mancha, suciedad o solvente que no se haya retirado el momento de su limpieza.

Se verte el asfalto líquido en el vaso Cleveland hasta la marca que se encuentra en el interior del vaso, procurando que no exista aire en su interior o burbujas en la superficie, luego se procede a colocar todo este conjunto sobre una base metálica, la misma que se calentará cuando este se lo expone al fuego del mechero.

Una vez expuesta al fuego, se procura que la velocidad de calentado no exceda de 16.5°C (30°F) por minuto hasta poder alcanzar una temperatura de aproximadamente 55.6°C (100°F).

Esta temperatura se la va midiendo gradualmente con el termómetro cada 6 minutos para procurar que las condiciones del ensayo sean las óptimas, y una vez alcanzados los 55.6°C (100°F), se procura disminuir la velocidad de calentado procurando que la temperatura varíe entre 5 y 6°C por minuto, para lo cual se procuro levantar el vaso Cleveland de tal manera que se aleje de la llama del mechero, pero sin descuidar que baje la temperatura del asfalto.

Mientras sube la temperatura gradualmente se enciende una llama auxiliar, la misma que se pasará por la parte superior del vaso Cleveland, para producir el punto de inflamación del asfalto.

Las pasadas que se harán por la parte superior del vaso serán aproximadamente de un segundo, hasta que el asfalto tenga una llama que aproximadamente debe tener un diámetro comprendido entre 3.2 y 4.8 mm.

El ensayo de Cleveland se realizó 8 veces para determinar las posibles variaciones, por lo que se obtuvo los siguientes resultados:

4.- Resultados de los ensayos realizados para la caracterización del asfalto.

5.- Envejecimiento del asfalto por medio del ensayo de envejecimiento con el horno de película delgada.

Este procedimiento simula el envejecimiento del asfalto el cual ocurre en la vía simulando un desgaste.

Para lo cual procedimos a precalentar el horno de película delgada con 16 horas previas para realizar este ensayo, procurando que la temperatura del ensayo sea estable la misma que tiene que ser de 163°C (325°F).

Mientras tanto exponemos al asfalto al calor de la hornilla, para que sea más manejable y poder trastornarlo en algún recipiente.

Con ayuda de una balanza pesamos 35 gramos con un error de $\pm 0,5$ g de asfalto, y lo llenamos con este peso 6 tubos y procedemos a dejar enfriar estos tubos durante aproximadamente 60 minutos expuestos al ambiente.

Luego con la balanza registramos el peso de dos tubos previamente identificados con una precisión de 0.001 gramos

A continuación preparamos el horno ya que se debe mantener una temperatura constante para el ensayo para lo cual se revisa que el horno siga encendido y con un rango de temperatura alto, la entrada de aire del compresor tiene que estar encendido, para lo cual regulamos la entrada de aire del compresor hasta poder obtener una lectura de 50 psi.

Luego en el botón de medidos de flujo, se procura regularlo a la mitad es decir hasta que se encuentre en el numero 4, una vez realizado todo este procedimiento revisamos que la temperatura siga constante de 163°C.

Si se obtiene la temperatura de 163°C se procede a detener el rango de temperatura, y abriendo la puerta lo menos posible, empezamos a colocar los tubos con la muestras de asfalto, rotando los porta tubos si

es necesario, pero se lo debe hacer en una forma precisa y rápida ya que el horno debe mantenerse en la temperatura anteriormente indicada.

Una vez colocadas todas las muestras en el horno, procedemos a encender el rack de las muestras y esperamos 85 minutos para que todo el conjunto de las 6 muestras y el horno tomen una misma temperatura.

Ya transcurrido este tiempo la temperatura del horno baja por lo cual se sube la temperatura de tal manera que el horno recobre la temperatura de 163°C en diez minutos, y de esta manera procuramos una temperatura constante.

Al terminar los 85 minutos, procedemos a apagar la tabla giratoria, y con mucho cuidado de sufrir quemadura alguna, retiramos los tubos, los mismos que se procede a vaciarlos en un molde.

El asfalto, después del horno, se debe realizar las pruebas pertinentes en un periodo no mayor a 72 horas, en nuestro caso el siguiente ensayo sería la mezcla con los diferentes

porcentajes de polímero, para lograr determinar el porcentaje óptimo para rejuvenecer el asfalto envejecido.

Este procedimiento se lo realizo dos veces una con el asfalto AP3 de la sierra y el AP3 de la costa, teniendo muy en cuenta que este ensayo se lo realiza con un solo tipo de asfalto.

6.- Resultado del ensayo de película delgada.

7.- Recuperación del asfalto envejecido por medio de la utilización de polímeros a diferentes porcentajes

El siguiente ensayo tiene como objetivo el recuperar, en un porcentaje, las características iniciales de empleo del asfalto, a través de la incorporación de polímero cuyas características plásticas, y elásticas permiten darle nuevamente el funcionamiento idóneo que las vías necesitan, sin embargo, aunque la recuperación tanto de dureza, elasticidad, ductilidad y soporte (penetración), no alcanzarán en su gran mayoría las ideales iniciales, el porcentaje que se recupere lo podrá mantener en un 70 % eficaz y respondiendo a exigencias y normas que implican el grado de requerimiento en las vías del Ecuador.

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia [mecánica](#), de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza. Se pueden usar en [aleaciones](#) con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un [plástico](#) de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.

Sus cualidades son una baja temperatura de ablandamiento, baja resistencia ambiental y baja resistencia a los agentes químicos

Para realizar el ensayo se utilizó el siguiente equipo:

- ✓ Bomba neumática para látex, de 60HP
- ✓ Tubos ensayo de 250 ml
- ✓ Muestra de asfalto envejecido (1 litro)
- ✓ Cuenta gotas para látex.
- ✓ Plato giratorio
- ✓ Hornilla para calentar el asfalto

A continuación realizamos el siguiente procedimiento:

Precalentamos la muestra de asfalto hasta conseguir una temperatura de 120 °C, procedemos a instalar el cuentagotas con el propósito de que el sistema quede listo para iniciar el proceso de polimerización del asfalto, previa regulación de la bomba de látex, emitirá la cantidad de polímero hasta que la tubería de la bomba hacia el cuenta gotas quede sin ninguna cantidad de aire que posteriormente altere la cantidad establecida, o interrumpa el proceso.

La bomba automatizada procede al calentamiento del polímero hasta alcanzar una temperatura en la cual el látex fluya por la manguera hacia el cuenta gotas, en nuestro caso, y con el polímero utilizado la bomba requirió alcanzar la temperatura de 107.5°C, en 20 minutos, mientras tanto el asfalto dentro del recipiente, gira a una velocidad de 32 revoluciones por minuto, y mientras aumenta la temperatura, el fluido

empieza a dar muestras de mayor ductilidad, el asfalto a 167°C, esta en el punto ideal para empezar a recibir el polímero que transformara las características y capacidades desgastadas por el uso, en este caso las perdida en el ensayo de película delgada.

Es importante destacar que el cuenta gotas pose una regulación manual que nos permite dar la cadencia del goteo por minuto, siendo la mas favorable la de 20 gotas por minuto, para el ensayo y mediante investigación empezamos con utilizar y descargar el 5 % de polímero de la cantidad total de asfalto (1 litro), esto es 330 ml.

En un segundo ensayo realizamos el mismo procedimiento, pero esta vez utilizamos el 4% de polímero para un litro de asfalto, en un tercer ensayo aplicamos el 3%, y así sucesivamente hasta el 1%, en cada ensayo luego de haber administrado el polímero a la muestra de asfalto, esta nueva muestra de asfalto rejuvenecido debe seguir girando a la misma velocidad inicial con la que empezamos el ensayo, por un lapso de 1 hora con el único propósito de que las moléculas de estos dos componentes realicen una buena adhesión.

Una vez que hemos realizado el proceso de mezcla, dejamos reposar y que recupere su temperatura ambiente. Luego de 72 horas de haber terminado el ensayo se procede a realizar los pasos previos a la realización del ensayo de penetración, y de esta manera proceder a tomar muestras que nos permitirá verificar cuanta resistencia a incrementado con el polímero, éste procedimiento se repite para cada muestra de asfalto que posé diferente cantidad de polímero.

Se han realizado para cada muestra 8 ensayos de penetración, obteniendo 48 resultados diferentes para la sierra y 48 resultados para la costa, teniendo un total de 96 ensayos.

De los diferentes resultados, los que muestran la mejor dinámica fueron los realizados con el 3% del polímero sobre la muestra de asfalto.

NOTAS:

- ✓ Asegúrese que la temperatura de la bomba neumática para látex mantenga la temperatura durante 30 minutos antes de iniciar el bombeo y empezar con el ensayo.
- ✓ Prevenir de mantener sin aire la tubería que permite circular el polímero hacia el cuentagotas.
- ✓ Es muy importante que la temperatura de la muestra de asfalto se mantenga constante (167°C), y permitir de esta manera un adecuado procedimiento de mezcla.
- ✓ La cadencia mas recomendable de goteo para el polímero es la de 20 por minuto.
- ✓ Dejar que luego del ensayo la nueva mezcla asfalto-polímero repose por un lapso de 72 horas antes de realizar el ensayo de penetración.

8.- Resultado del porcentaje de polímero que presentó mejor desempeño,

CAPÍTULO VII

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio correspondiente al análisis experimental del uso de Polímeros en el asfalto y en base a los resultados obtenidos, se requiere dar a conocer como conclusiones las conclusiones que a continuación se expone:

- ✓ La modificación de asfalto es una nueva técnica que debe ser utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías y carreteras del Ecuador. Esta técnica consiste en la adición de polímeros al asfalto convencional AP-3, con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).
- ✓ Según los ensayos realizados en el laboratorio, hemos determinado que el porcentaje más idóneo de polímero para modificar el asfalto AP-3 y recuperar en gran parte las características iniciales del mismo, es administrar el 3% de polímero en relación al volumen de la muestra de asfalto.
- ✓ El asfalto AP-3 utilizado en el Ecuador tiene una vez que ha sido envejecido y aplicando polímeros se recupera en un 84 % de las características iniciales.

- ✓ De acuerdo con los ensayos realizados determinamos que es asfalto original tomado de la refinería de Esmeraldas cumple con las condiciones que estipula el Ministerio de obras Públicas.
- ✓ El índice de penetración del asfalto envejecido cumple con las condiciones, sin embargo las penetraciones que se obtuvieron son demasiado bajas. Demostrando que el asfalto envejecido no puede ser reutilizado.
- ✓ Se constató que para mejorar la resistencia de los asfaltos convencionales, es el intentar recuperar las características iniciales del mismo; ello se consigue modificando el asfalto con otros materiales que mejoren el comportamiento del material, como es el caso de los polímeros, lo cual da origen a nuevos asfaltos denominados Asfaltos Modificados.
- ✓ Por lo anterior, los objetos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (roderas), pues los asfaltos modificados presentan una mayor recuperación elástica y una menor deformación permanente de las mezclas que componen las capas de rodamiento.
- ✓ Los polímeros también llamados modificadores, aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.
- ✓ Los asfaltos tienden a una característica más viscosa que plástica, por lo que su recuperación en las pruebas es muy lenta y pobre no mayor a un 15%, ha diferencia de los asfaltos

polimerizados con SBS o SB que tienen una recuperación elástica de un 45% como mínimo dependiendo del contenido de modificante.

- ✓ Existe una diferencia en porcentaje en las pruebas de recuperación elástica por ductilómetro a 25° C, sin embargo el número limitado de pruebas no nos permite concluir que este comportamiento siempre es el mismo.
- ✓ Como se observó en las pruebas de laboratorio realizadas a ambos materiales, su recuperación varía según la temperatura a la que se sometan dichas pruebas, pero podemos decir que el asfalto envejecido modificado con polímero SBS, debido a sus características ya su alta resistencia, tiene un mejor comportamiento que el asfalto convencional AP-3 que ya ha tenido un trabajo no mayor a los 5 años de utilidad.
- ✓ En relación costo beneficio, el modificar un asfalto con polímeros, resulta mas conveniente que realizar un mantenimiento periódico a un asfalto envejecido, el polímero permite al asfalto envejecido recuperar parte de las características iniciales y prolongar su duración, por el contrario un asfalto envejecido requiere un mantenimiento continuo y periódico para tratar de mantenerlo en funcionalidad óptima.
- ✓ Los trabajos de mantenimiento con asfaltos modificados son menores permitiendo a los ingenieros responsables de estas tareas un mejor aprovechamiento de los recursos destinados a ellos.

- ✓ Los asfaltos envejecido y modificado con polímeros eleva la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Esta plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias, tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

- ✓ Los polímeros producen una actividad superficial que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua.

A manera de conclusión se pueden enumerar una serie de ventajas y desventajas de los asfaltos modificados con polímeros.

Ventajas

- ✓ Disminuye la susceptibilidad térmica
- ✓ Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento.
- ✓ Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.

- ✓ Mejor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas.
- ✓ Mejor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas.
- ✓ Mejor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- ✓ Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- ✓ Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- ✓ Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por el polímero.
- ✓ Mayor durabilidad.
- ✓ Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
- ✓ Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- ✓ No requieren equipos especiales.
- ✓ Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.

Desventajas

- ✓ Alto costo del polímero.
- ✓ Dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el asfalto base (existen aditivos correctores).
- ✓ Deben extremarse los cuidados en el momento de la elaboración de la mezcla.
- ✓ Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.
- ✓ La temperatura mínima de distribución es de 145°C por su rápido endurecimiento.

- ✓ No existe disponibilidad en el mercado ecuatoriano como para cubrir sus necesidades.

Evidente que la mayor desventaja de esto es el alto costo inicial del asfalto envejecido modificado con polímero, sin embargo, si hacemos un [análisis](#) del costo a largo plazo (es decir, la recuperación del asfalto de la vía dándole mayor vida útil); podemos concluir que el elevado costo inicial queda sobradamente compensado por la reducción del [mantenimiento](#) futuro y el alargamiento de la vida de servicio del pavimento.

7.2.- RECOMENDACIONES

- ✓ Una de las mayores y primordiales recomendaciones es tener en cuenta la compatibilidad del polímero con el tipo de asfalto que se está trabajando, debido a que se podrán mezclar, pero no cumpliría satisfactoriamente con el objetivo primordial, que es el rejuvenecer el asfalto envejecido, y a su vez tratar de recuperar en un alto porcentaje las características iniciales
- ✓ Es importante tener en cuenta las características y procedimientos de los ensayos debido a que se realizan a temperaturas exactas, las cuales no deben variar, porque la

temperatura juega un papel muy importante, y si no se cumplen estas condiciones, no se asegura resultados precisos y creíbles.

- ✓ La única técnica constructiva favorable y recomendable sería el reciclado del asfalto envejecido en planta debido a que se tiene un control de los diferentes procesos como el fresado de la carpeta asfáltica envejecida, la obtención del asfalto envejecido de acuerdo a los ensayos establecidos y la dosificación del polímero, que para nuestro caso es el 3% en peso y la mezcla con el nuevo asfalto; dando un asfalto rejuvenecido apto.

- ✓ Nuestra principal recomendación es la de motivar a la utilización de este procedimiento de recuperación de asfaltos envejecidos mediante la polimerización del mismo, pues trae beneficios en costo comparado con un continuo mantenimiento de la capa de rodadura con el único propósito de tratar de optimizar el pleno empleo del asfalto.

- ✓ La recuperación de asfaltos envejecidos es un tema fascinante y muy amplio, sin embargo no podemos abarcar en el presente trabajo toda esta investigación, es por ello que recomendamos desarrollar mas temas mediante la investigación y la práctica en el laboratorio, con el fin de encontrar soluciones que permitan realizar mejoras durables y económicas para las red vial de nuestro país.

- ✓ Creemos que es conveniente y pertinente solicitar el apoyo de las autoridades competentes, ya que esta investigación conlleva un

costo elevado ya sea por los aditivos, polímeros o demás componentes que se requieren en los ensayos a realizar, una posible solución es la de buscar financiamiento al MOP, o empresas interesadas en nuestra investigación.

- ✓ Proponer al Ministerio de obras Públicas realizar más ensayos con el asfalto, para obtener un manual propio ecuatoriano que nos permita conocer por completo las características y comportamiento del asfalto.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Bouldin, M. and Collins, A.; "Rheology and Micro-Structure of Polymer Asphalt Blends", Shell Development Co., Presented at the Meeting of Rubber Division, ACS, Las Vegas (1990).
- ✓ G. Hernández, R. Rodríguez, R. Blanco and V.M. Castaño, "Mechanical Properties of the Composite Asphalt-Styrene-Butadiene Copolymer at High Degree of Modification", Intern. J. Polymeric. Mater. **35**, 129-144 (1997).
- ✓ R. Blanco, R. Rodríguez, M. García-Garduño and V. Castaño, "Rheological Properties of Styrene-Butadiene Copolymer Reinforced Asphalt", J. Appl. Polym. Sci. **61**, 1493-1501 (1996)
- ✓ "Emulsiones Asfálticas". Gustavo Rivera Escalante. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México. Tercera Edición 1987
- ✓ "Innovaciones en Emulsiones Asfálticas". Julián Sanz Liébana. XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Morelia, Michoacán. 1994.
- ✓ "The Chemistry of Asphalt Emulsions". J. Dybalski. 1976
- ✓ "Emulsiones Asfálticas". Fábrica de Asfaltos Emulsionados de Alto Rendimiento, S.A. de C.V., Gustavo Rivera Escalante. 1er. Congreso Internacional de Vías Terrestres. Chihuahua, Chih. 1987
- ✓ "Modificación de Asfaltos con Polímeros". Juvenal Macías. XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Morelia, Michoacán. 1994

- ✓ Nuevas prescripciones españolas sobre ligantes modificados (CEDEX). Jornadas sobre nuevas especificaciones para productos bituminosos (Barcelona-1995)
- ✓ Determinación de la pérdida por desgaste de mezclas bituminosas mediante el empleo de la máquina de Los Ángeles, Ensayo Cántabro. NLT-325 (CEDEX).
- ✓ M, Lesage J y L Planque (1996) En qué casos podemos utilizar con seguridad las propiedades reológicas de los betunes para pronosticar las prestaciones de un aglomerado asfáltico. Congreso de Euroasfalto y Enrobitume, Estrasburgo, 1996.
- ✓ Laboratorio de pavimentos. Ing. Ricardo Salvador.

CONSULTAS EN PÁGINAS WEB:

- ✓ safetyhotline@tdi.state.tx.us
- ✓ www.ambientum.com
- ✓ www.carreteros.org
- ✓ www.basf.com
- ✓ www.mop.gov.ec