



CAPÍTULO 2. MATERIALES BÁSICOS.

2. MATERIALES BÁSICOS.

2.1 Agregados Pétreos.

2.1.1 Definición de agregados pétreos.

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. (Smith M. R. and L. Collins, 1994).

2.1.2 Tipos de agregados pétreos.

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados Naturales.

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados de Trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera ó de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Artificiales.

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

d) Agregados Marginales.

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.1.3 Propiedades de los agregados pétreos.

Las propiedades de los agregados se pueden conceputar bajo dos puntos de vista: uno como elementos aislados, o individuales, y otro como conjunto.

2.1.3.1 Propiedades individuales.

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo



presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

2.1.3.2 Propiedades de conjunto.

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.1.4 Naturaleza petrológica de los agregados pétreos.

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos: agregados calizos, agregados silíceos y agregados ígneos y metamórficos.

2.1.4.1 Agregados Calizos.

La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).

2.1.4.2 Agregados Silíceos.

Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en las todas capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y a partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.

2.1.4.3 Agregados Ígneos y Metamórficos.

Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, incluso con tráficos muy intensos. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayoría de los casos el problema se puede resolver con activantes que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

2.1.5 Consideraciones acerca del empleo de los agregados pétreos.

Cuando se pretende hacer uso de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos se deben considerar algunos aspectos fundamentales para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del firme y principalmente en la elaboración de las mezclas asfálticas.

1. Naturaleza e identificación:

Evaluación de la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.

2. Propiedades geométricas:

Principal y básicamente la forma y angulosidad de las partículas; con relación al conjunto del esqueleto mineral se estudia la distribución granulométrica.

3. Propiedades mecánicas:

Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimento.

4. Ausencia de impurezas:

Es fundamental que los agregados a emplear en la construcción de pavimentos estén libres de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. El empleo de agregados sucios en la construcción de un pavimento, puede ser una causa suficiente para provocar su degradación.

5. Inalterabilidad:

Es imprescindible la evaluación de las posibles degradaciones que puedan sufrir los agregados pétreos que se van a utilizar en una obra; así, los materiales evolutivos han de ser empleados con especiales precauciones para evitar comportamientos anómalos que puedan afectar la vida útil de las capas.

6. Adhesividad:

Los agregados pétreos han de ser afines con los ligantes asfálticos que vayan a ser empleados en la construcción del pavimento, y en caso de problemas de afinidad, será necesario el uso de activantes, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas.

2.1.6 Descripción de las características principales de los agregados pétreos para pavimentos.

Las principales características que se deben tener en cuenta en los agregados para la construcción de pavimentos asfálticos son las siguientes:

2.1.6.1 Forma y angulosidad.

La forma de las partículas del agregado grueso afecta fundamentalmente, al esqueleto mineral. Según su forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, irregulares, angulares, lajosas, alargadas y alargadas - lajosas.

Las lajosas y alargadas-lajosas (agujas), pueden romperse con facilidad durante la compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría del agregado inicial. Se deben imponer limitaciones en el contenido de partículas de mala forma. Aparte de la forma de las partículas del agregado grueso, se debe tener en cuenta su angulosidad, que influye junto a la textura superficial de las partículas, en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno.

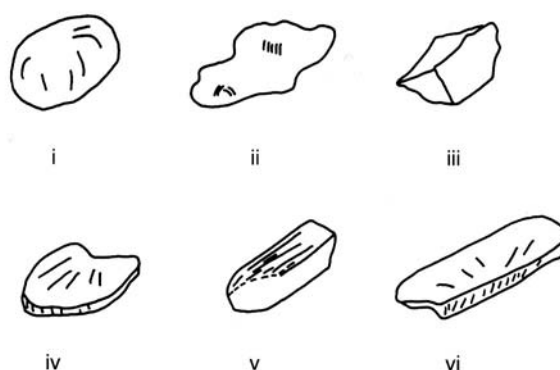


Figura No. 2.1. Forma de las Partículas de Agregado Pétreo. Referencia, (51).

i. Redondeada, ii. Irregular, iii. Angular, iv. Lajosa, v. Alargada, vi. Alargada - Lajosa.

Los agregados pétreos generalmente más deseados para la elaboración de mezclas asfálticas son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales (cuboides). Los factores intrínsecos, como la composición de la roca afectan a la forma de los agregados durante los procesos de trituración.

2.1.6.2 Resistencia al desgaste.

La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de firme después de su puesta en servicio. La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos de laboratorio; sin embargo, ninguno de ellos caracteriza el estado tensional del agregado en el conjunto del firme. Se realizan una

serie de ensayos que tienden a reproducir en laboratorio de manera más sencilla el comportamiento que luego tendrán los agregados en servicio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste que, de forma indirecta, proporciona información de la resistencia mecánica del material. La prueba de Los Ángeles es un ejemplo de este tipo de ensayos.

2.1.6.3 Resistencia al pulimento.

La resistencia al pulimento de las partículas del agregado, es la resistencia a perder aspereza en su textura superficial, tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura. Para su evaluación se han desarrollado los ensayos de pulimento acelerado.

2.1.6.4 Adhesividad y resistencia al desplazamiento.

La adhesividad de los agregados pétreos con los ligantes asfálticos es de gran importancia, debido a que se pueden presentar fenómenos fisicoquímicos en la superficie de los agregados empleados en las capas de firme. En estos fenómenos complejos intervienen tanto factores físicos como la textura del agregado, la porosidad del mismo, viscosidad y tensión superficial del ligante, espesor de la película de ligante, etc. Y a su vez factores químicos relativos al ligante y al agregado. Si los agregados están absolutamente secos, se dejan mojar fácilmente por los ligantes asfálticos; sin embargo la situación es muy diferente con algo de humedad que siempre puede existir, ya que la superficie del agregado se polariza con un signo u otro dependiendo de su naturaleza. Atendiendo a ese criterio los agregados se clasifican en ácidos y básicos.

2.1.6.4.1 Agregados Ácidos.

La acidez es por lo general consecuencia de un alto contenido en sílice y determina una gran afinidad del agregado por el agua (hidrofilia) y una polaridad negativa. La adhesividad entre los agregados silíceos (o ácidos en general) y los ligantes asfálticos no es buena, pudiendo llegar a ser necesaria la disminución de la tensión superficial del ligante mediante procesos de activación en los que se carga electropolarmente para crear una adhesividad.

2.1.6.4.2 Agregados Básicos.

Son menos hidrofílicos que los silíceos y se cargan positivamente en presencia de agua. Por ello pueden presentar cierta atracción por los ácidos libres en los ligantes y, en consecuencia una mejor adhesividad con los mismos.

En los pavimentos asfálticos aparte de cuidar y verificar que el ligante asfáltico moje al agregado, se debe tener en cuenta la posibilidad de que el agua en combinación con la acción de los vehículos y en ocasiones con el polvo y suciedad existentes, perturbe la adhesividad, desplazando el ligante asfáltico de la superficie del agregado, que quedará de nuevo descubierta o lavada. La adhesividad pasiva o también llamada resistencia al desplazamiento del ligante dependerá también de los mismos factores químicos y físicos anteriormente citados: afinidad polar por el ligante, espesor de la película y viscosidad del mismo, tensión superficial (ángulo de contacto) y textura superficial.



2.1.6.5 Plasticidad y limpieza.

Para que un agregado pétreo se comporte adecuadamente dentro de cualquier capa de firme, debe estar completamente limpio, libre de partículas de naturaleza orgánica, polvo o arcillas. Se establece en las normativas, que todos los finos deben tener reducida su plasticidad e incluso que no sean plásticos en la mayoría de los casos. Las fracciones gruesas deben estar exentas de polvo, fijando los límites admisibles a través del denominado coeficiente de limpieza.

Se debe garantizar que en presencia de agua, la capa en cuestión conserve sus características resistentes y que, en su caso, no haya problemas de adhesividad con los ligantes asfálticos. En ocasiones aunque el agregado fino no sea plástico, puede estar contaminado por partículas no arcillosas, que no se hayan podido detectar mediante los límites de Atterberg, pero igualmente nocivas. Un ensayo muy utilizado para caracterizar desde este punto de vista el agregado fino (realmente todo el material inferior a 5 mm., es decir, se incluye parte del agregado grueso y el polvo mineral) es el denominado Equivalente de Arena.

2.1.6.6 Alterabilidad.

Los fallos detectados en un firme al poco tiempo después de su puesta en servicio, comunmente suelen ser ocasionados por procesos de alteración de los agregados en alguna de sus capas, los cuales pueden desencadenarse debido a alguna reacción química con alguno de los componentes de los ligantes asfálticos o conglomerantes, por la acción de la helada o, simplemente, por la siempre inevitable presencia de agua.

Existe la necesidad de evaluación de la alterabilidad de un agregado pétreo por el procedimiento que sea, y se pueden señalar a título indicativo, los siguientes caminos: análisis petrográficos, acción de soluciones salinas o de agua oxigenada, ciclos hielo–deshielo, inmersión en agua y ciclos de humedad–sequedad.

2.1.6.7 Resistencia al desprendimiento.

Los defectos de adhesión significan la quiebra de las fuerzas de unión entre el agregado y su cubierta de conglomerante asfáltico, lo que conduce a una separación física, una posible consecuencia de los defectos de adhesión, es el fallo mecánico por desgaste y desflecado de la superficie, pero el fallo mecánico no se produce inmediatamente después del fallo de adhesión, si el desprendimiento, aunque sea permanente, se produce a un nivel inferior de la construcción y el grado de entrecruzamiento físico de las partículas de agregado es suficiente para resistir el esfuerzo del tráfico. Dado que el desprendimiento es un fenómeno asociado a la presencia de agua. Se deduce que los pavimentos densos, de bajo contenido en huecos, son prácticamente inmunes y que el comportamiento de los agregados pétreos en los ensayos de deslizamiento es bastante irrelevante en dicho uso.

2.1.6.8 Aptitud para contribuir a la resistencia y rigidez de la mezcla en conjunto.

Esta propiedad se refiere tanto a los agregados gruesos, finos y polvo mineral; siempre que se cumpla que la resistencia y durabilidad intrínseca de las partículas del agregado es la adecuada a las propiedades de la masa de agregados de entrecruzado y rozamiento interno.

A este respecto tanto la angularidad como la irregularidad de la textura superficial contribuyen en gran medida a las resistencias mecánicas y a la deformación de la mezcla asfáltica.

2.1.7 Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.

2.1.7.1 Agregado grueso.

2.1.7.1.1 Definición de agregado grueso.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2., se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz 2 mm.

2.1.7.1.2 Características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas.

- Granulometría.

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Para encajar una granulometría dentro de algún Huso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y su plasticidad. En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a $63\mu\text{m}$, llamada, como se ha indicado, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico.

- Rozamiento interno.

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden.

La cohesión debe confiarse exclusivamente al ligante asfáltico o conglomerante. La cohesión entre las partículas suele ser despreciable, y cuando existe se debe únicamente a la plasticidad de la fracción fina, y en general es más nociva que útil. Sólo interesa una cierta plasticidad de los finos y muy reducida de todas formas, cuando se trata de capas granulares no revestidas en caminos de baja intensidad de tráfico.

- Angulosidad del agregado grueso.

La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.

- Forma del agregado grueso.

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lascas, ya que como lo hemos dicho antes, este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos en donde se restringe el uso de partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lascas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso.

- Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos.

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

- Resistencia al pulimento del agregado grueso para capas de rodadura.

En el ensayo de Pulimento Acelerado, determina el grado de pulimento del agregado o coeficiente de pulido acelerado con el mismo péndulo de fricción con el que se mide el coeficiente de rozamiento en una superficie de rodadura. El coeficiente de pulido acelerado depende fundamentalmente de la naturaleza petrográfica de la roca origen, fue diseñado como un medio para predecir la susceptibilidad de una piedra al pulido cuando se utiliza como ya lo hemos dicho en la capa de rodadura de un pavimento flexible.

- Limpieza del agregado grueso.

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas

del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo muy aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación.

La exigencia anterior podría cuestionarse considerando que en las plantas asfálticas modernas existen poderosos sistemas para extraer el polvo e impurezas del agregado. Sin embargo en una secuencia lógica de exigencias de calidad y prevenciones, la limpieza inicial del agregado esta totalmente justificada.

- Adhesividad del agregado grueso.

El agregado grueso tiene un comportamiento específico respecto a la adhesividad y a la resistencia al desplazamiento. Se preconiza la comprobación de la adhesividad agregado – ligante mediante una evaluación global de resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión, o de pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro. Estos criterios se refieren obviamente a las propiedades de las mezclas terminadas más que a la caracterización inicial de los materiales simples: agregados y ligantes.

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad agregado–ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Se enmarcan unos parámetros mínimos en los valores de inmersión – compresión según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar. Se podrá mejorar la adhesividad entre el agregado y el ligante asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. Se establecerán las especificaciones que tendrán que cumplir dichos aditivos y las mezclas resultantes.

2.1.7.2 Agregado fino.

2.1.7.2.1 Definición de agregado fino.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 2 mm. y queda retenido en el tamiz 0.063 mm.

2.1.7.2.2 Características y propiedades deseables de los Agregados Finos para su utilización en las mezclas asfálticas.

- Procedencia del agregado fino.

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

rigidez final de ésta. Hay autores y administraciones que consideran que una proporción del orden del 10% puede mejorar al tiempo la manejabilidad, la compacidad e incluso la estabilidad de la mezcla.

- Limpieza del agregado fino.

El agregado fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas, para evitar que se presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad de la mezcla, abundamientos, entre otros.

- Resistencia a la fragmentación del agregado fino.

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

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

- Adhesividad del agregado fino.

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino – ligante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico – físicas en las partículas de menor tamaño son más complejas. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

2.1.7.3 Polvo mineral (Fíller).

2.1.7.3.1 Definición de polvo mineral (filler).

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2., se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 0.063 mm.

El fíller o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas. Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla. Cuando se utiliza el otro tipo de fíller, (de recuperación), que es aquel que se obtiene de las plantas asfálticas, no se sabe exactamente cuáles son sus componentes y en ocasiones varía su composición con el tiempo y puede estar o no, dentro de las normativas, debido a que es un residuo.

2.1.7.3.2 Características deseables o de mayor interés acerca del polvo mineral (filler).

Las características que más suelen interesar de un polvo mineral son:

- Finura.

Al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico. El polvo mineral consigue cumplir con su función rellenadora, dependiendo del volumen de vacíos existente una vez que se haya compactado la estructura granular y en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

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

- Modificación del comportamiento reológico.

El empleo del polvo mineral, incrementa la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del ligante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.

- Acción estabilizante frente al agua.

Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular evitando el acceso del agua al interior, y por otro lado debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Las características de finura y comportamiento reológico se hayan vinculadas el tamaño y forma de las partículas. La acción estabilizante frente al agua depende además del tamaño y forma de las partículas, de la composición química de los rellenos minerales. Las funciones del polvo mineral no pueden apartarse del contenido y consistencia del ligante asfáltico en la mezcla.

- Procedencia del polvo mineral

El polvo mineral podrá proceder de los agregados, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación, o aportarse a la mezcla por separado de aquéllos como un producto comercial o especialmente preparado.

Las proporciones del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deben cumplir lo que fijen las normas, debido a que es un material que se debe de utilizar en proporciones adecuadas en cada tipo de mezcla y condiciones, para obtener un resultado óptimo.

El polvo mineral que quede inevitablemente adherido a los agregados tras su paso por el secador de la planta de asfalto en ningún caso podrá rebasar ciertos límites que algunas normas contienen, este valor está aproximadamente dentro del dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla. Si se asegurase que el polvo mineral procedente de los agregados cumple las condiciones exigidas al de aportación, se podrá rebajar la proporción mínima de éste.

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

En la interfase filler-asfalto y en el comportamiento de la mezcla asfáltica, tienen que ver las propiedades físicas y químicas tanto como las características geométricas, propiedades de superficie, adsorción, adhesión, etc.

La irregularidad geométrica (forma, angulosidad y textura de superficie), es uno de los aspectos más importantes en el papel del filler dentro de la mezcla. La irregularidad geométrica afecta directamente el contenido óptimo de asfalto en la mezcla, a las características de interfase del mástico y a su comportamiento reológico. Todos estos aspectos influyen directamente en el comportamiento estructural y mecánico de las mezclas. La irregularidad geométrica se puede evaluar cualitativamente y cuantitativamente mediante el microscopio electrónico, y caracterizar la forma, angulosidad, textura superficial y la porosidad accesible de las partículas.

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

El efecto que se logra en un pavimento a partir de la utilización de un filler activo en la dosificación de la mezcla asfáltica, es que aumenta considerablemente su durabilidad. Existen filleres activos como cal hidratada y dolomíticos que suelen mantener su resistencia en periodos de tiempo largos de tiempo en condiciones de contenido óptimo de asfalto, mientras que los filleres no activos como basaltos y areniscas suelen deteriorarse rápidamente, también bajo condiciones de contenido óptimo de asfalto.

El contenido de asfalto tiene sus repercusiones en la durabilidad de una mezcla, se sabe que un incremento en el contenido de asfalto tiene un efecto favorable significativo en la durabilidad de los pavimentos, este efecto se debe principalmente, a que las capas de asfalto que recubren los agregados son más gruesas y a la reducción en el volumen de huecos, que hace disminuir la penetración del agua a las capas. La mejora en la durabilidad con el incremento de contenido de asfalto no es uniforme debido a que depende del tipo de filler involucrado en la mezcla.

Las propiedades de los filleres tienen un efecto muy importante en la durabilidad potencial de las mezclas asfálticas, el efecto del filler suele manifestarse, si es activo suele mantener resistencia por más tiempo que si no es activo.

La durabilidad potencial de la mezcla asfáltica suele mejorar con un incremento en el contenido de asfalto por encima del óptimo básico, es decir las condiciones óptimas de durabilidad se obtienen para contenidos de asfalto superiores al óptimo convencional, en este caso las muestras con filleres no activos resultan ser más sensibles al contenido de asfalto que en aquellas que contienen filleres activos.

2.1.8 Ensayos para caracterizar los agregados pétreos.

2.1.8.1 Esqueleto Mineral.

- Análisis Granulométrico.

Por medio de este ensayo podemos determinar la distribución de tamaños de las partículas, el cual consiste en hacer pasar una cierta cantidad de muestra de agregado por una serie de tamices normalizados, en Europa los tamices UNE, y en América los tamices ASTM, en un orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz.

Se representan en una gráfica el porcentaje que pasa en cada uno de ellos, pudiéndose observar si la curva granulométrica es continua, o sea que contenga todos los tamaños o si es discontinua un solo tamaño. Si se quiere conocer con exactitud el contenido de filler (Polvo Mineral) que pasa por el tamiz 0.063 mm UNE se hace el ensayo con el agregado lavado y secado en la estufa.

2.1.8.2 Agregados Gruesos. (partículas mayores a 2 mm.)

- Estudio Petrográfico.

En este ensayo se determina la composición mineralógica y las características de la naturaleza de los agregados pétreos, haciendo primero una descripción macroscópica del agregado, analizando su aspecto y determinando las características físicas como homogeneidad, dureza y tenacidad, enseguida se lleva a cabo el estudio propiamente petrográfico, mediante un microscopio polarizante que permite identificar los constituyentes minerales del agregado por su color, forma, exfoliación y relieve, por último se determina el tamaño de los cristales y su posición. La muestra es una sección delgada de agregado de un espesor uniforme aproximado a 30 μ . Este estudio permite identificar los tamaños de grano, el grado de alteración del agregado y la presencia de componentes no deseables.

- Índice de Lajas y Agujas.

La forma de las partículas de agregado grueso, afecta al esqueleto mineral, las formas pueden ser redondeadas, cúbicas, lajas o agujas, siendo estas dos últimas peligrosas, porque durante el proceso de compactación o por las tensiones del tráfico, se pueden romper y eso varía su contenido en la granulometría. Se definen los índices de lajas y agujas como los porcentajes en

peso, respecto a la muestra total, de las partículas que son, respectivamente, lascas o agujas. Los métodos utilizados para la determinación de dichos índices de forma se basan generalmente en la medida directa de las dimensiones de las partículas.

Los ensayos se realizan por calibres de ranuras para determinar el índice de lascas y los calibres de las agujas para sacar el índice de agujas. Se hace pasar el retenido de cada tamiz por estos calibres y se expresa como resultado. El índice de lascas es el cociente entre lo que pasa por el calibre de ranuras y el total de muestra.

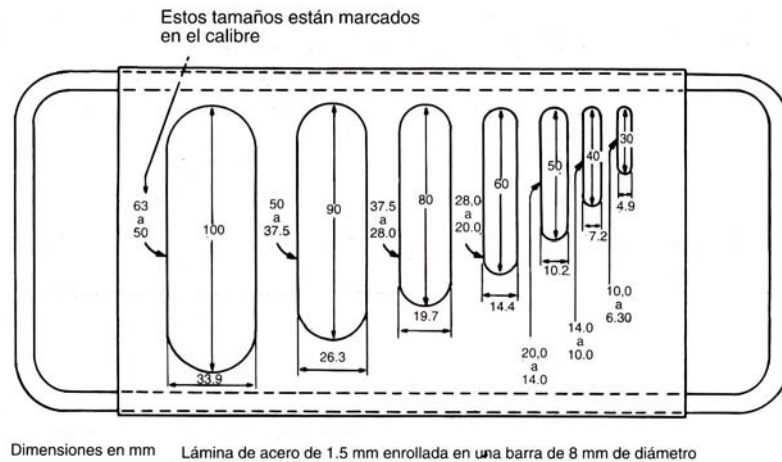


Figura No. 2.2. Calibre para la Determinación del Índice de Lajas. Referencia, (63).

El Índice de Agujas es el cociente entre lo que retiene en el calibre de agujas y el total de la muestra.

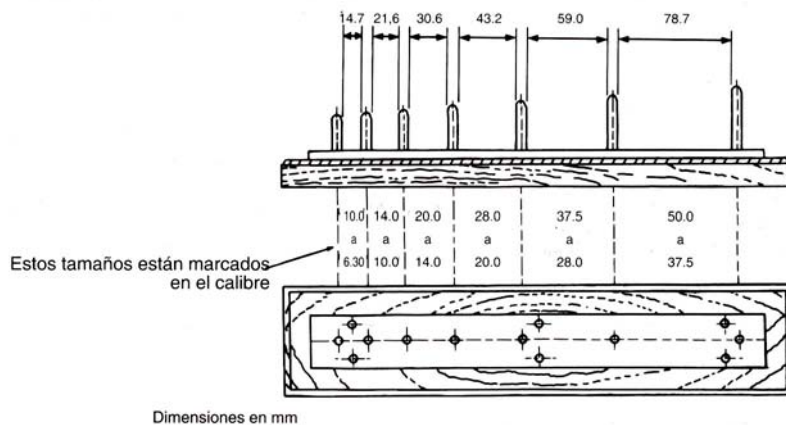


Figura No. 2.3. Calibre para la Determinación del Índice de Agujas. Referencia, (63).

- Forma y Caras de Fractura.

La forma de las partículas de mayor o menor angulosidad influye en la resistencia del esqueleto mineral. Para realizar este ensayo se determina el porcentaje de partículas con dos o más caras de fractura.

- Ensayo de Desgaste de los Ángeles.

Este ensayo caracteriza la resistencia que presentan los agregados al desgaste. La máquina de los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, con sus extremos cerrados y una abertura para introducir los áridos, que puede girar en posición horizontal. Se introducen en el cilindro unas bolas de acero como la carga abrasiva y se hace girar un determinado número de vueltas. Luego se separa la parte de la muestra que pasa por el tamiz 1.6 UNE.

Se determina el coeficiente de desgaste de los ángeles que es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso después del ensayo expresada en porcentaje del peso inicial.

Si el desgaste es mayor de 50%, se asume que el agregado es de mala calidad, si el desgaste es menor de 20%, el agregado es excelente.

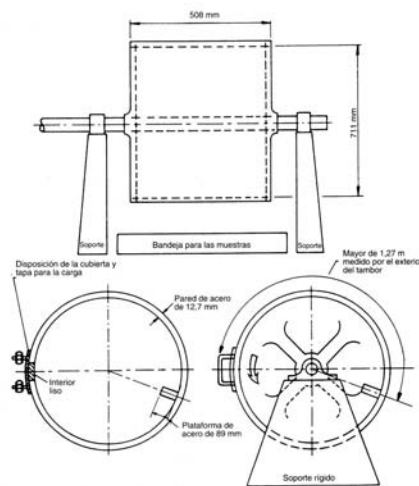


Figura No. 2.4. Máquina de los Ángeles. Referencia, (69).

Se puede decir que coeficientes Los Ángeles superiores a 50, corresponden a agregados de muy mala calidad, no aptos para construcción de capas de firme. Por el contrario, coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos excelentes, con resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación y, en particular, para capas de rodadura bituminosas, que hayan de soportar tráfico pesado.

- Ensayo de Friabilidad.

Este tipo de ensayo proporciona una medida relativa de la resistencia del agregado a la trituración o la degradación bajo cargas. Se toma una muestra de agregado con un peso determinado y una granulometría dada, se dispone en un cilindro de acero en el que se encaja un pistón que se mueve a velocidad constante y ejerce una presión que varía según la muestra.

El resultado es el cociente de friabilidad, calculado como el porcentaje en peso de la muestra que pasa por un tamiz determinado referido al total de material.



- Ensayo de Péndulo de Fricción.

La máquina de pulido acelerado simula la acción de una rueda llena de polvo sobre las muestras de agregado pétreo colocadas sobre una lámina de resina de poliéster y montadas en moldes normalizados sobre una pista rotatoria. El pulido de las muestras se mide posteriormente utilizando un péndulo de fricción normalizado.

Primero se introducen los agregados a analizar en una probeta de mortero hidráulico y se someten a ciclos de pulido mediante abrasivos introducidos en húmedo entre las probetas colocadas periféricamente en una rueda de ensayo (máquina de pulimento acelerado), durante tres horas en arena silícea normalizada y 3 horas con palo de esmeril.

El grado de pulimento conseguido para cada muestra se mide mediante el ensayo de fricción con un péndulo, calculando la pérdida de energía del mismo por un ángulo suplementario de oscilación. Los valores habituales del coeficiente de rozamiento oscilan entre 0.40 y 0.50.

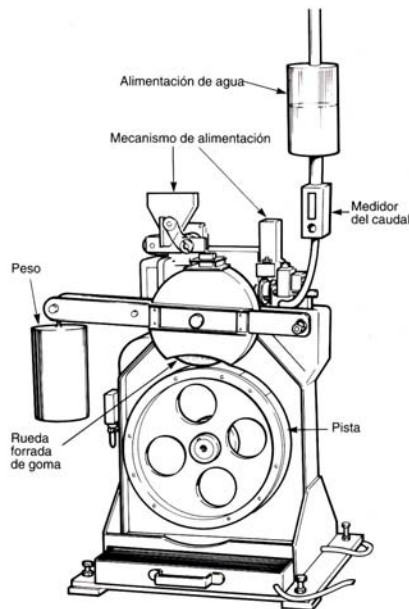


Figura No. 2.5. Máquina de Pulimento Acelerado. Referencia, (43).

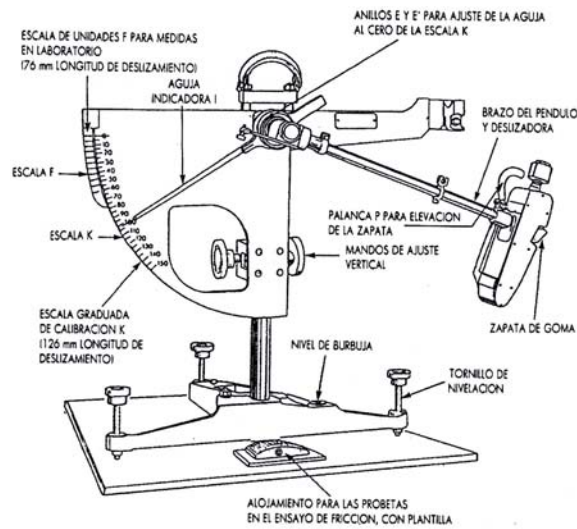


Figura No. 2.6. Péndulo de Fricción. Referencia, (43).

2.1.8.3 Agregados Finos. (partículas entre 2 y 0,063 mm).

- Equivalente de Arena.

Con este ensayo podemos evaluar la limpieza y plasticidad de los agregados finos. El ensayo consiste en introducir una muestra de agregado en una probeta que contiene una solución floculante, se mezcla el agregado con la solución y se añade agua, dejando reposar el conjunto durante 20 minutos. Después de este tiempo se puede observar el agregado limpio en la parte inferior, en la zona intermedia las partículas contaminantes en suspensión y en la superficie el líquido relativamente limpio. Con la relación de alturas de estas zonas se determina el equivalente de arena. Se define como agregado muy contaminado el que tiene un Equivalente de Arena menor de 20 y como agregado muy limpio el que tiene un equivalente de arena mayor que 50.

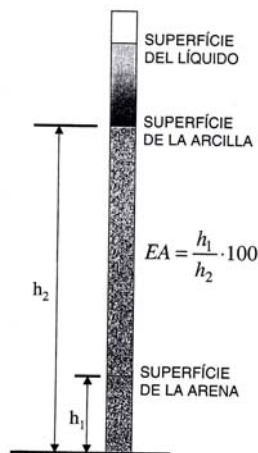


Figura No. 2.7. Equivalente de Arena. Referencia, (43).

Resultados de equivalentes de arena inferiores a 20 corresponden a agregados muy contaminados por partículas nocivas que, en general, no deben utilizarse en capas de firme; por el contrario, valores superiores a 50 reflejan un grado de limpieza suficiente para la mayor parte de las aplicaciones.

Existe actualmente una tendencia al empleo del ensayo denominado azul de metileno, a fin de evaluar la actividad de las partículas contaminantes. Su aplicación ha de hacerse como complementaria del ensayo de equivalente de arena, pero nunca ha de admitirse como sustitutivo del mismo.

- Coeficiente de Limpieza.

Consiste en comparar dos granulometrías de una misma muestra de agregados, antes y después de un lavado y secado del material. Las distorsiones entre las dos curvas no deben superar unos determinados valores.

- Límites de Atterberg.

El índice de plasticidad es la diferencia entre los límites líquido y plástico obtenidos mediante dos ensayos, que consisten en determinar el porcentaje de humedad existente en la muestra a partir del cuál esta cambia de estado, pasando del fluido al semisólido para el primer caso y del semisólido al sólido en el segundo caso.

El ensayo para determinar el límite líquido se realiza mediante la cuchara de Casagrande y el ensayo del límite plástico se realiza fabricando unos cilindros de 3mm de diámetro.

- Riedel-Weber.

Un ensayo específico que se utiliza para evaluar la adhesividad del agregado fino con los ligantes asfálticos, es el procedimiento denominado Riedel-Weber: consiste en introducir el agregado envuelto por el ligante en diversas soluciones de carbonato sódico con concentraciones crecientes, observando cuál de ellas produce el desplazamiento del ligante.

2.1.8.4 Polvo Mineral (Filler). (partículas menores de 0.063 mm).

- Emulsibilidad.

Es una medida de la afinidad del filler hacia los ligantes asfálticos, para verificar que no sean desplazados por el agua. El método de ensayo permite cuantificar esta propiedad mediante el concepto denominado coeficiente de emulsibilidad, que se define en las condiciones de ensayo, como la máxima cantidad de ligante asfáltico que se puede dispersar en forma de emulsión directa (ligante en agua) en un gramo de polvo mineral, sin que se produzca la inversión de la emulsión (agua en ligante). Una proporción mayor de ligante lleva a la coagulación de éste, como consecuencia de la referida inversión, separándose, entonces, en agua del sistema.



- Densidad aparente en tolueno.

Da una idea de la finura del filler que debe limitarse para evitar problemas en la envuelta con el ligante. El método consiste en medir el volumen ocupado por una cantidad especificada de la muestra de polvo mineral, cuando se sedimenta el tolueno. La densidad aparente determinada en estas condiciones, es una medida relativa del grado de finura del polvo mineral. Valores de la densidad aparente en tolueno entre 0.5 y 0.8 gr./cm³ corresponden a una actividad media adecuada para su utilización en mezclas asfálticas.

2.2 Ligantes Asfálticos.

2.2.1 Generalidades de los asfaltos.

Dentro del nombre genérico de ligantes asfálticos se incluyen materiales de distinta procedencia, los asfaltos y los alquitranes, que tienen en común su aspecto y una serie de propiedades aglomerantes. Ambos son materiales termoplásticos, viscosos, su color es negro y están formados por una mezcla compleja de hidrocarburos.

Actualmente en carreteras se usa el asfalto, que puede ser de origen natural (rocas o lagos asfálticos) o artificial el cual es un producto de la refinación del petróleo crudo, en la Figura No. 8. se ilustra el proceso de destilación para la obtención del ligante en refinería. Dadas sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, tiene gran variedad de aplicaciones en la construcción de pavimentos flexibles como por ejemplo, mezclas asfálticas, bases estabilizadas, riegos de sello, emulsiones asfálticas, riegos de liga, riegos de impregnación, entre otros.

El empleo de asfaltos naturales, tienen una limitada utilización aunque son por lo general de excelente calidad, con la incorporación de este tipo de asfaltos a las mezclas asfálticas, se logran construir pavimentos muy resistentes a las deformaciones plásticas y a la vez pueden tener una alta flexibilidad.

La mayoría de los asfaltos son semisólidos o sólidos a temperatura ambiente, su manipulación requiere su previo calentamiento, con la finalidad de reducir su consistencia a un valor admisible para la operación deseada: ya sea bombeo (en el manejo), la envuelta de agregados, riegos asfálticos, producción de mezclas asfálticas en caliente, entre otros.

El calentamiento se realiza en depósitos apropiados, convenientemente protegidos y aislados, en camiones cisterna o en camiones con tanques regadores, con equipos de serpentines de aceite, quemadores o con bombas en circuito cerrado para evitar sobrecalentamientos.

2.2.2 Definición de asfaltos.

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los firmes flexibles, denominados también firmes asfálticos o firmes bituminosos, en virtud de este dúctil, flexible y tenaz material que los constituye y caracteriza.

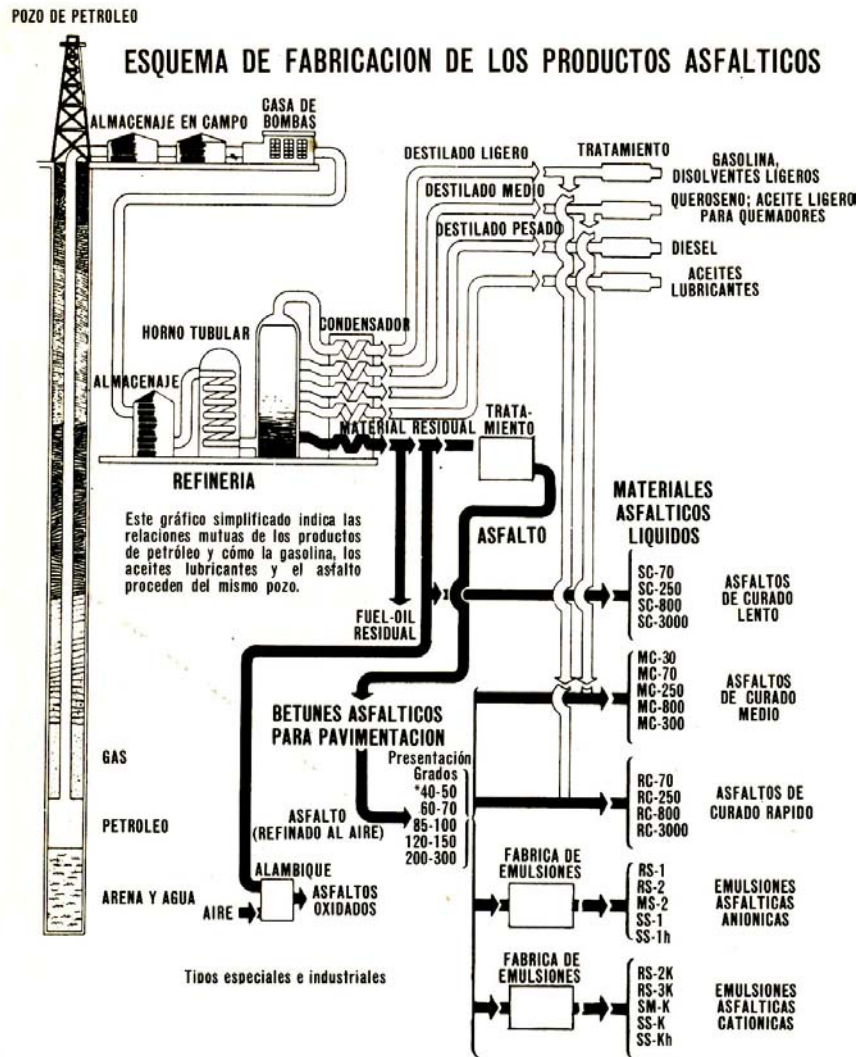


Figura No. 2. 8. Diagrama de Fabricación de los productos asfálticos. Referencia, (1).

2.2.3 Composición y estructura de los ligantes asfálticos.

El asfalto o betún, desde el punto de vista de su naturaleza, está constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos cuyos componentes principales son el carbono y el hidrógeno y en mucha menor proporción oxígeno, azufre, nitrógeno y metales pesados como el níquel y el vanadio, todos de diferente peso molecular, solubles en sulfuro de carbono, que forman una solución coloidal, en la que la fase discontinua la constituye la fracción pesada, denominada asfaltenos cuyo peso molecular oscila de 4000 a 7000 y la fase continua la constituye un fluido aceitoso formado por la fracción ligera, denominada maltenos cuyo peso molecular oscila entre 700 a 4000. A su vez la parte malténica puede subdividirse en tres fracciones principales, parafinas, con pesos de 600 a 1000, resinas, con pesos de 1000 a 2000 y aceites aromáticos, con pesos de 2000 a 4000.

Dependiendo de la concentración de los asfaltenos, se distinguen dos tipos de asfaltos:

1. Tipo Sol (movimiento libre de las micelas): tienen una menor proporción de asfaltenos, que se encuentran agrupados en cadenas homogéneas perfectamente dispersas en el medio aceitoso formado por los maltenos y sus propiedades varían considerablemente con la temperatura. Experimentan fuertes deformaciones plásticas cuando se utilizan como ligante de una mezcla asfáltica.

2. Tipo Gel (estructura micelar empaquetada): tienen una mayor proporción de asfaltenos y resinas, que se disponen formando una estructura reticular muy compleja, dejando unos espacios libres, en los que se encuentran los maltenos. Esta estructura reticular rodeada de un fluido viscoso proporciona a este tipo de betunes un comportamiento bajo carga visco-elástico. Es menos susceptible a la temperatura y más adecuado para soportar las sollicitaciones del tráfico, es decir, son los empleados en la construcción de carreteras.

Cabe mencionar que no todos los crudos del petróleo proporcionan por refinación asfaltos aptos para la construcción de pavimentos flexibles, como sucede con los crudos de la base parafínica los cuales están constituidos fundamentalmente por hidrocarburos saturados, que requieren un proceso complementario de oxidación parcial. Los mejores asfaltos se pueden obtener a partir de los crudos de base nafténica, constituidos fundamentalmente por hidrocarburos no saturados. El comportamiento reológico de los asfaltos depende de su composición química, la cual depende a su vez de su fuente de procedencia y del proceso de refinación.

2.2.4 Clasificación y terminología de los ligantes asfálticos.

Además de los ligantes asfálticos procedentes de la destilación del petróleo, existen otros materiales hidrocarbonatos que también tienen propiedades aglomerantes. Según el Comité Europeo de Normalización (Terminology of Bituminous Binders), establece la siguiente clasificación y terminología.

2.2.4.1 Ligante hidrocarbonado.

Término genérico para materiales adhesivos conteniendo asfalto, alquitrán o una mezcla de ambos.

2.2.4.2 Ligante asfáltico.

Término genérico aplicado a cualquier material adhesivo conteniendo asfalto.

2.2.4.3 Asfalto.

Material muy viscoso o casi sólido, virtualmente no volátil, adhesivo e impermeabilizante, derivado del petróleo o de los asfaltos naturales, que es completamente o casi soluble en tolueno. Se le da el nombre de “Asphalt” en la terminología americana.

Dentro de los ligantes derivados del petróleo según la denominación americana, se considera los siguientes tipos de ligantes en función del procedimiento de elaboración y los productos añadidos.

2.2.4.4 Asfaltos para pavimentación.

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

2.2.4.5 Asfaltos industriales.

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

2.2.4.6 Asfaltos fluidificados o “cut back”.

Se obtienen por disolución de los mismos en un aceite o fluidificante, teniendo por lo tanto una viscosidad reducida, se desarrollaron para facilitar el empleo de los asfaltos cuando las temperaturas o el tipo de tratamiento exigen viscosidades de aplicación menores que la que aún calentando fuertemente, puedan tener los asfaltos normalmente. Su viscosidad ha sido reducida por la adición de un fluidificador volátil.

El fluidificante por lo general, no es más que un aditivo, que se elimina posteriormente por evaporación y que sirve para facilitar la puesta en obra, quedando al último el asfalto puramente. En el proceso de eliminación del fluidificante o llamado también proceso de curado, se pierde un producto de alto valor. Lo que supone una fuente de contaminación atmosférica, así como riesgos de inflamación por el carácter de los fluidificantes empleados, que en ocasiones requieren de un cierto calentamiento. Actualmente los asfaltos fluidificados tienen un escaso empleo y un consumo muy limitado.

2.2.4.7 Asfaltos fluxados.

Se han desarrollado para aplicaciones muy específicas, en los cuales el fluxante no es un derivado del petróleo sino que proviene del proceso de destilación de la hulla. Su viscosidad ha sido reducida por el empleo de un aceite fluidificante.

2.2.4.8 Asfaltos modificados.

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

Por estas razones el material asfáltico en ocasiones tiene que ser modificado mediante la adición de un agente químico para mejorar sustancialmente sus propiedades reológicas, es decir, que mejoren su comportamiento para una amplia gama de condiciones de temperatura o de aplicación de las cargas.

2.2.4.9 Emulsión de Asfalto.

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

2.2.5 Cualidades de los ligantes asfálticos.

Se mencionarán las cualidades que los hacen tan apreciables en el campo de construcción y mantenimiento de vías de comunicación.

2.2.5.1 Poder aglomerante.

Los ligantes asfálticos tienen la propiedad de bajar su viscosidad con la temperatura, de tal modo que se convierte en una sustancia fluida que moja, se adhiere y envuelve con mucha facilidad a los agregados pétreos y a los materiales granulares, al tiempo que los aglomera. Este poder aglomerante del asfalto, aumenta al enfriarse y se aumenta la superficie de contacto entre las partículas mediante la compactación, dando lugar a una mezcla asfáltica de características particulares para la construcción de cada una de las diferentes capas del firme, en especial, de base, intermedia y rodadura.

2.2.5.2 Agente estabilizante.

Los ligantes asfálticos al ser usados como estabilizadores en materiales granulares, dan como resultado una alta estabilidad, por lo que son considerados al igual que el cemento, la cal y otros conglomerantes hidráulicos (agentes estabilizantes que permiten dar dureza, cohesión y resistencia a los materiales granulares sueltos).

La principal diferencia entre los aglomerantes asfálticos y los conglomerantes hidráulicos es que mientras éstos últimos dan lugar a materiales con una alta resistencia, de comportamiento elástico, frágiles e insensibles a la temperatura, los otros, se caracterizan por una menor resistencia y un comportamiento que depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga, pueden asumir deformaciones pequeñas por largos periodos de tiempo permitiendo adaptarse a los pequeños asentos y deformaciones que experimentan las capas inferiores del firme.

El poder aglomerante y estabilizante del asfalto se ve también grandemente modificado y mejorado al mezclarse con el filler, teniendo una gran repercusión la calidad del mástico sobre el comportamiento de la mezcla.

Es por ello que a los pavimentos constituidos por capas granulares y mezclas asfálticas se les conoce como firmes flexibles, frente a los constituidos por capas de hormigón, más elásticas e indeformables, que se denominan firmes rígidos.

2.2.5.3 Agente impermeabilizante.

Los ligantes asfálticos recubren a los materiales granulares a través de una capa impermeable haciendo inaccesible el paso del agua, al mismo tiempo se logra conseguir el relleno de los huecos dejados por el material granular, con lo que se obtienen materiales totalmente impermeables.

2.2.5.4 Manejabilidad.

Los materiales tratados con ligantes asfálticos son fácilmente manejables, elaborados y puestos en obra.

2.2.5.5 Resistencia a los agentes atmosféricos.

El asfalto es un material muy inerte químicamente e insoluble en agua, por ello las mezclas asfálticas no generan ningún compuesto contaminante por lixiviación y su composición permanece prácticamente inalterable en el tiempo. Se tiene que tener en cuenta su envejecimiento debido a la acción del oxígeno del aire y los rayos ultravioleta. Esta oxidación junto con la evaporación de sus componentes más volátiles hace que el asfalto vaya perdiendo tenacidad y se convierta en un producto más frágil. El mayor envejecimiento y oxidación del asfalto se produce durante su fabricación y puesta en obra

2.2.6 Propiedades de los ligantes asfálticos.

A continuación se enlistan las propiedades de los ligantes asfálticos, que son resultado de ensayos empíricos o semi-empíricos aunque se plantea determinar sus prestaciones o rendimiento a partir de las características reológicas.

2.2.6.1 Densidad.

La densidad de los asfaltos que se utilizan en la construcción de pavimentos varía desde 0.9 - 1.4 kg/dm³. Los valores más altos de densidad de un asfalto corresponden a los asfaltos procedentes de crudos con un alto contenido de hidrocarburos aromáticos. La densidad puede darnos idea de las impurezas que contiene un producto y su medida nos sirve de control de la uniformidad de un suministro.

La densidad relativa de un ligante es la razón entre el peso de un determinado volumen de ligante y el peso de un volumen igual de agua a una determinada temperatura, por ejemplo 25 grados centígrados. Su conocimiento permite pasar de pesos a volúmenes o viceversa. Se determina con un picnómetro. Los asfaltos tienen una densidad relativa a 25 grados centígrados del orden de 1.03.

2.2.6.2 Penetración.

La penetración es una medida de la consistencia del producto asfáltico, que se determina midiendo en décimas de milímetro, la longitud de una aguja normalizada que entra en una muestra en unas condiciones especificadas de tiempo, temperatura y carga.

Esta propiedad, por sí sola, no nos permite identificar un asfalto, pero sí nos define si el producto que está sometido al ensayo es líquido, semisólido o sólido. La penetración de un producto asfáltico disminuye cuando la densidad del mismo aumenta.

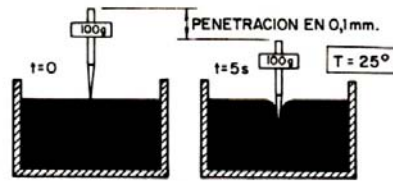


Figura No. 2.9. Ensayo de Penetración. Referencia, (43).

2.2.6.3 Viscosidad.

La viscosidad es la relación entre la fuerza aplicada a un fluido y la velocidad con la que fluye. Por lo tanto la viscosidad de un ligante es una de sus características esenciales desde el punto de vista de su comportamiento en el momento de su aplicación cuando su consistencia es suficientemente reducida. La viscosidad de los ligantes hidrocarbonatos depende de la temperatura, por lo que su determinación a diferentes temperaturas da una buena idea de cuál es su susceptibilidad térmica.

Sólo para ciertas investigaciones se utilizan viscosímetros capilares para la obtención de la viscosidad cinemática absoluta del producto a una temperatura. En la práctica se suele recurrir a determinar la viscosidad relativa. Los viscosímetros más utilizados son los de Saybolt (Furol o Universal). Se basan en la determinación del tiempo en que una cierta cantidad de producto asfáltico a una temperatura prefijada fluye por un orificio por la acción de la gravedad en unas condiciones normalizadas.

Si sometemos un fluido a la acción de una fuerza, se produce una deformación de dicho fluido. Pero esta deformación corresponde solamente a parte de la energía aplicada al fluido. El resto de la energía aplicada se transformará en energía calorífica, debido al frotamiento interno que se produce en el fluido. Cuando éste sea viscoso, esta energía empleada en vencer los frotamientos internos será grande.

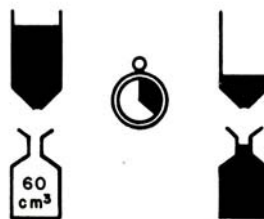


Figura No. 2.10. Determinación de la Viscosidad Relativa. Referencia (43).

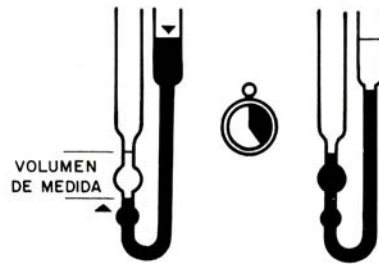


Figura No. 2.11. Viscosímetro Capilar. Referencia (43).

2.2.6.4 Susceptibilidad térmica.

Para poner en obra un material asfáltico, se requiere que tenga una viscosidad baja, lo cual puede conseguirse por medio de una disolución en un disolvente volátil, por emulsión en agua o por un aumento en la temperatura, el cual éste último es el procedimiento frecuentemente utilizado.

La Susceptibilidad térmica de un producto asfáltico, es la aptitud que presenta para variar su viscosidad en función de la temperatura. Es muy importante la susceptibilidad debido a que se puede conocer la temperatura adecuada para que el producto asfáltico adquiriera la viscosidad requerida para el uso que le daremos.

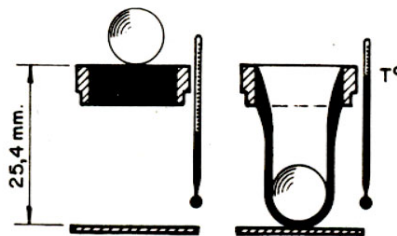


Figura No. 2.12. Ensayo de Punto de Reblandecimiento (Anillo y Bola). Referencia, (43).

2.2.6.5 Ductilidad.

La ductilidad se mide por el alargamiento, antes de producirse la rotura de una probeta de material asfáltico estirada por sus extremos con una velocidad constante.

Los materiales asfálticos están sometidos frecuentemente a variaciones de temperatura que le provocan cambios dimensionales, para esto es necesario que el material asfáltico tenga suficiente ductilidad para alargarse sin que se produzcan grietas. Una ductilidad excesiva tampoco es conveniente debido a que se corre el riesgo de que se presenten ondulaciones por efectos de las cargas del tráfico.



Puede comprobarse experimentalmente que para un mismo material, la ductilidad crece cuando crece la temperatura, y para materiales distintos, pero del mismo tipo, la ductilidad aumenta cuando la penetración aumenta o cuando la viscosidad disminuye.

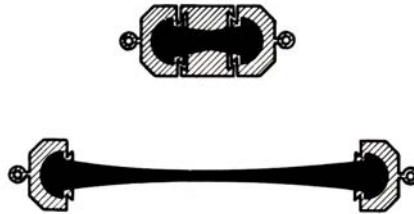


Figura No. 2.13. Ensayo de Ductilidad. Referencia, (43).

2.2.6.6 Punto de Inflamación.

Es la temperatura a la cual arden los vapores del asfalto al aproximar a la superficie del material una llama de prueba. Su determinación es interesante, puesto que cuando comprobemos que el punto de inflamación está 25 o 30 grados centígrados por encima de la temperatura a la que manejamos el asfalto para su utilización en la obra, procederemos a estas operaciones con notables precauciones. El punto de inflamación de un asfalto debe de estar alrededor de los 215 grados centígrados.

2.2.6.7 Volatilidad.

Indica la cantidad de aceites volátiles que contiene un asfalto, mediante calentamiento a una temperatura determinada durante un cierto tiempo. Esta propiedad nos da un índice de inalterabilidad del asfalto durante las operaciones previas a su puesta en obra.

2.2.6.8 Solubilidad.

Por definición, un asfalto es totalmente soluble en sulfuro de carbono. Si al realizar el ensayo de un material quedara un residuo insoluble, el resultado del ensayo nos permitiría juzgar sobre la cantidad de asfalto puro que contiene dicho material. Por otro lado, la propiedad de solubilidad, sirve para comprobar la uniformidad de composición de un producto de este tipo y para determinar la cantidad de asfalto de que consta un pavimento.

2.2.6.9 Fragilidad.

La fragilidad estática, se caracteriza por la rotura de un material en cuanto se sobrepasa su límite elástico y sin que haya sufrido una deformación plástica apreciable. Un material que sufre deformaciones lentas de carácter plástico puede romperse bajo el efecto de un choque. Se dice entonces que el material no tiene tenacidad.

2.2.6.10 Cohesión.

Esta propiedad indica la dificultad de un producto asfáltico o de una mezcla de un producto asfáltico y un agregado pétreo para romperse por tracción sin que falle la adherencia entre el producto asfáltico y el agregado pétreo.

2.2.6.11 Adherencia.

Está representada como la resistencia que presenta a despegarse un producto asfáltico de un agregado pétreo, pero esta adherencia no puede tener lugar más que si el agregado mineral es mojado por el asfalto. Además de esto, tiene que existir afinidad entre las moléculas de uno y de otro cuerpo.

2.2.6.12 Envejecimiento.

El asfalto está compuesto por moléculas orgánicas que reaccionan con el oxígeno del aire oxidándose lo que les hace más duros y frágiles. Este envejecimiento oxidativo se produce de forma muy lenta cuando el asfalto está en el firme, aunque este proceso es más rápido cuando las temperaturas a las que se ve sometido son mayores. Se debe tener en cuenta también que gran parte de este envejecimiento o endurecimiento oxidativo tiene lugar antes de que el asfalto esté compactado, durante el proceso de mezcla en el que el ligante está sometido a altas temperaturas y en forma de película fina sobre la superficie del ligante, lo que hace que el proceso sea más rápido, pudiéndose producir en este periodo otros tipos de envejecimiento, como la pérdida de los componentes más volátiles del asfalto, que se traduce en un endurecimiento del mismo.

Esto quiere decir que si se quieren comparar las propiedades del asfalto con su comportamiento en la mezcla, se debe estudiar el asfalto en el estado de envejecimiento en el que va a estar el material cuando esté en uso, y por lo tanto habrá que someterlo a un envejecimiento artificial acelerado antes de estudiar algunas de sus propiedades

Los productos asfálticos son colocados en obra en un estado plástico, pero con el tiempo se van endureciendo y se producen entonces un aumento de la cohesión al mismo tiempo que crecen la viscosidad y la dureza. Estos fenómenos tienen lugar hasta que se ha alcanzado una dureza determinada y para valores mayores de esta dureza crítica, la cohesión disminuye. Entonces el producto asfáltico se vuelve frágil y es muy sensible a los esfuerzos bruscamente aplicados. Esto se debe a que los productos asfálticos sufren durante su uso la acción de diversos agentes naturales que producen modificaciones irreversibles y pérdidas en sus propiedades iniciales.

2.2.6.13 Permeabilidad.

La impermeabilidad de los materiales asfálticos es una de las características más típicas. Se debe, en primer lugar, a que la solubilidad del agua en dichos materiales es muy pequeña y, además, a la elevada viscosidad de tales productos.

En general, cuanto menor es la penetración de un producto asfáltico, más lentamente se difunde el agua a través de él.

2.2.7 Comportamiento mecánico de los ligantes asfálticos.

Las características mecánicas y funcionales de un ligante asfáltico son decisivas para el comportamiento que la mezcla asfáltica tendrá al momento de entrar en servicio, por esta razón se presta una mayor atención a la caracterización mecánica y resistente de los ligantes asfálticos, en especial a su deformación a baja carga (reología), su poder aglomerante y su comportamiento y resistencia a la rotura.

2.2.7.1 Comportamiento Reológico.

La reología estudia la respuesta mecánica de un material, cuyas propiedades varían en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de una carga, excluyéndose los fenómenos de rotura. Los ligantes asfálticos son materiales visco-elásticos que presentan un comportamiento reológico muy complejo. La respuesta de un asfalto frente a una sollicitación, depende de la temperatura, de la magnitud y el tiempo de aplicación de la carga. Para caracterizar a un asfalto a una temperatura y un tiempo determinados, se deben caracterizar al menos dos propiedades, la resistencia del material a la deformación y su distribución entre sus componentes elástica y viscosa.

El comportamiento visco-elástico se puede caracterizar por al menos dos propiedades: la resistencia total a la deformación (G^* llamado módulo complejo) y la distribución relativa en esa resistencia, entre la parte viscosa y la parte elástica (δ llamado ángulo de fase).

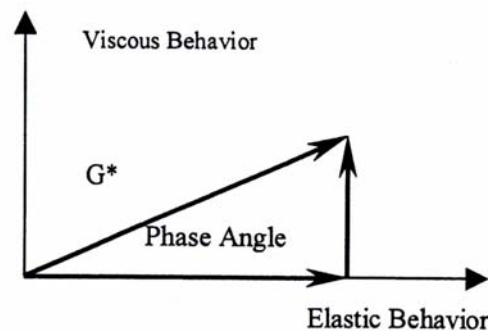


Figura No. 2.14. Rigidez del ligante asfáltico y ángulo de fase. Referencia, (29).

La forma experimental más extendida de caracterizar este comportamiento es a través de ensayos dinámicos de oscilación, en los que se mide un Módulo complejo G^* que representa la relación entre la tensión aplicada y la deformación experimentada por el material y un ángulo de fase δ , que es la diferencia de fase entre la tensión y la deformación, y que da una idea sobre la distribución de las dos componentes, elástica y viscosa del material. La componente elástica está en fase y tiene un valor de $\delta = 0$ grados, mientras que la viscosa tiene un ángulo de fase $\delta = 90$ grados.

Hay que destacar que la dependencia de estas variables en función del tiempo o de la temperatura pueden relacionarse debido al principio de superposición frecuencia / temperatura.

Podemos observar en la siguiente figura los cambios en la rigidez de los ligantes asfálticos debidos a los cambios en la temperatura.

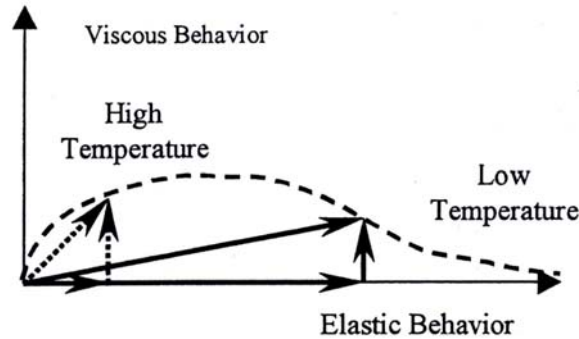


Figura No. 2.15. Cambio de la rigidez del ligante asfáltico debido a la temperatura. Referencia, (29).

A bajas temperaturas y altas frecuencias los asfaltos tienden a un G^* límite próximo a 1.0 GPa y a un $\delta = 0$ grados. Este valor de G^* refleja la rigidez de los enlaces carbono – hidrógeno al alcanzar los ligantes su volumen mínimo. Al aumentar la temperatura o disminuir la frecuencia G^* disminuye de forma continua y aumenta δ . La forma en que cambien será función de la composición del ligante, algunos lo harán de forma muy rápida y otros de forma más lenta, lo que hace que distintos asfaltos puedan tener distintos G^* y δ .

A altas temperaturas el valor de δ se acerca a 90 grados para todos los asfaltos, lo que refleja el comportamiento completamente viscoso del material, pero los valores de G^* varían, lo que implica una diferencia en la consistencia de los asfaltos.

A continuación se presentan los diferentes intervalos de temperatura relacionados con las propiedades reológicas de un ligante asfáltico incluyendo también el posible deterioro del pavimento que puede originarse.

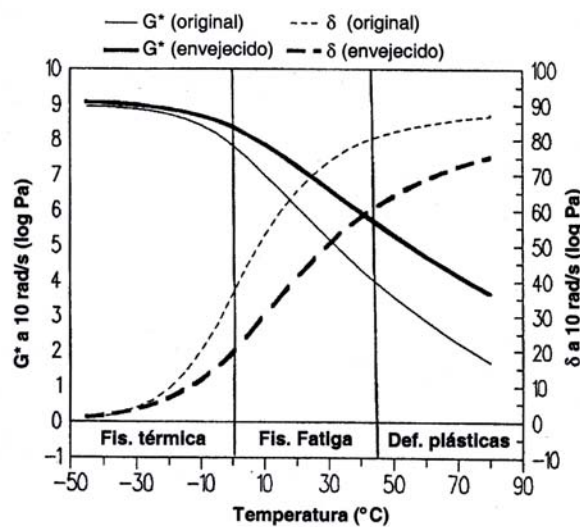


Figura No. 2.16. Propiedades del ligante en función de la temperatura. Referencia, (67).

- A Temperaturas superiores a 100° C., todos los asfaltos se comportan como fluidos newtonianos, y por lo tanto su viscosidad es independiente del tiempo de aplicación de la carga, aunque son temperaturas que no se producen en carreteras en servicio, siendo suficiente las medidas de viscosidad para estudiar su trabajabilidad.
- A Temperaturas entre 45° y 85° C., los mayores fallos en las carreteras se deben a las deformaciones plásticas y se necesita medir tanto G^* como δ . Un valor alto de G^* será bueno pues representará una mayor resistencia a la deformación y un valor bajo de δ también porque significa un comportamiento más elástico del ligante.
- A Temperaturas intermedias entre 0° y 45° C., los asfaltos son más duros y elásticos que a mayores temperaturas y el mayor problema es la fisuración por fatiga causada por la repetición de ciclos de cargas. De nuevo son importantes tanto G^* como δ , pues el daño producido por la carga estará en relación de cuanta deformación se produce y cuánta de esa deformación es recuperable.
- A Temperaturas por debajo de los 0° C., el mayor problema es la fisuración térmica debido a las tensiones que se producen en las capas de pavimento por la contracción térmica que ocurre al bajar las temperaturas. La magnitud de estas tensiones viene dada por la rigidez, la resistencia a la deformación del ligante y por su habilidad para relajar estas tensiones disipando la energía producida en un flujo permanente, es decir se necesita un G^* pequeño y un δ alto. Debido a que interviene el problema de la fisuración por movimientos térmicos hay que considerar tiempos de sollicitación más largos.

Se ha indicado también que las propiedades del asfalto dependen del tiempo de aplicación de las cargas y por eso habrá que tenerlo en cuenta al estudiarlas en los distintos intervalos de temperatura descritos.

2.2.7.2 Ensayos para la caracterización mecánica de los ligantes.

Las especificaciones vigentes aseguran el buen comportamiento del ligante en condiciones de servicio si el producto cumple con una serie de propiedades. El cumplimiento o no de esas propiedades dependerá de los resultados de unos ensayos normalizados y específicos para cada una de ellas entran dentro de unos rangos de valores preestablecidos.

A partir del diseño de mezcla llamado SUPERPAVE desarrollado por la Strategic Highway Research Program (SHRP), se han elaborado nuevos equipos o se han perfeccionado los existentes con el fin de poder caracterizar mejor el comportamiento de los ligantes y determinar mejor sus propiedades mecánicas que estén directamente relacionadas con su comportamiento funcional durante la vida de servicio de la mezcla.

Los ensayos fundamentales para medir las propiedades físicas de los ligantes asfálticos se realizan con diferentes tipos de aparatos:

- El Viscosímetro Rotacional: Para medir las propiedades viscosas del asfalto a las temperaturas a las que se realiza el bombeo y la mezcla del asfalto.

- El Reómetro de Corte Dinámico: Para medir las propiedades a temperaturas de servicio altas y medias utilizando tiempos de carga similares a los del tráfico.
- El Reómetro de Flexión de Viga y el Ensayo de Tracción Directa: Para estudiar las propiedades a bajas temperaturas utilizando tiempos de carga adecuados.

2.2.7.3 Aditivos empleados para mejorar las propiedades de los ligantes asfálticos.

En algunas ocasiones se requiere el empleo de algún tipo de aditivo para mejorar las propiedades de los ligantes asfálticos para que a su vez, éstos logren aumentar las propiedades de las mezclas asfálticas logrando altos desempeños en su funcionamiento al momento de estar en servicio, recibiendo las cargas del tráfico y soportando los posibles gradientes de temperatura.

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

Existen una amplia gama de aditivos que se pueden emplear para la modificación de asfaltos, tanto en lo que se refiere a su naturaleza como a las mejoras conseguidas e incluso a las técnicas de incorporación a los ligantes de partida. Dejando de lado los agentes tensoactivos (activantes), con los que únicamente se pretende mejorar su adhesividad con los agregados, podemos hablar de polímeros del tipo termoplásticos (polietileno, polipropileno), polímeros termoendurecibles (epoxi, poliéster), caucho de neumáticos (polímeros 50% + negro de carbono 22% + otros 28%), fibras de diferente naturaleza (amianto, celulosa, acrílicas, elastómeros, azufre, entre otros).

Los polímeros elastotermoplásticos: EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno) son los que han presentado mayor desarrollo como aditivo modificante, principalmente el SBS. La compatibilidad entre un asfalto y un polímero significa que ambos se pueden mezclar para formar un producto homogéneo en que las propiedades se encuentran mejoradas con respecto a las del asfalto base y en el que la mezcla se puede manipular sin precauciones excesivas. Así, las mezclas drenantes y los microaglomerados de granulometría discontinua deben su desarrollo, en una gran medida, al hecho de poder contar con unos asfaltos modificados que proveen de suficiente cohesión a las mezclas.

La modificación del asfalto con polímeros es un proceso que se lleva a cabo a una alta temperatura, entre 180° y 200° C., y con altos esfuerzos de corte, polímeros elastoméricos (del tipo huloso con temperatura de transición vítrea, (T_g) baja), los cuales son usualmente poliestireno-polibutadieno, forman una red o malla tridimensional en el interior del asfalto, para darle a éste buenas propiedades mecánicas. Esta malla de hule llena de asfalto, absorberá gran parte de la energía de deformación que sufre el material al ser sujeto a esfuerzos externos, como por ejemplo cuando se usa en la fabricación de pavimentos.

Esta red polimérica tridimensional llena de asfalto proporciona al compuesto un mayor intervalo de temperaturas de servicio, así como también incrementa el intervalo de esfuerzos a



que este material compuesto debe ser sujeto, por ejemplo un asfalto suave puede ser usado a mayores temperaturas de servicio cuando es modificado.

Este tipo de compuesto puede ser estudiado como una mezcla polímero-polímero o polímero-polímero-solvente, ya que a su vez el asfalto es una mezcla de resinas y solventes orgánicos y estos solventes disuelven parcialmente al polímero modificado significativamente la estructura de la red de polímero formada.

Las características físicas resultantes de la mezcla asfalto-polímero, dependen del tipo de asfalto, de la cantidad y tipo de polímero, de la compatibilidad entre los constituyentes, del proceso de mezclado y de las historias térmicas de los materiales. Los asfaltos modificados con polímeros deben ser bajos en contenidos de asfaltenos y deben de poseer suficientes aceites aromáticos para disolver al polímero a las temperaturas de mezclado.

El polímero debe tener cierto grado de compatibilidad con el asfalto de tal forma que ocurra una completa separación de fases, ya que en este caso las propiedades del compuesto no son mejoradas; esta compatibilidad parcial se logra mediante la disolución parcial del polímero por los aceites malténicos del asfalto.

Para extender el rango de aplicaciones del asfalto, es necesario conocer la manera en que el polímero está interactuando con él. Una de las formas de conocer el grado de compatibilidad entre los dos materiales es visualizando la microestructura del compuesto; así mismo, otra forma de inferir esta compatibilidad es a través de las respuestas térmicas (comportamiento de la T_g) ó visco-elásticas (comportamiento de $\tan \delta$) del material compuesto.

Todos los asfaltos una vez que hayan sido modificados, antes de emplearlos, deben ser detenidamente analizados, para verificar que realmente sus propiedades son mejores, que las del asfalto base, y que podrá responder a los requerimientos exigidos de acuerdo a especificaciones y normativas de construcción.